



Revista Angolana de Geociências

RAG - CIGCA - UAN / v.1 n.º1 / Julho 2020

ISSN:

Equipa Editorial

EDITOR-CHEFE

PhD. Antônio Olímpio Gonçalves,
Universidade Agostinho Neto

EDITORES- ASSOCIADOS

PhD. Alexis Otero Calvis, Universidad de Moa
MsC. Paulo Francisco Aguiar,
Universidade Agostinho Neto

CONSELHO EDITORIAL

E CONSELHO DE REVISORES

PhD. Antônio Alves Teixeira de
Carvalho, Universidade Agostinho Neto

PhD. Pedro Claude Nsungani,
Universidade Agostinho Neto

PhD. Suzi Huff Theodoro,
Universidade de Brasília

PhD. Cristina Rodrigues,
Universidade Agostinho Neto

PhD. Aurora Cuiela Bambi,
Universidade Agostinho Neto

PhD. Adolfo Kempena,
Universidade Maria Guambi, Congo

PhD. Gabriela Pires,
Universidade Agostinho Neto

PhD. Marc Campeny,
Universidad de Barcelona

PhD. Ruth Oliveira,
Universidade Agostinho Neto

PhD. Alain Carballo, Universidad de Moa

PhD. Joan Carles Melgarejo,
Universidad de Barcelona

PhD. Maria Luísa Morais,
Universidade Agostinho Neto

PhD. Tinta Manuel Vunda,
Sociedade Mineira de Catoca Lda

PhD. Antônio Rodrigues,
Universidad Autónoma de México

PhD. Peter Christian Hackspacher,
Universidade Estadual do Rio Claro, Sao Paulo

PhD. Nelson Rodrigues,
Universidade de Coimbra

PhD. Alcides Pereira,
Universidade de Coimbra

PhD. Carlos Andrade,
Universidade Agostinho Neto

PhD. Carlos Bandeira de Mello,
Petrobras, Brasil

PhD. Arturo Rojas Purón,
Universidad de Moa

PhD. José Manuel,

Universidade Agostinho Neto

PhD. Silva Pereira Ginga,

Universidade Agostinho Neto

PhD. Emídio Silva,

Universidade Agostinho Neto

PhD. Octávio Mateus, Universidade
Nova de Lisboa

PhD. Fernando Alcino Bonito,

Universidade Agostinho Neto

PhD. René Fernández Lara,

Universidade Agostinho Neto

PhD. Cesar Alamino,

Universidade Agostinho Neto

PhD. João Feliz Tunga, Sociedade Mineira
de Catoca Lda

PhD. Roberto Rodríguez Pacheco,

Instituto Geológico y Minero de España

DOCENTE ASSESSOR

Eduardo Alves Moraes,

Universidade Agostinho Neto

DOCENTE DE APOIO

Gomes Mucanza,

Universidade Agostinho Neto

DESIGN GRÁFICO

João António

TÉCNICO

Ricardo Nuno Xafrado dos Reis

— — —

Centro de Investigação em Ciências
Geológicas Aplicadas (CICGA),
Faculdade de Ciências,
Universidade Agostinho Neto,
Campus da UAN, Rua Principal da Camama
e Rua do Estádio 11 de Novembro, Distrito
da Cidade Universitária.

Luanda, Angola

Julho 2020

...

ISSN:

Revista.cicga@cicga-uan.co.ao

www.cicga-uan.co.ao

Editorial

Neste mês de Julho 2020, se apresenta a edição inaugural da Revista Angolana de Geociências, propiciando mais um espaço para a divulgação e o desenvolvimento da investigação científica das geociências em Angola. Para o efeito, os artigos seleccionados para esta edição apresentam diversos temas. O primeiro tema refere-se a "Caracterização mineralógica e geoquímica das rochas máficas de Angola". O segundo tema refere-se ao "Crescimento urbano como factor de produção de inundações e deslizamento de massa nas zonas urbanas da cidade do Uíge". O terceiro tema refere-se a uma "Análise estatística multivariada de argilas do Platô de Luanda e arredores". O quarto tema é um ensaio sobre o "Monitoramento geodésico da barragem da Quiminha. Em seguida faz-se a "Avaliação da evolução da área no Mussulo usando geotecnologias e necessidade de proteção à luz da convenção de Ramsar". O sexto tema está ligado a "Nova visão sobre o modelo tectónico-estratigráfico das bacias costeiras de Angola". O sétimo tema é uma "Identificação das unidades litoestratigráficas da Bacia Hidrográfica do Cuvelai com apoio em imagens do Satélite Landsat 8". Em seguida faz-se um estudo sobre a "Construção de secções estratigráficas no litoral de Luanda - bacia do Kwanza". O nono artigo tem como tema "Litoestratigrafia e modelo sedimentar da bacia do Kwanza (NW de Angola)". O décimo tema é um documento que trata sobre o "Incentivo à conservação do Património Geológico de Angola". A seguir temos um artigo sobre "Cantilever retaining wall design to Eurocode 7". O último tema da edição é sobre "Remineralizadores de solo: um novo insumo para a sustentabilidade agrícola de Angola". A Revista Angolana de Geociências agradece as contribuições dos pesquisadores da Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, e de outras instituições do país e do exterior quais, mais uma vez, colaboraram como autores e revisores dos artigos deste número e convida a comunidade científica a revisar os artigos publicados, assim como submeter comentários e opiniões para possíveis publicações.

Publicada 2020-07-27

Sumário

P Á G . 4 >

Caracterização mineralógica e geoquímica das rochas máficas de Candua, Libolo, Angola

● Paulo Francisco Aguiar, Augusto Inoc, Filipe Lima, António Olímpio Gonçalves, Marc Campeny Crego, Miguel Bondo, Eduardo Filemon

P Á G . 20 >

Crescimento urbano como factor de produção de inundações e deslizamento de massa nas zonas urbanas da cidade do Uíge

● Khokhy Sefo Maria Barros, João Francisco de Sousa da Silva, António Alves de Carvalho

P Á G . 28 >

Análise estatística multivariada de argilas do platô de Luanda e arredores

● Walter Fernando Mateial, Fernando Rocha, Claudio Raso de Almeida

P Á G . 38 >

Monitoramento geodésico da barragem da Quiminha

● António Alves Teixeira de Carvalho, Ilídio Capobo Culevala

P Á G . 50 >

Avaliação da evolução da área no Mussulo usando geotecnologias e necessidade de proteção à luz da convenção de Ramsar

● Carlos Andrade Neto

P Á G . 62 >

Nova visão sobre o modelo tectónico-estratigráfico das bacias costeiras de Angola

● Simão Vunda, Cristina Rodrigues, René Arias, João Constantino

P Á G . 70 >

Identificação das unidades litoestratigráficas da bacia hidrográfica do Cuvelai com apoio em imagens do satélite Landsat 8

● Américo da Mata Lourenço Victorino

P Á G . 78 >

Construção de secções estratigráficas no litoral de Luanda - bacia do Kwanza

● João Constantino, Horacio Mega Fontes, Simão Vunda, Cirilo Cauxeiro

P Á G . 89 >

Litoestratigrafia e modelo sedimentar da bacia do Kwanza (NW de Angola)

● Hortêncio Bondo, Ary Pinto de Jesus, Cristina Rodrigues

P Á G . 100 >

Incentivo à conservação do Património Geológico de Angola

● Nair Bernardo de Oliveira Fortunato de Sousa

P Á G . 112 >

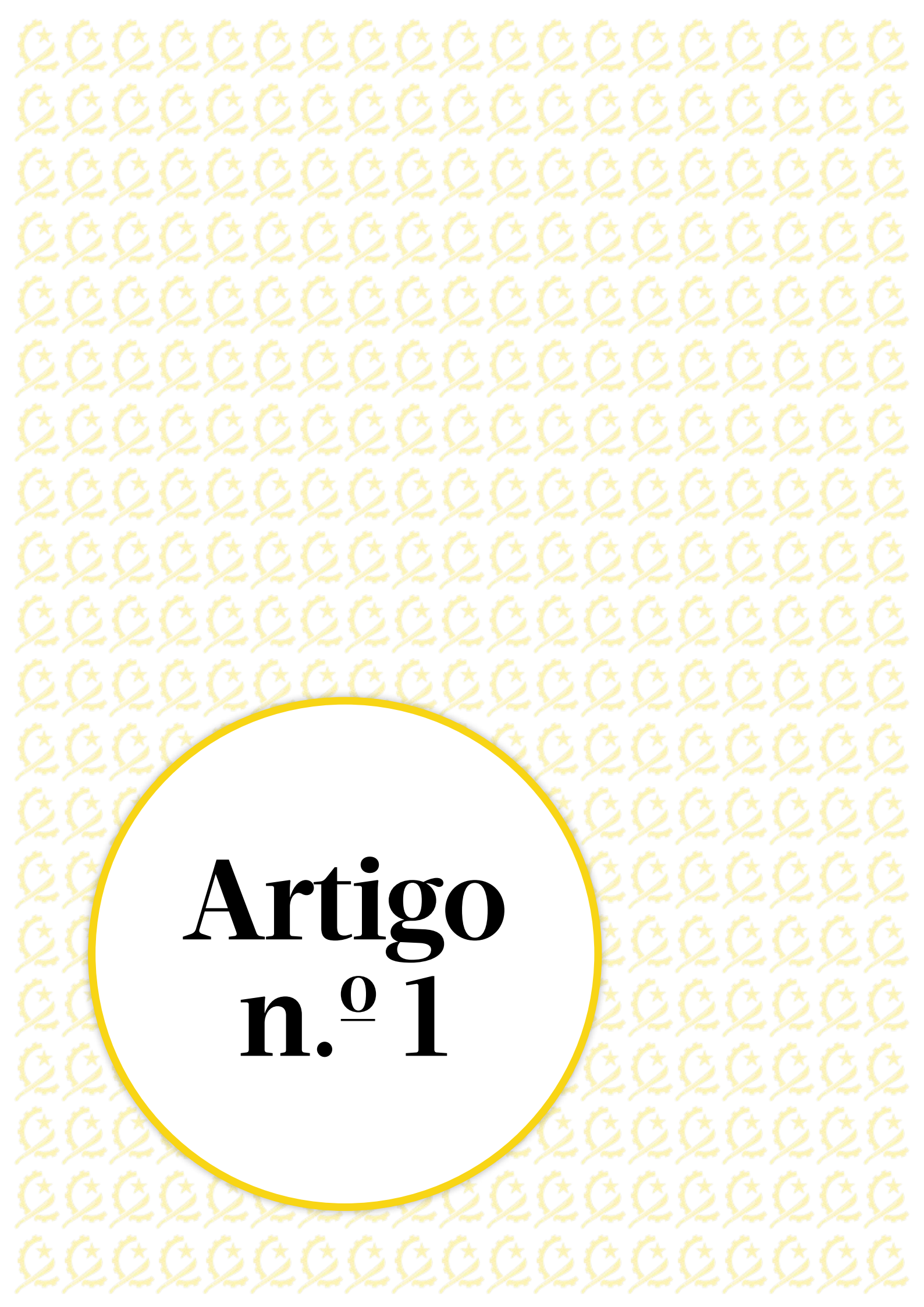
Cantilever retaining wall design to eurocode 7

● Felisberto M. Queta

P Á G . 118 >

Remineralizadores de solo: um novo insumo para a sustentabilidade agrícola de Angola

● António Olímpio Gonsalves, Suzi Huff Theodoro, Gustavo Rosa Almeida, Daniel da Purificação, Ricardo Reis, Eduardo Alves Morais



Artigo **n.º 1**

Caracterização mineralógica e geoquímica das rochas máficas de Candua, Libolo, Angola

Mineralogical and geochemical features of mafic rocks from Candua, Libolo, Angola

Paulo Francisco Aguiar¹, Augusto Inoc¹, Filipe Lima¹, António Olímpio Gonçalves¹, Eduardo Filemon¹, Marc Campeny Crego², Miguel Bondo³

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: paulofaguia@gmail.com, augustopedroinoc@gmail.com, tonygoncalves72@hotmail.com, filipelima2094@gmail.com.

²Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Passeig Picasso s/n 08003 Barcelona, Spain.

³Instituto Geológico de Angola (IGEO), Centralidade do Kilamba, igeo@netangola.com.

CITAR COMO:

Aguiar, P. F., A. Inoc, F. Lima, A. O. Gonçalves, et al. Caracterização mineralógica e geoquímica das rochas máficas de Candua, Libolo, Angola. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 5-19

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 21/04/2020

Aceite: 8/05/2020

*Autor para

correspondência: Paulo Francisco Aguiar (e-mail: aguiapaulo@hotmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: As rochas máficas de Candua, Libolo, são compostas por gabros, doleritos e gabros piroxénico-hornoblêndicos. São rochas que mostram texturas cumuláticas com plagioclase, clinopiroxenas, anfíbolos, ortopiroxenas e biotite. Apresentam teores altos de Al_2O_3 (peraluminosa) (variando de 10,46% a 17,01%), teores de TiO_2 de moderado a alto (de 0,53% a 1,97%), teores baixos de alcalinos (Na_2O+K_2O) (variando de 0,49% a 9,06%), e teores médios Fe_2O_3 (variando de 6,03% a 20,41%), sendo classificadas como gabros subalcalinos toleíticos. Padrões fraccionados dos Elementos das Terras Raras (REE), grande abundância de Elementos Litófilos de Grande carga iónica (LILE) e em relação aos Elementos de Terras Raras Pesados (HREE) e Nb são característicos da fusão parcial do manto depletado e fusões que passaram por cristalização fraccionada. Essas fusões parciais são enriquecidas em LREE and LILE, devido a adição de fluidos derivados da adição da placa crustal. O índice de diferenciação (D.I.) indica que essas rochas gabróicas são do estágio tardio de diferenciação de um magma basáltico.

Palavras-chave: Rochas máficas, Gabros, Candua, Libolo.

Abstract: In the vicinities of Candua (Libolo, Angola), outcrops a mafic igneous intrusion mainly composed by massive gabbros, dolerites and amphibole-rich gabbros, showing cumulus textures. Those are composed by plagioclase, clinopyroxene, orthopyroxene, amphibole and biotite. Those rocks present high Al_2O_3 contents (ranging from 10,46% to 17,01%) moderate to high TiO_2 contents (from 0,53% to 1,97%), alkalines (Na_2O+K_2O) (ranging from 0,49% to 9,06%) and medium Fe_2O_3 contents (ranging from 6,03% to 20,41%). Fractionated and relative enrichment over heavy REE (HREE) and Nb are typical of depleted mantle partial melting and melts that have undergone fractional crystallisation. These partial melts are enriched in LREE and LILE, due to the addition of slab derived magmas. The differentiation index (D.I.) indicates that these gabbroic rocks were generated during late differentiation stages from a basaltic parental magma.

Keywords: Mafic rocks, Gabbros, Candua, Libolo.

INTRODUÇÃO

Os afloramentos de corpos máficos de interesse no presente trabalho estão localizados na aldeia de Candua pertencente ao município de Libolo. Os corpos plutónicos podem ser acedidos pela Estrada Nacional 120 (EN120) e se encontram no troço Cambambe – Cambingo – Candua (Figura 1). As rochas são distinguidas como gabróico-piroxénicas encontradas no seio e relacionadas com o Complexo de granitos porfiroblásticos do embasamento angolano.

O embasamento do Escudo de Angola é atravessado por muitos membros plutónicos de composição alcalina, máfica e ultramáfica. Muitos dos corpos intrusivos foram estudados por muitos investigadores, tendo poucos se referido ao corpo estudado em Candua. Os membros máficos plutónicos no Escudo de Angola os quais localizam-se ao longo da faixa norte, central e sudoeste, não receberam atenção em termos de estudos petrológicos e geoquímicos detalhados. Andrade (1950), refere apenas a ocorrência de diques diabásicos na região entre Calulo e Dondo até ao rio Mucoso. De Araújo (1988).

São observados a noroeste, sudoeste e leste de Angola, as pequenas intrusões de rochas básicas atribuídas ao complexo gabro-anortositico do Cunene (De Araújo et al., 1988; Perevalov et al., 1992), enquanto intrusões relativamente pequenas (satélites) que se situam a norte e a oeste do referido maciço. Refere-se a esse complexo com mais detalhe a sul do país, como apresentando anortositos, gabro-anorto-

sitos, troctólitos, gabro-noritos, peridotitos, dunitos e piroxenitos (De Carvalho & Alves, 1990; Ashwal & Twist, 1994; Morais et al., 1998; Mayer et al., 2004; Maier et al., 2008). Os anortositos, gabro-anortositos e troctólitos são os representantes mais típicos do complexo central que apresenta uma estratificação horizontal e vertical bem pronunciado. Normalmente, os ritmos têm a seguinte estrutura: troctólitos melanocratas e de troctólitos na base; troctólitos claros, no meio, e de anortositos, na parte superior.

Os gabro-noritos e noritos ocupam extensões consideravelmente menores em comparação com as rochas anteriores. Os gabro-noritos e noritos são caracterizados por uma granularidade fina e por um aspecto mais melanocrático em comparação com os anortositos e troctólitos encaixantes. Os peridotitos, dunitos e piroxenitos ocupam pequenas intrusões destas rochas e aparecem geralmente na bordadura do Complexo. Alguns corpos bastante grandes de ultramafitos foram identificados na parte sudoeste do escudo de Angola, entre rochas metamórficas do Arcaico Superior. Nas zonas de metamorfismo retrógrado, os ultramafitos apresentam-se várias vezes sob a forma de rochas semelhantes a hornblenditos, contendo, no entanto, relíquias bem preservadas de composição original. Silva et al., 1978, refere-se a rochas doleríticas do Precâmbrio Superior, como tendo sido identificadas em diques a sudoeste do Golungo Alto, na zona de Cariango. Referir que tais rochas são melanocratas de granularidade média, de textura ofítica. São constituídas por labradorite, tremolite-actinolite, augite, hiperstena, minerais opacos, minerais

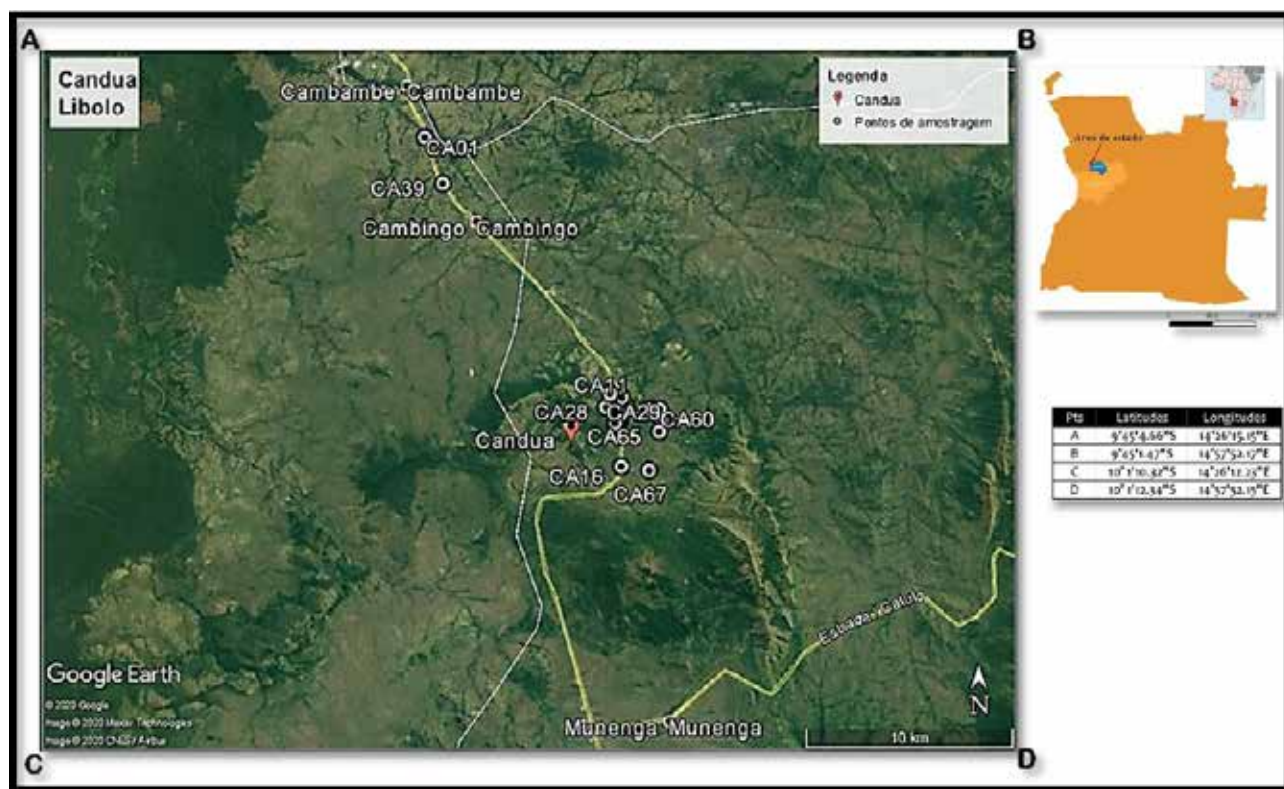


Figura 1: Localização da Aldeia de Candua, no contexto da área de estudo, troço Cambambe-Cambingo-Candua, bem como os pontos de amostragem.

de argila, sericite e apatite. Torquato et al., 1979, refere-se apenas as rochas gabro-anortosíticas como as que limitam o Cinturão Móvel do Quipungo no Ocidente de Angola. De Carvalho (1980), refere-se ao complexo gabro-norítico e charnoquítico aflorante na área de estudo como sendo constituído por grandes encaves no seio do complexo granito-migmatítico que, em alguns casos, atingem mais de uma dezena de quilómetros de extensão. As rochas metabásicas são, fundamentalmente, de natureza gabro-norítica e anfibolítica embora se encontrem, também, gabros quartzíferos, metadioritos quartzíferos e granodioritos.

Esses autores e outros como Cruz et al. (1968) e Perevalov et al. (1992) estudam mais detalhadamente rochas máfico-gabróicas noutras regiões do território angolano, referindo a petrografia, geoquímica e geocronologia das mesmas.

LITOLOGIA

A zona de Candua assenta sobre o embasamento cristalino de rochas ígneas. Na parte norte predominam os intrusivos graníticos de idade proterozóica tipo Quibala, e no centro se encontram rochas máficas por apresentarem teores de SiO₂ no intervalo de 45% a 52% (Figura 2). Os granitos apresentam algumas zonas híbridas de mistura litológica com processos profundos metassomáticos e hidrotermais. Os plutões afloram como apófises em um terreno constituído por inúmeros inselbergs e montanhas.

As rochas gabróicas são essencialmente mesocratas, já que os seus M' (índice de cor) situa-se entre 45,7 a 48,8 (portanto no intervalo 35% a 65%) e intensamente invadidas por veios de quartzo na parte central ao passo que na parte periférica vai se diminuindo a acção da rede de veios. Os mesmos estavam implantados em estruturas que destacaram-se direcções de orientação regional nas direcções N-S e NW-SE.

No escudo de Angola, as rochas do grupo inferior de idade arcaica localizam-se no seu sector norte, entre os rios Cuanza e Longa. Nas proximidades imediatas do horst do Cuanza, verifica-se a seguinte sucessão de rochas: na base, plagiognaisses bipoixénicos, hipersénicos e hipersténicos com biotite e granada; gnaisses poixénicos com plagioclase e anfibola que vêm a suceder-se mais para cima por gnaisses anfibolítico-biotíticos e plagiognaisses leucocráticos. O grupo inferior está representado, essencialmente, por granulitos e gnaisses de composição básica, gabros alterados, anfibolitos, quartzitos, charnoquitos e enderbitos. É vulgar a existência dos gnaisses com piroxena (hiperstena, diópsido), cordierite, granada (piropo) e, mais raramente, silimanite ou biotite (De Araújo et al., 1988). O grupo superior do arcaico inferior, constituído por rochas metamórficas, tais como gnaisses (biotítico-hornebléndicos, biotítico-hipersténicos, granada-bimicáceos com distena e grafite), anfibolitos, xistos biotítico e bimicáceos, leptitos e quartzitos. Em zonas de ultrametamorfismo, ocorrem os tonalitos, plagiomigmatitos e plagiogranitos (De Araújo et al., 1988).

As unidades geológicas que caracterizam o Proterozóico Inferior, relacionadas ao Ciclo Eburneano, ocorrido entre 2600 a 1650 milhões de anos, subdividem-se em rochas terrígenas metamorfizadas e rochas intrusivas ígneas. Representando as rochas metamorfizadas está o grupo Oendolongo, constituído por conglomerados, grés, quartzitos e itabiritos; aparecem siltitos e metaxistos. Em alguns casos são assinaladas, juntamente com os metassedimentos, rochas vulcânicas de composição ácida e média, enquanto a sudeste ocorrem rochas vulcânicas básicas.

As rochas ígneas intrusivas são essencialmente granitóides, onde o maior representante são granitos, da fácies biotítico-porfiroblástica do Complexo de Granitos da Quibala, e pórfiros, sienitos e dioritos como rochas associadas. As rochas básicas e ultrabásicas (que fazem parte do grande maciço do Cunene), como intrusões relativamente pequenas (satélites), representadas por anortositos, gabro-anortositos, troctólitos, gabro-noritos, peridotitos, dunitos e piroxenitos.

Os depósitos do proterozóico superior na zona de Lucala encontra-se desenvolvido o supergrupo Congo ocidental. Algumas das sub-unidades integrantes constituem prolongamentos das estruturas que se estendem do aulacógeno do Congo ocidental. Nas áreas onde existem afloramentos isolados do supergrupo. As rochas do Proterozóico superior estão representadas principalmente pelo grupo xistogresoso. Está representado por duas formações (M'pioka e Inkisi) só na parte noroeste da zona de Lucala, sendo diferenciado noutras áreas. Formação M'Pioka estende-se em larga faixa de direcção noroeste ao longo do contacto da zona de Lucala com o aulacógeno do Congo ocidental, desde o rio Lueca até ao rio Lucala no seu curso médio. A formação Inkisi aflora a leste dos afloramentos da formação M'pioka. É dividida em dois níveis: o inferior, constituído por arcoses com estratificação entrecruzada e leitos conglomeráticos, e o superior representado principalmente, por arcoses de grão fino com estratificação entrecruzada e leitos de argilitos e siltitos, grés arcósicos avermelhados, conglomerados polimicticos cinzentos com calhaus diversos.

As unidades do Mesozóico representam-se pelas seguintes formações do Cretácico: Formações do Cretácico Inferior, constituídas pela Formação Cuvo, pertencente ao Barriasiano-Barremiano, constituída por grés, conglomerados, argilas, com intercalações de dolomites, argilitos e siltitos. Ao nível das Formações do Cretácico Superior, são consideradas as formações Cabo Ledo, pertence ao Cenomaniano se apresenta constituído por grés, calcários arenosos e argilas; Itombe constituída por grés, margas e calcários; Ngolome é constituída por margas, argilitos e grés, e Teba que é constituída por grés, margas e calcários.

Os depósitos do Cretácico superior da parte continental destas zonas são caracterizados pela predominância de material terrígeno-carbonatadas, por uma zonagem lateral de fácies. Os depósitos do Cenozóico Inferior (Paleogénico) estão representados, na área de estudo, pela formação paleocénica Rio Dande, e pelas formações eocénicas Grati-

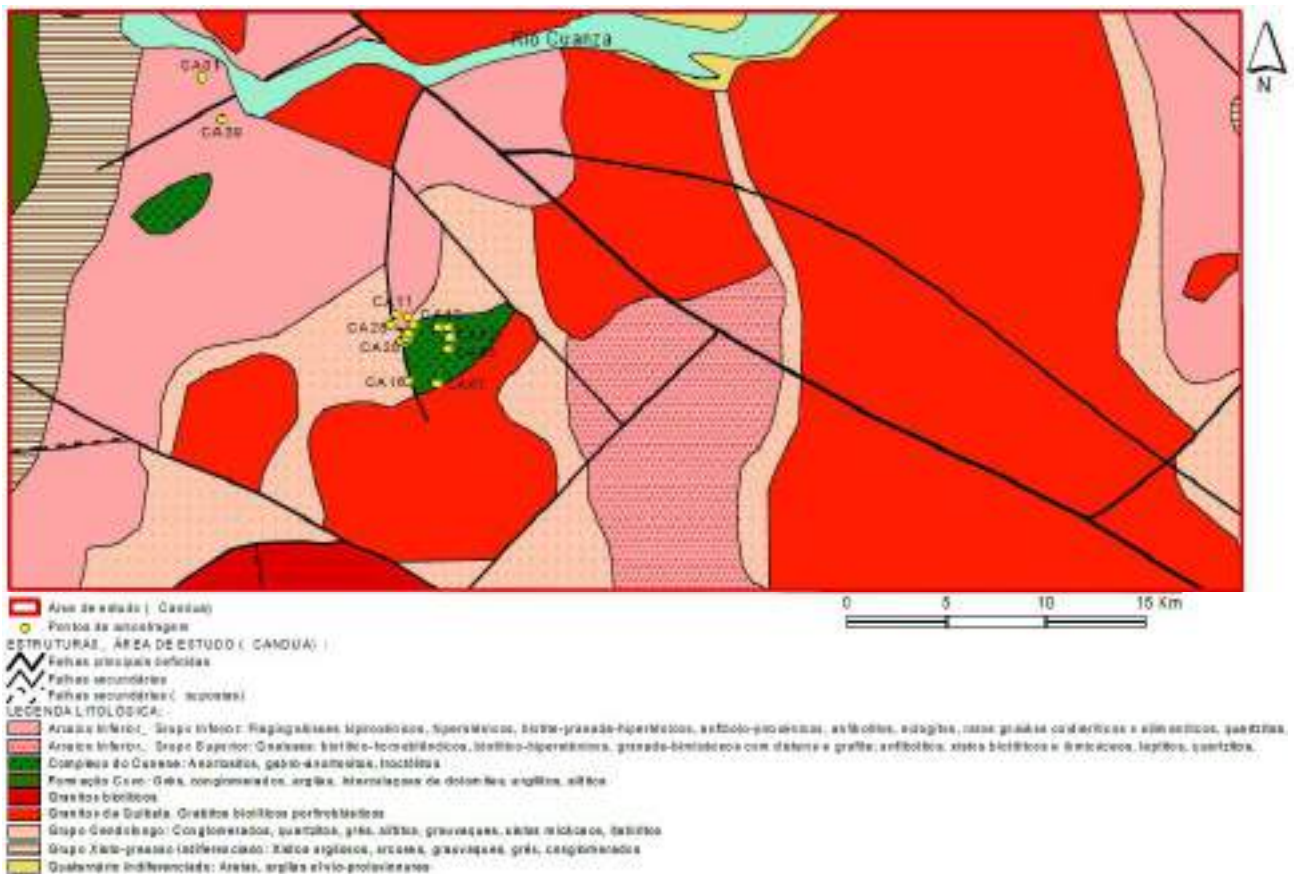


Figura 2: Geologia da área de estudo, cobrindo o troço Cambambe-Libolo (Adaptado de DE ARAÚJO, 1988).

dão e Cunga. A formação Rio Dande apresenta afloramentos mais importantes na parte oeste da zona. O seu corte está aqui representado principalmente por margas e argilas com grés fosfatados, na parte superior. No sector oeste da zona ocorrem depósitos calcário-argilosos. Assenta em concordância estratigráfica sobre os depósitos da formação Teba. A formação Gratidão localiza-se nas partes leste da zona, aflorando também, em manchas, ao longo do litoral no sector sul. É constituída por margas, calcários, grés e argilas. Assenta em concordância sobre a formação Rio Dande, verificando-se a discordância no seu contacto apenas na parte leste da zona. Ainda ao nível do Cenozóico, está representada na zona a formação do Paleogénico-Neogénico, designada por formação Quifangondo, constituída por rochas essencialmente areno-argilosas.

Os depósitos do Quaternário (Holocénicos) são aluvionares e constituem terraços baixos, leitos dos rios e lezírias de linhas de água. São constituídos por areias finas e grosseiras, na sua maioria com pouca argila, às vezes com calhaus (De Araújo, 1988).

MATERIAIS E MÉTODOS

Ao nível do sector que compreende os afloramentos de rochas máfico-ultramáficas de interesse, para os trabalhos de campo e para a confecção do correspondente mapa, os trabalhos consistiram na determinação da posição dos pontos estratégicos com o auxílio de GPS (Sistema Global de Posicionamento) Garmin III plus e Garmin 12. As amostras

foram colectadas através de 6 perfis transversais às estruturas geológicas presentes no sector em estudo (Figura 3). Amostras representativas e bem preservadas foram colectadas de NW a SE do corpo plutónico.



Figura 3: Disposição dos perfis na área de estudo, Aldeia de Candua.

A tabela 1 mostra as amostras colectadas e suas coordenadas, ao passo que a figura 2 mostra a sua posição no espaço. As amostras foram limpas, etiquetadas e pulverizadas com o auxílio de moedores.

As secções delgadas das rochas foram confeccionadas, analisadas e fotografadas nos laboratórios do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universi-

Tabela 1 - Detalhe das amostras e suas localizações

N.ºO	Amostras	X_UTM	Y_UTM	Latitude	Longitude
1	CA01	456538	8906650	9°46'50.00"S	14°31'15.00"E
2	CA11	456538	8906650	9°53'26.40"S	14°36'12.84"E
3	CA16	457085	8903226	9°55'17.90"S	14°36'30.67"E
4	CA18	456934	8905287	9°54'10.79"S	14°36'25.79"E
5	CA20	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
6	CA22	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
7	CA25	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
8	CA28	456337	8906023	9°53'46.80"S	14°36'06.22"E
9	CA29	456336	8906024	9°53'46.77"S	14°36'06.19"E
10	CA35	456963	8905430	9°54'06.14"S	14°36'26.75"E
11	CA36	457039	8905439	9°54'05.85"S	14°36'29.25"E
12	CA37	457075	8905640	9°53'59.30"S	14°36'30.44"E
13	CA39	448342	8916621	9°48'01.40"S	14°31'44.18"E
14	CA42	457352	8906046	9°53'46.09"S	14°36'39.55"E
15	CA44	457112	8906486	9°53'31.76"S	14°36'31.68"E
16	CA56	458432	8905930	9°53'49.91"S	14°37'15.01"E

dade Agostinho Neto. As análises químicas de elementos maiores, traços e terras raras, foram realizadas pela Actlabs (Activation Laboratories) no Canadá, mediante as seguintes técnicas: Fluorescência de raios X (XRF), activação neutrónica (INAA) e espectrometria de massas de plasma acoplada por indução (ICP-MS).

Para o presente estudo, as amostras de rochas gabróicas foram colectadas para estudos detalhados de petrografia e geoquímica.

Análise Litogeoquímica

Fez-se o estudo quantitativo e qualitativo da composição química das rochas máficas de Candua, por via da litogeoquímica de rocha total, de elementos menores e traços. Tais análises foram realizadas no laboratório Actlabs (Activation Laboratories) (PTY) Ltd, no Canadá. Nestes laboratórios as análises litogeoquímicas têm como fundamento a fusão por uso de um sistema robótico. O material fundido resultante é rapidamente digerido por uma solução fraca de ácido nítrico. A fusão assegura que toda a amostra é dissolvida. Só com esse ataque é que os ácidos maiores incluindo SiO₂, minerais refractários, REE e outros elementos de campos de força altos são colocados em solução. Rochas contendo alto teor de enxofre requerem um tratamento diferente mas podem ser ainda adequadamente analisadas. As análises são feitas por ICP-OES e ICP-MS. Foram enviadas 21 amostras para o laboratório com vista serem realizadas as análises químicas pelo métodos 4 litho (CA01, CA11, CA16, CA18, CA20, CA22, CA25, CA28, CA29, CA35, CA36, CA37, CA39, CA42, CA44, CA56, CA57, CA60, CA62, CA65 e CA67). O método analítico 4 litho se fundamenta numa combinação dos pacotes 4B (ICP de rocha total pela fusão de metaborato/tetraborato de lítio) e 4B2 (ICP-MS de elementos traço).

As amostras seleccionadas para as análises químicas por 4 litho foram moídas no Laboratório da Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, até atingirem a dimensão de 2 Micras, ideal para a produção da pastilha ou pellet, e foram seleccionadas depois de prévia análise petrográfica, onde as amostras contendo proces-

sos hidrotermais mais significantes, processos de substituição aos níveis de minerais máficos, bem como um teor de opacos acentuado foram as preferenciais.

TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo teve em conta a caracterização de 21 afloramentos das rochas máficas de Candua, em aspectos como a sua localização, tipo litológico mediante análise mineralógico-textural, disposição espacial e estrutural. Ademais, foi feita a colecta de amostras, tal como já foi mencionado.

CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO EMBASAMENTO DE ROCHAS ÍGNEAS

O embasamento adjacente aos corpos máfico-ultramáficos na parte central da área de estudo está constituído por granitos porfiroblásticos, compostos por feldspatos alcalinos, biotite e quartzo (Figura 4). São referidos como sendo anatócticos (De Araújo, 1988).

ESTRUTURA DAS ROCHAS MÁFICO-ULTRAMÁFICAS

Como já foi referido estes corpos de rochas máficas ultramáficas afloram no centro da área de estudo em uma estru-



Figura 4: Afloramento de granito adjacente ao corpo intrusivo máfico.

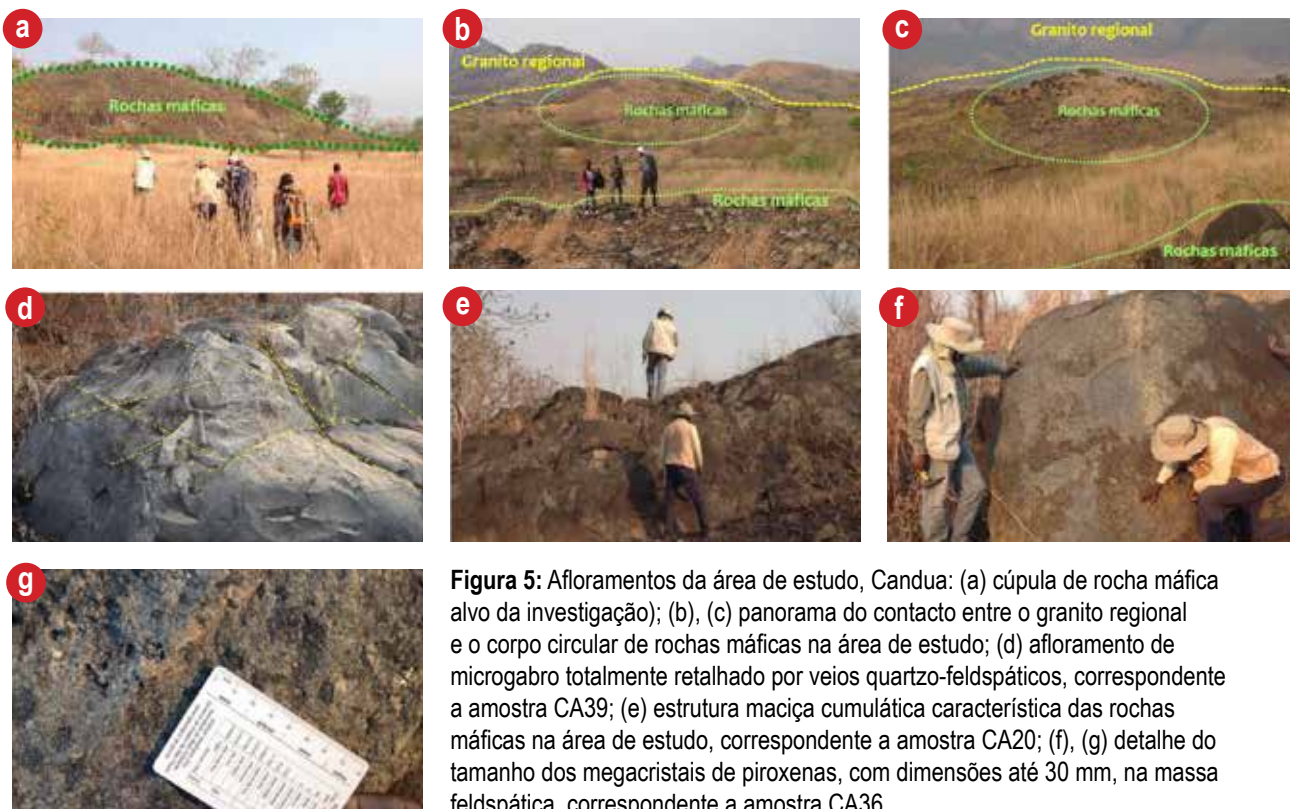


Figura 5: Afloramentos da área de estudo, Candua: (a) cúpula de rocha máfica alvo da investigação); (b), (c) panorama do contacto entre o granito regional e o corpo circular de rochas máficas na área de estudo; (d) afloramento de microgabro totalmente retalhado por veios quartzo-feldspáticos, correspondente a amostra CA39; (e) estrutura maciça cumulática característica das rochas máficas na área de estudo, correspondente a amostra CA20; (f), (g) detalhe do tamanho dos megacristais de piroxenas, com dimensões até 30 mm, na massa feldspática, correspondente a amostra CA36.

tura circular constituída por variadas cúpulas de rochas máficas. (Figura 5b, c).

Tais cúpulas ou apófises apresentam-se sobre a os granitos regionais que constituem a paisagem circundante.

Os afloramentos dessas rochas máficas se apresentam como intrusões massivas cumuláticas e uniformes constituídos essencialmente pela acumulação de piroxenas e plagioclases, durante o magmatismo (Figura 5 e-g).

A fácies mais fina deste material máfico, composta por microgabros, caracteriza-se por apresentar vários veios de material ácido quartzofeldspático atravessados em direcções distintas e múltiplas (Figura 5d).

ESTUDOS LITOLÓGICO-PETROGRÁFICOS DAS ROCHAS MÁFICAS E ULTRAMÁFICAS

As rochas máficas compreendem uma suite de rochas que, no centro da área de trabalho mapeada, se encontram representadas pelas seguintes litologias:

- **Gabro**, com clinopiroxenas e plagioclases, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular grosseira, com cristais apresentando dimensões entre 5 a 10 mm (Figura 5 f, g), compreendendo as amostras CA01, CA11, CA16, CA20, CA22 e CA25.
- **Microgabros** ou doleritos, com clinopiroxenas e plagioclases, com estrutura maciça, textura microfanerítica equigranular, cristais com dimensões em torno de 1 mm, compreendendo as amostras CA18, CA29 e CA39.

• **Melagabro piroxénico-hornebléndico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as horneblendas, manifestando índice de cor melancrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 20 a 50 mm (Figura 7 a & e), compreendendo as amostras CA28, CA36, CA42, CA56, CA60, CA62 e CA67.

• **Melagabro ortopiroxénico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as ortopiroxenas, manifestando tonalidade melancrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 20 a 50 mm, compreendendo a amostra CA37.

• **Mesogabro piroxénico-hornebléndico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as horneblendas, com índice de cor mesocrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 10 a 40 mm, compreendendo as amostras CA35 e CA65.

• **Mesogabro hornebléndico-piroxénico**, com plagioclases, horneblendas predominando sobre as clinopiroxenas, com índice de cor mesocrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 10 a 40 mm, compreendendo a amostra CA57.

• **Mesogabro ortopiroxénico-hornebléndico**, com plagioclases, clinopiroxenas predominando sobre as ortopiroxenas, manifestando tonalidade mesocrata, estrutura maciça cumulática, textura fanerítica equigranular, cristais apresentando dimensões muito grosseiras entre 10 a 40 mm, compreendendo a amostra CA44.

A consolidação da designação das rochas gabróicas da área de estudo foi feita mediante a caracterização microscópica por meio de um microscópio petrográfico, e pela combinação dos diagramas ternários de Streckeisen (Streckeisen, 1976) para rochas gabróicas com os vértices Pl-Px-Hbl (Plagioclases-Piroxenas-Horneblendas) e Pl-Cpx-Opx (Plagioclases-Clinopiroxenas-Ortopiroxenas) (Figura 6).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrografia

Como se pode observar no lançamento no diagrama de Streckeisen para rochas gabróicas, as amostras das rochas são projectadas no campo dos gabros (por apresentarem predominio de clinopiroxenas, em relação as ortopiroxenas), e gabros piroxénico-hornebléndicos (Figura 6).

Exceptuando as amostras CA18, CA29 e CA39 (Figura 7 a, b) que se apresentaram com texturas microfaneríticas (doleritos), as demais apresentam-se com granulação grosseira com paragénese modais de plagioclase (50 vol.%), clinopiroxena (30%), hornblenda+biotite (10%), e quartzo + ortoclase + ortopiroxena (10%), e opacos acesórios. As mesmas apresentam texturas em cumulos,

para os opacos. A presença da hornblenda secundária (verde) é também observada.

A hornblenda está presente como cristais verdes subédricos, pleocróicos de até 3 mm de tamanho (Figura 7 c & d). São vistas pontualmente a passagem da augite a hornblenda verde. As plagioclases ocorrem como ripas tabulares alongadas subédricas de até 2 mm de tamanho com maclas polissintéticas bem desenvolvidas. Em certos locais, os cristais de plagioclase exibem um zonamento normal (Figura 7 e & f) com núcleos corroídos. Os cristais de Cpx são intersticiais dentro da matriz cumulática das plagioclases. A biotite ocorre como subédrica a anédrica, castanha avermelhada e pleocróica, com dimensões de até 1-2 mm e ocupando sempre regiões intergranulares. Pontualmente a biotite contém inclusões de opacos ao dos planos de clivagem.

Pequenos cristais de biotite anédrica estão presentes em agrupamentos em zonas intersticiais nos gabros. O quartzo está presente como cristal anédrico intergranular; alguns cristais apresentam extinção ondulante. Os opacos são vistos dispersos nas anfíbolas e piroxenas alteradas (Figura 7 e, f, g & h) e como bolhas maiores nos minerais máficos (Figura 7 g & h).

A hornblenda (secundária) substituindo a piroxena (Figura 7 c & d) indica a prevalência da pressão parcial alta da H₂O durante a cristalização fraccionada. O quartzo e a ortose cristalizaram no estágio final nos espaços intergranulares.

Geoquímica dos elementos maiores

A distribuição dos elementos maiores nas rochas de Candua apresentam diferentes significados e variam em dependência da litologia.

Ao nível dos gabros de Candua, Libolo, as concentrações de SiO₂ varia de 40,27% a 54,11% com média de 45,7%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 15,07 a 17,01 com média de 15,9; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 8,73 a 20,41 com média de 13,4; o MnO mostra o intervalo entre 0,15 a 0,20 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 2,65% a 7,87% com média de 5,6%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 6,92% a 20,16% com média de 13,1%; o Na₂O mostra-se com conteúdos de 0,38% a 4,22% com média de 1,9%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,11% a 2,04% com média de 0,6%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,72% a 1,97% com média de 1,4%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,38% a 1,47% com média de 0,9% (Tabela 2).

Os melagabro piroxénico-hornebléndicos de Candua, Libolo, apresentam as concentrações de SiO₂ variando de 46,09% a 62,26% com média de 51,1%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 10,46 a 15,5 com média de 14,1; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 6,03 a 13,75 com média de 9,7; o MnO mostra o intervalo entre 0,135 a 0,181 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 1,19% a 10,55% com média de 8,1%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 4,1% a 12,96% com média de 11%;

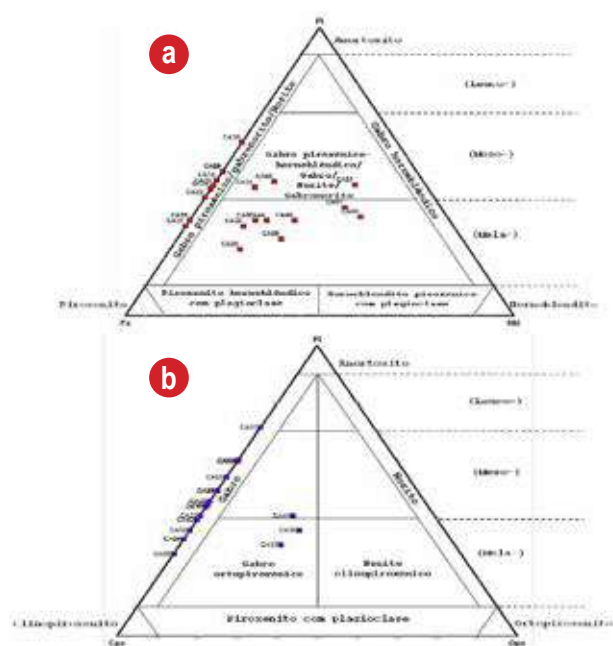


Figura 6: Lançamento das amostras nos diagramas de Streckeisen para as rochas gabróicas de Candua, Libolo (Legenda: Pl – Plagioclase; Px – Piroxena; Hbl – Horneblenda; Cpx – Clinopiroxenas; Opx – Ortopiroxenas)

bem como intergranulares ofíticas e subofíticas (Figura 7 a-h), onde as piroxenas envolvem as placas cumuláticas de plagioclases (0,1 mm a 5 mm). Nos gabros com processos de substituição as Opx estão ausentes e as hornblendas são o produto da alteração das piroxenas. Os gabros alterados são caracterizados por alterações de piroxenas a anfíbolas, anfíbolas a biotites as quais se alteram

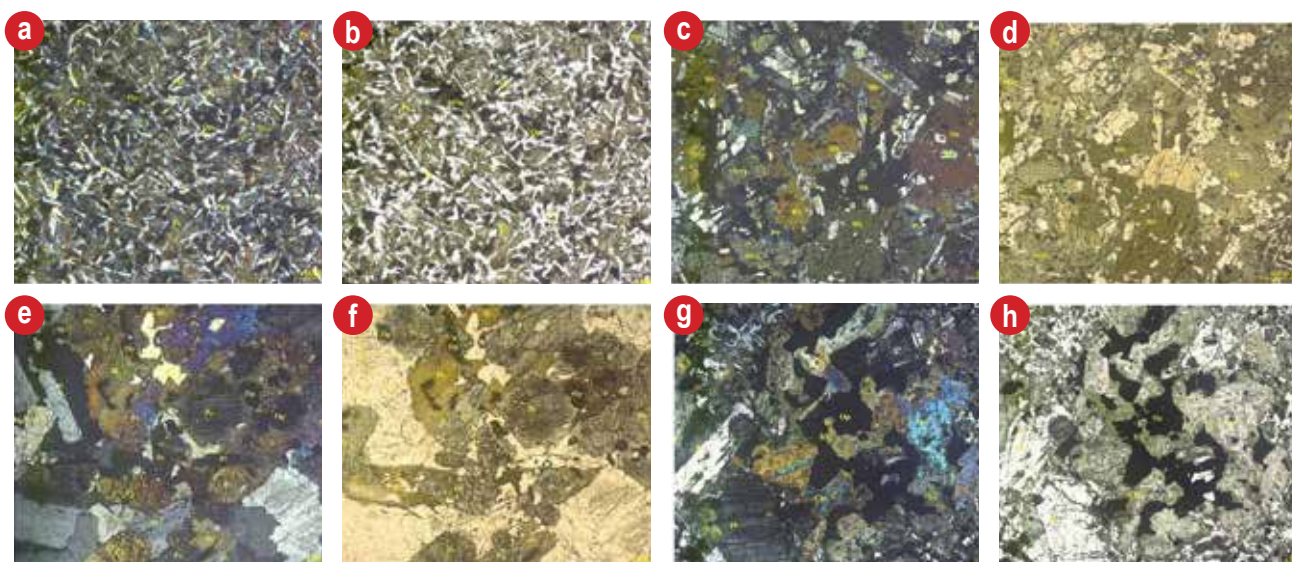


Figura 7 Microfotografias do plutão gabróico de Candua, Libolo: (a), (b) Dolerito com cristais alongados de plagioclases envolvendo os cristais de piroxenas em uma textura ofítica. Podem ser vistos ainda minerais opacos substituindo parcialmente as piroxenas (amostra CA18). (c), (d) Cristais subédricos de clinopiroxenas parcialmente alterados à cristais levemente esverdeados de homeblenda entre cúmulos de plagioclases, algumas das quais sericitizadas. São também visíveis cristais de cpx serpentinizadas, e minerais opacos (amostra CA36). (e), (f) Cristais subédricos de clinopiroxenas, biotite e opacos em clusters, entre as grandes ripas de plagioclases. As biotites bordejam os minerais opacos (amostra CA57). (g), (h) Exsoluções de minérios de Fe-Ti ao longo dos cristais de cpx (amostra CA20).

o Na₂O mostra-se com conteúdos de 1,25% a 3,78% com média de 2,0%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,46% a 4,84% com média de 1,3%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,53% a 1,37% com média de 0,8%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,12% a 0,99% com média de 0,4% (Tabela 2).

Nos mesogabro piroxénico-hornebléndicos de Candua, Libolo, as concentrações de SiO₂ varia de 45,21% a 48,5% com média de 47,2%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 15,05 a 16,75 com média de 16,1; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 10,78 a 13,57 com média de 11,7; o MnO mostra o intervalo entre 0,16 a 0,21 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 7,22% a 7,86% com média de 7,7%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 10,52% a 12,11% com média de 11,5%; o Na₂O mostra-se com conteúdos de 1,01% a 2,35% com média de 1,8%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,43% a 1,69% com média de 0,9%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,85% a 0,95% com média de 0,9%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,21% a 0,68% com média de 0,5% (Tabela 2).

Por sua vez, os microgabros de Candua, Libolo, têm teores de SiO₂ variando entre 44,33% a 53,19% com média de 48,7%; os conteúdos de Al₂O₃ mostra um intervalo de 13,86 a 15,71 com média de 14,7; o Fe₂O₃ está inserido no intervalo de 9,03 a 16,52 com média de 12,3; o MnO mostra o intervalo entre 0,14 a 0,21 com média de 0,2; os conteúdos de MgO situam-se entre 4,44% a 10,92% com média de 7,2%; o CaO apresenta conteúdos situados entre 6,49% a 12,33% com média de 9,7%; o Na₂O mostra-se com conteúdos de 1,72% a 2,93% com média de 2,5%; o K₂O apresenta-se com conteúdos situados entre 0,51% a 2,62% com

média de 1,2%; o TiO₂ tem valores no intervalo que vai de 0,57% a 1,97% com média de 1,4%; e o P₂O₅ está no intervalo de 0,29% a 1,32% com média de 0,9% (Tabela 2).

Os diagramas de Harker mostram contraste entre as assinaturas químicas dos Gabro, Microgabros, Melagabro piroxénico-hornebléndico, Mesogabro piroxénico-hornebléndico (Figura 8).

Em relação a SiO₂, todos os litotipos apresentam-se com uma correlação inversa, ou seja, empobrecidos em Al₂O₃, FeOt e CaO, enquanto se encontram com uma correlação positiva ou enriquecidos em Na₂O e K₂O (Figura 8 e, f). Por outro lado, os microgabros e os mesogabros apresentam-se semelhantes, sendo que para a mesma concentração de SiO₂, estes apresentam enriquecimento em Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ (Figura 8 e-h) e empobrecimento em Al₂O₃, FeOt, MgO, CaO (Figura 8 a-d). Já os gabros e os melagabros apresentam semelhança no sentido em que relativamente a sílica apresentam um enriquecimento em MgO, Na₂O, K₂O (Figura 8 c, e, f), e um empobrecimento em Al₂O₃, FeOt, CaO, TiO₂ e P₂O₅ (Figura 8 a, b, d, g, h).

Os teores de K₂O e Na₂O mais altos do que os expectáveis, para todos os litotipos, são devido a presença de Feldspatos-K como a microclina e a ortose (Figura 8 e, f).

No diagrama ternário AFM, de Irvine & Baragar, 1971 (A=Na₂O+K₂O, FeO*=ferro total como FeO, e M=MgO), as rochas máficas de Candua, Libolo, mostram uma tendência toleítica bastante consistente progredindo para o enriquecimento em ferro (Figura 9).

Essas rochas são classificadas como sendo da série subalcalina, com o enriquecimento simultâneo em álcalis e sílica.

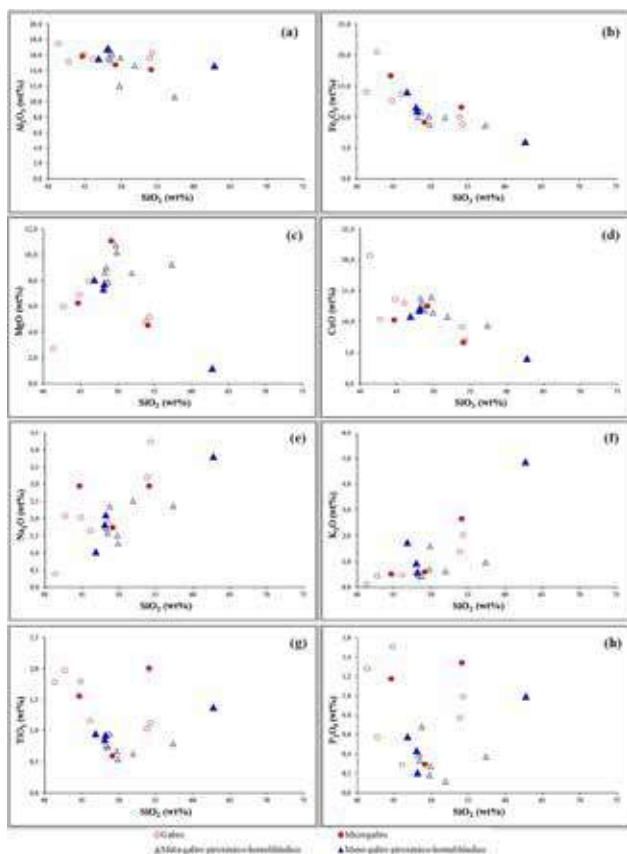


Figura 8: Diagramas de Harker ilustrando as tendências na composição em óxidos maiores do plutão de rochas máficas de Candua, para os diferentes litotipos (gabros, microgabros, melagabros e mesogabros).

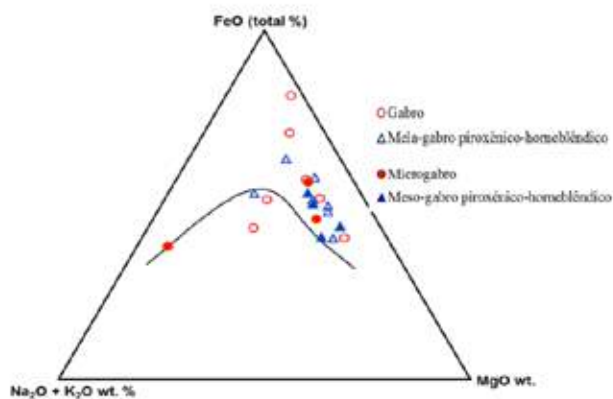


Figura 9: Diagrama de AFM, de Irvine & Baragar (1971) mostrando as rochas máficas de Candua, sendo projectadas na região toleítica, com tendência de enriquecimento em ferro, mostrando características sub-alcálicas toleíticas.

No geral as rochas gabróicas de Candua, Libolo, contêm baixo conteúdo de MgO e CaO e maiores conteúdos de SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, P₂O₅ e álcalis. Os altos conteúdos de Fe e Ti tem a ver com o seu grande volume de opacos (provavelmente ilmenites e magnetites) no intervalo de 10 a 20%.

As variações geoquímicas são também observadas em termos do conteúdo de MgO e número de Mg (número

de Mg = massa molar de Mg x 100/ (Mg+ Fe total). O decréscimo dos valores de MgO ou número de Mg em rochas gabróicas reflecte o fraccionamento do fundido (liquidus) ou fases ferromagnesianas próximas do liquidus (Wilson, 1989). Nas rochas gabróicas de Candua, Libolo, o número de Mg nos gabros varia de 27,8 a 58,2 com média de 42,2. Nos mela-gabros piroxénico-hornbléndicos varia de 53,3 a 67,9 com média de 61,2. Nos meso-gabros piroxénico-hornbléndicos os valores do #Mg variam de 53,8 a 70,6 com média de 64,3, e nos microgabros varia de 42,6 a 58,8 com média de 51,6 (Tabelas 2). Percebe-se claramente que o predomínio na concentração em magnésio recai para o mesogabros, seguindo os melagabros, os microgabros e por fim os gabros.

O MgO foi tomado como o óxido de referência por causa do seu grande intervalo de valores e comportamento importante durante a cristalização fraccionada do fundido. Para entender a evolução magmática, vários diagramas binários foram projectados (Figura 10).

Para os litotipos de rochas máficas de Candua, Libolo, os gabros mostram incremento sistemático de CaO, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃, TiO₂ e Al₂O₃ com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 10 b-g), enquanto que os conteúdos de SiO₂ mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 10 a). Os microgabros apresentam um incremento de SiO₂, K₂O, Na₂O e TiO₂ com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 10 a, c, d, e), enquanto que os conteúdos de Fe₂O₃, Al₂O₃ e CaO mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 10 b, f, g). Nos melanogabros piroxénico-hornbléndicos regista-se um incremento sistemático de SiO₂, Fe₂O₃, K₂O e Na₂O com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 10 a, b, c, d), enquanto que os conteúdos de TiO₂, Al₂O₃ e CaO, e mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 10 e, f, g). Por sua vez, nos mesogabros piroxénico-hornbléndicos há um incremento de Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, TiO₂ e Al₂O₃ com o decréscimo do conteúdo de MgO (Figura 8 b, c, d, e, f) enquanto que os conteúdos de SiO₂ e CaO mostram um incremento com o incremento dos conteúdos de MgO (Figura 8 a, g).

Pode-se verificar que essas variações, para os diferentes litotipos, condizem com a cristalização fraccionada do magma. Contudo, há um empobrecimento de TiO₂ nos gabros em relação ao MgO. Ainda nos gabros, as correlações negativas entre o MgO vs TiO₂, Al₂O₃ e CaO é muito suave e quase plana. A correlação positiva entre a SiO₂ e MgO nos gabros e nos mesogabros é bastante suave e quase plana. O mesmo se verifica na correlação inversa entre o MgO vs FeO_t, nos gabros, melagabros e mesogabros (Figura 8 b, e, f, g).

O ligeiro acréscimo da razão CaO/Al₂O₃ com o acréscimo dos conteúdos de MgO e as correlações positivas do número de Mg versus Cr (ppm), Ni (ppm), em todos os litotipos nas rochas máficas de Candua, Libolo, é a consequência da cristalização fraccionada dominada

Tabela 2 - Concentração de elementos maiores de rocha total, elementos traços e REE de Candua, Libolo

Litologia	Gabro	Gabro	Gabro	Microgabro	Gabro	Gabro	Gabro	Mela-gabro	Microgabro	Meso-gabro	Mela-gabro	Gabro	Microgabro	Mela-gabro	Mela-gabro	Meso-gabro	Mela-gabro	Mela-gabro	Meso-gabro	Mela-gabro	Mela-gabro	Meso-gabro
Amostras	CA01	CA11	CA16	CA18	CA20	CA22	CA25	CA28	CA29	CA35	CA36	CA37	CA39	CA42	CA44	CA56	CA57	CA60	CA62	CA65	CA67	
SiO ₂	54,11	43,85	53,44	48,54	42,61	48,19	40,27	47,75	44,33	47,89	47,39	46,09	53,19	48,71	48,5	56,29	47,1	48,64	51,63	45,21	62,26	
Al ₂ O ₃	16,2	15,78	15,49	14,54	15,07	16,22	17,01	15,15	15,71	16,75	15,5	15,48	13,86	15,31	16,05	10,46	16,44	11,79	14,6	15,01	14,55	
Fe ₂ O ₃ (T)	8,73	12,31	9,86	9,03	20,41	10,91	13,66	10,88	16,52	10,96	9,85	13,75	11,34	8,67	10,78	8,52	11,42	9,92	9,91	13,57	6,03	
MgO	5,14	6,75	4,76	10,92	5,97	7,87	2,65	8,91	6,18	7,71	8,5	7,92	4,44	9,95	7,86	9,09	7,22	10,55	8,58	7,81	1,19	
CaO	6,92	13,26	9,05	12,33	10,36	12,72	20,16	12,52	10,14	12,11	13,52	12,96	6,49	11,26	11,8	9,26	11,64	13,7	10,76	10,52	4,1	
Na ₂ O	4,22	1,99	3,18	1,72	2,07	1,88	0,38	1,57	2,93	2,11	1,7	1,65	2,9	1,25	2,35	2,34	1,8	1,49	2,51	1,01	3,78	
K ₂ O	2,04	0,45	1,38	0,59	0,43	0,38	0,11	0,59	0,51	0,59	0,47	0,46	2,62	1,57	0,43	0,97	0,93	0,7	0,63	1,69	4,84	
TiO ₂	1,119	1,758	1,02	0,586	1,971	0,718	1,74	0,723	1,548	0,929	0,757	1,154	1,973	0,533	0,948	0,779	0,85	0,659	0,631	0,923	1,377	
P ₂ O ₅	0,99	1,47	0,77	0,29	0,57	0,38	1,25	0,33	1,17	0,21	0,38	0,29	1,32	0,27	0,68	0,37	0,43	0,18	0,12	0,56	0,99	
MnO	0,15	0,173	0,188	0,166	0,201	0,186	0,176	0,169	0,206	0,147	0,156	0,172	0,14	0,144	0,16	0,166	0,184	0,181	0,148	0,212	0,135	
LOI	0,35	2,72	1,14	1,85	0,97	1,18	2,54	2,17	1,14	0,79	1,57	0,73	0,89	2,83	1	1,81	2,22	2,9	1,08	3,23	0,57	
Total	99,97	100,5	100,3	100,6	100,6	100,6	99,94	100,8	100,4	100,2	99,8	100,7	99,18	100,5	100,6	100,1	100,2	100,7	100,6	99,75	99,81	
Cs	0,9	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,7	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8	3,4	
Rb	32	10	35	10	8	5	2	14	7	9	7	7	55	46	5	17	27	16	10	81	147	
Ba	1154	213	653	414	204	362	134	454	398	283	268	194	1527	1414	264	1139	2424	289	452	1423	1401	
Sr	1020	1341	608	509	590	582	5052	505	932	687	589	596	1074	615	675	472	669	384	848	568	373	
Pb	13	16	12	10	4,9	7	36	4,9	7	12	7	4,9	23	25	35	15	9	9	6	29	39	
Th	2,35	1,59	6,55	0,75	0,53	0,57	1,47	0,49	1,13	0,93	0,88	0,57	2,11	0,75	0,8	3,34	1,09	1,04	0,99	1,61	27,1	
U	0,57	0,32	1,53	0,18	0,1	0,1	0,31	0,11	0,21	0,22	0,2	0,13	0,44	0,13	0,19	0,53	0,24	0,3	0,19	0,33	8,5	
Zr	129	228	202	60	46	43	198	54	69	78	60	48	216	45	86	176	62	93	73	76	478	
Hf	3	5,6	5,2	1,5	1,4	1,4	4,2	1,6	2,1	2,1	1,9	1,5	5,4	1,1	2,3	4,2	1,6	2,2	1,9	2	13,1	
Y	0,3	0,45	0,78	0,1	0,2	0,11	0,31	0,14	0,22	0,25	0,22	0,13	0,54	0,1	0,19	0,22	0,16	0,21	0,12	0,16	1,72	
Y ₂ O ₃	20,5	42,8	20,6	10	16,4	15,1	21,2	13,9	29,5	11,6	12,5	13,4	19,3	8,4	16,7	15	17	15	10	17,1	65,6	
Nb	5,6	14,4	11,8	2,3	4,5	3,4	9,9	2,7	5,2	3,4	3,6	2,3	10,3	1,7	4,4	4,9	3,4	3,3	2,5	2,7	27,2	
Sc	18	26	29	38	43	46	20	40	32	35	35	43	16	36	36	31	43	45	31	36	18	
Cr	250	260	390	590	130	110	100	260	110	190	230	210	230	220	360	990	100	430	220	80	90	
Ni	70	80	40	200	19,9	60	19,9	90	30	110	120	70	70	120	130	150	60	150	170	50	19,9	
Co	29	44	34	52	76	49	27	60	47	59	56	70	36	55	57	43	51	55	51	71	9	
V	183	271	216	185	868	268	268	237	340	283	192	406	240	171	241	129	285	208	143	350	58	
W	3,2	1,3	16,9	1,1	5,1	1,5	2,8	2,2	1,1	1,9	2,1	3,4	2,9	2,6	1,3	20,2	2	1,4	4,7	2,5	5,4	
Ga	20	28	20	14	23	16	35	15	23	18	18	17	22	14	18	14	17	13	17	18	20	
Zn	100	180	120	90	140	100	80	100	150	90	80	100	220	110	120	120	110	100	90	140	100	
Cu	100	20	110	190	160	160	90	110	120	170	210	190	130	220	130	50	160	200	70	140	60	
La	46,6	88,6	62,5	15,1	28,3	18,5	75,1	15,8	46,8	21,5	22,2	14,7	68,7	17,4	36	48,3	25,3	17,4	24,9	22,6	157	
Ce	99,7	233	128	32,8	63,1	45,1	168	36,6	107	47	50,1	34,9	137	33,7	78	84,3	55,2	43,9	52	52,3	303	
Pr	12,1	32,9	13,3	3,99	7,87	5,98	21,1	4,63	13,6	5,7	6,14	4,51	17,7	4,22	9,44	9,19	7,07	5,84	6,4	6,73	33,2	
Nd	50,4	148	45,6	16,3	31,4	24,8	82,4	19,3	57,4	21,7	24,3	20	72,1	17	37,4	33,9	28,7	24,2	25,4	27,9	120	
Sm	9,05	25	7,43	3,09	5,71	4,74	12,9	3,87	10,9	4,1	4,55	4,12	12,4	3,04	6,72	5,87	5,47	4,85	4,63	5,51	28,1	
Eu	2,53	5,21	2,14	1,02	1,5	1,26	3,49	1,19	3,04	1,23	1,4	1,26	3,27	1,04	1,68	1,5	1,45	1,29	1,41	1,44	4,44	
Gd	6,71	15	5,06	2,6	4,45	3,75	8,03	3,39	8,45	3,03	3,51	3,45	7,89	2,46	5,03	4,02	4,52	3,94	3,15	4,43	14,2	
Tb	0,83	1,71	0,7	0,37	0,6	0,53	0,95	0,48	1,15	0,43	0,5	0,48	0,87	0,32	0,64	0,54	0,64	0,52	0,4	0,61	2,03	
Dy	4,13	8,88	3,83	1,91	3,1	2,81	4,61	2,56	5,81	2,26	2,55	2,6	4,07	1,57	3,28	2,86	3,3	2,92	2,08	3,19	11,3	
Ho	0,71	1,55	0,73	0,35	0,57	0,52	0,79	0,49	1,03	0,42	0,47	0,48	0,67	0,29	0,61	0,49	0,59	0,51	0,36	0,58	2,16	
Er	1,93	4,1	2,05	0,95	1,56	1,45	2,01	1,37	2,65	1,15	1,35	1,29	1,7	0,8	1,62	1,46	1,65	1,42	0,94	1,64	6,31	
Tm	0,253	0,527	0,305	0,137	0,221	0,206	0,261	0,187	0,366	0,157	0,186	0,168	0,199	0,106	0,213	0,215	0,222	0,197	0,126	0,224	0,9	
Yb	1,53	3,03	2	0,89	1,26	1,32	1,53	1,16	2,26	0,95	1,1	1,17	1,23	0,63	1,37	1,44	1,43	1,24	0,79	1,38	6,05	
Lu	0,233	0,434	0,312	0,132	0,192	0,187	0,221	0,179	0,33	0,144	0,157	0,18	0,191	0,098	0,198	0,223	0,206	0,195	0,116	0,204	0,952	
Be	2	2	2	0,9	1	1	2	0,9	1	1	2	0,9	2	0,9	1	2	1	1	1	0,9	4	
Ge	1,3	2	1,6	1,4	1,4	1,5	2,6	1,5	1,4	1,3	1	1,4	1,4	1,3	1,3	1,8	1,5	1,9	1,4	1,3	2	
As	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	
Mo	4	1,9	18	2	7	2	4	3	2	2	2	4	4	3	2	24	3	1,9	5	3	5	
Ag	4,9	0,7	4,9	4,9	4,9	4,9	0,5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	0,6	4,9	4,9	0,5	4,9	4,9	4,9	4,9	1,4	
In	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,0								

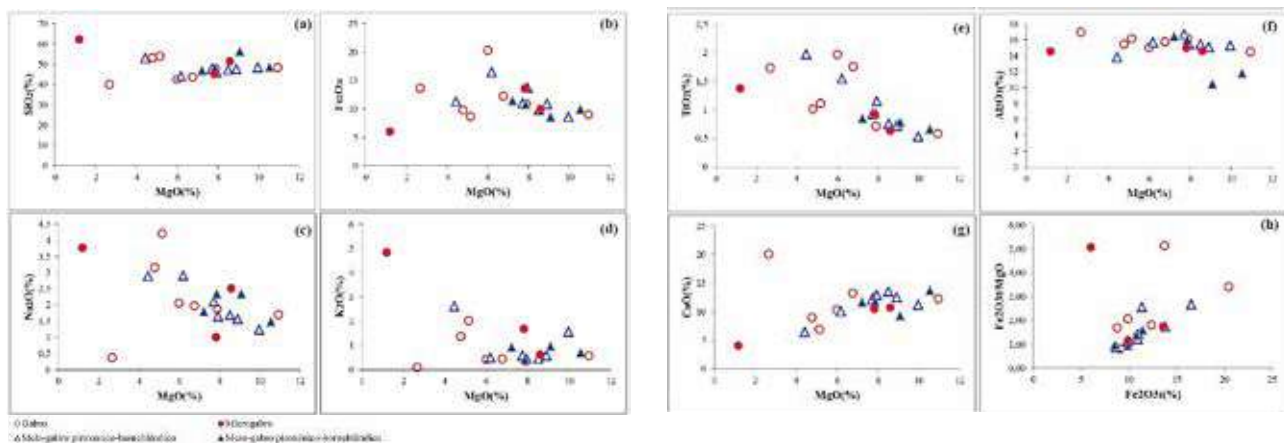


Figura 10: Comportamento dos óxidos maiores em relação ao MgO, para as rochas gabróicas de Candua.

pela plagioclase + clinopiroxena respectivamente (Figura 11 a, b, c & d).

As rochas máficas de Candua, Libolo, para todos os litotipos, a razão CaO/Al_2O_3 varia de 0,28 a 1,19, com uma média de 0,75. Exceptuando as amostras CA25 e CA60, todas as amostras das rochas gabróicas de Candua, Libolo, mostram razões de CaO/Al_2O_3 menores em relação ao valor do condrito ou o manto primário de 0,9.

Durante a remoção das plagioclases, a razão de CaO/Al_2O_3 incrementa-se. Essas razões e a tendência plana mostradas pelas projecções (Figura 11 c) indicam que a acumulação das plagioclases tomou lugar nos gabros de Candua, Libolo. O incremento de FeO com o incremento da razão FeO/MgO , nos gabros, melanogabros e mesogabros indica acumulação de opacos (provavelmente magnetite ou titano-magnetite), o que também é observado na petrografia (Figura 10 h).

O decréscimo de FeO com o incremento da razão FeO/MgO nos microgabros pode estar relacionada com a acidificação dessas rochas promovida pela forte implantação de material quartzo-feldspático por meio de veios verificados em afloramentos (Figura 5d).

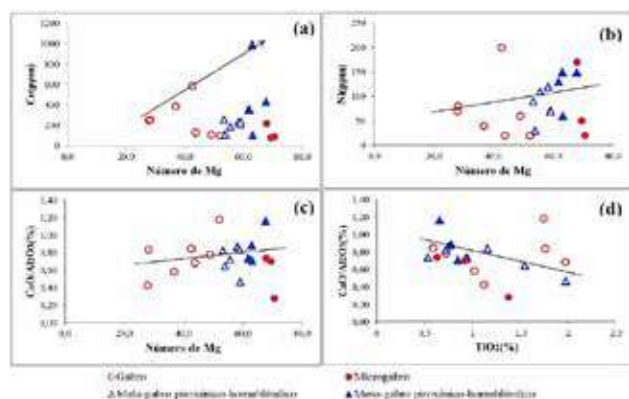


Figura 11: (a), (b) e (c) Diagramas binários do número de Mg vs Cr (ppm), Ni (ppm) e CaO/Al_2O_3 indicando cristalização fraccionada da Cpx. (c) Diagrama de variação do TiO_2 vs CaO/Al_2O_3 mostrando diferentes graus de fusão parcial nas rochas máficas de Candua.

A projecção dos óxidos de P_2O_5 vs TiO_2 , segundo Mullen (1983), para os gabros, melanogabros, microgabros e mesogabros da zona de Candua, mostra uma correlação positiva, em que há o aumento de P_2O_5 com o aumento de TiO_2 , indicando assim uma evolução das rochas máficas de Candua, por meio da fusão parcial (Figura 12).

Quanto ao índice de diferenciação de Thornton e Tuttle (1960: $DI = Qz + Or + Ab + Ne + Lc$ normativos), de forma geral, os gabros, microgabros, melanogabros e mesogabros de Candua, Libolo, mostram um índice de diferenciação (D.I.) situado no intervalo entre 49 e 89 com uma média de 65 indicando que os mesmos foram gerados no estágio tardio de um magma muito diferenciado, com exceção a amostra CA60 que possui o D.I. <50, já que todas as outras têm o D.I. >50.

Geoquímica dos elementos traços e REE de rocha total

Os padrões da distribuição dos elementos traços dos gabros de Candua, normalizados no diagrama multielementar em relação ao Manto Primitivo, segundo Sun & McDonough (1989) mostram, para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros, um enriquecimento de LILE (elementos de grande raio iónico) tais como Cs, Rb, Ba, Th, U, Sr, Pb e Eu (Figura 13).

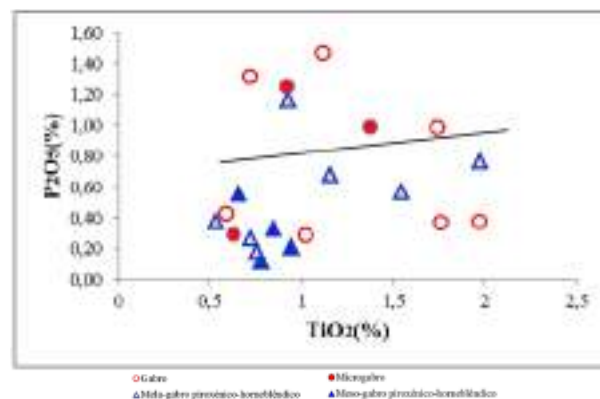


Figura 12: Diagrama binário do TiO_2 (%) vs P_2O_5 (wt.%), segundo Mullen (1983), mostrando uma correlação positiva indicando a evolução das rochas máficas de Candua, por meio da fusão parcial.

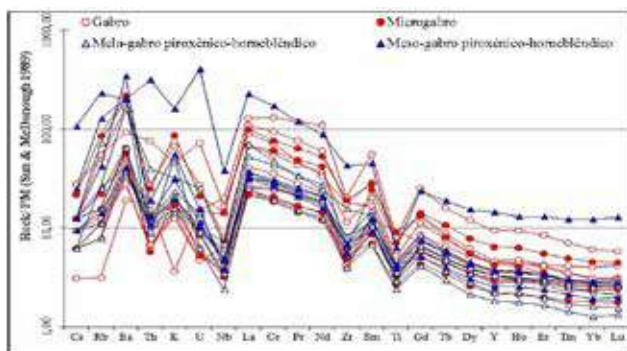


Figura 13: Distribuição dos Elementos Traços das rochas máficas de Candua, normalizados em relação ao Manto Primitivo, mostrando anomalias positivas de LILE positive e negativa de Zr.

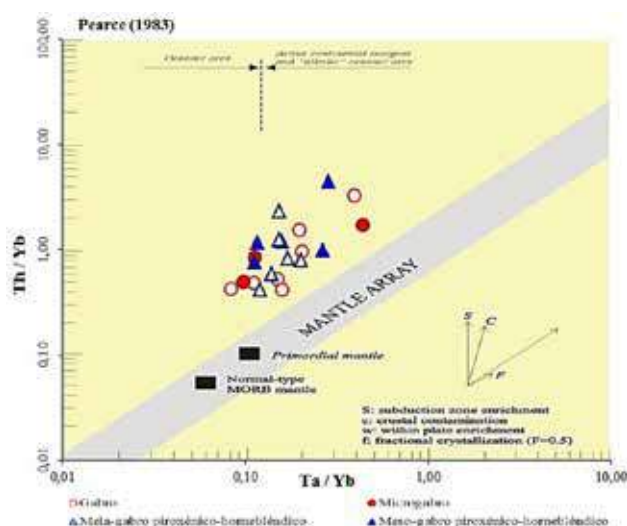


Figura 14: Diagrama de Ta/Yb versus Th/Yb das rochas gabróicas de Candua, Libolo (Pearce, 1983).

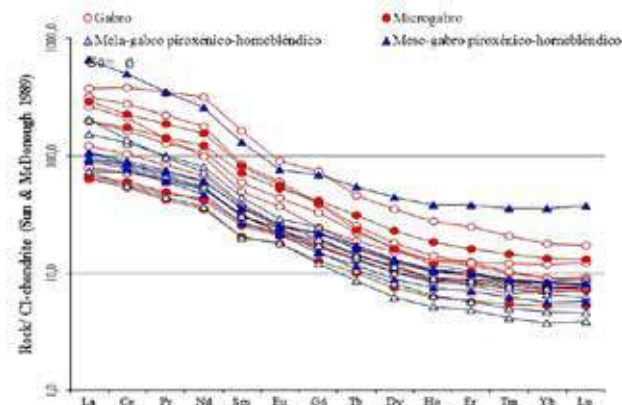


Figura 15: Padrão de distribuição dos Elementos de Terras Raras, para as rochas gabróicas de Candua, normalizado com o Condrito C1 (Sun & McDonough, 1989), com enriquecimento característico relativo dos LREE e depleção dos HREE.

Nota-se uma depleção de elementos de grande potencial iónico (HFSE) como Zr (11-78 ppm), Nb (0,4-27,2 ppm) e Hf (0,2-13,1), que são menos fraccionados e depletados com respeito as concentrações dos LILE (Table 2), indica uma fonte de enriquecimento de LREE (Elementos de Terras Raras Leves) e LILE. (Figura 13).

Os conteúdos altos de Ni e Cr dessas rochas indicam o seu parentesco toleítico que está no intervalo de 20 a 200 ppm e 80 a 990 ppm, respectivamente.

Os resultados analíticos dos gabros, microgabros, meso e melanogabros, projectados no diagrama da relação Th/Yb versus Ta/Yb, proposto por Pearce (1983), permitiram determinar que as fontes magmáticas das rochas da zona de estudo estivessem associadas à zona de transição entre os Arcos Oceânicos e as Margens Continentais Activas (Figura 14).

Pode-se assim inferir que os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros de Candua, Libolo, foram submetidos a cristalização fraccionada com concomitante contaminação crustal, sem que o tipo litológico tenha sido um factor de diferenciação. Ou seja, todos os tipos litológicos são projectadas numa zona de transição entre os Arcos Oceânicos e as Margens Continentais Activas (Figura 14).

A distribuição dos padrões das REE das rochas máficas de Candua, Libolo, normalizados aos Condritos C1 altamente fraccionados (Sun & McDonough, 1989), para todos os litotipos, mostram um enriquecimento em Elementos de Terras Raras Leves (LREE) relativamente aos Elementos de Terras Raras Pesados (HREE) para todos os litotipos (Figura 15).

O Σ REE varia de 127,1-765,2 ppm com uma média de 264 ppm, tendo as LREE 74,9-651,9 ppm; uma média de 202 ppm e o intervalo de HREE é de 44,2-113,3 ppm; média de 62 ppm (Figura 15). Um incremento no Σ REE é correlacionado ao número do Mg. O Eu/Eu* dos gabros situam-se no intervalo de 0,8 a 1,16 com uma média de 1,0 (Tabela 2), reflectido como anomalia de európio relativamente plana ou ligeiramente positiva, com enriquecimento dos LREE e empobrecimento em HREE, com excepção dos Gabros e Microgabros que apresentam teor de HREE típico de rochas com origem de contaminação crustal. As variações no Σ REE indicam vários graus de fusão envolvidos na génese dessas rochas.

Os diagramas multielementares das rochas máficas de Candua, Libolo, para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros, comparados com as composições dos basaltos de dorsais meso-oceânicas (N-MORB), e dos basaltos enriquecidos (E-MORB), (Figura 16 a), revelam em relação ao N-MORB, o seguinte:

- (1) um enriquecimento significativo nos elementos LILE: Rb, Ba e K;
- (2) um maior conteúdo em Ba, Th, La, Ce e Nd;
- (3) um enriquecimento nas LREE;
- (4) um empobrecimento das HREE.

Todos estes aspectos são similares no caso do E-MORB, excepto um ligeiro enriquecimento nos HREE observados,

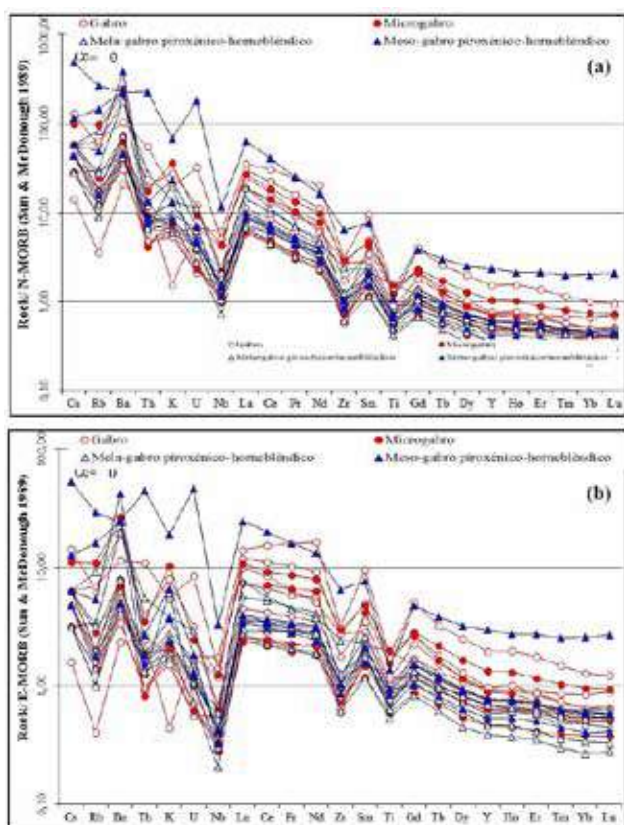


Figura 16: Diagramas multielementais das REE, para as rochas máficas de Candua, normalizados em relação: (a) aos basaltos de dorsal meso-oceânica (N-MORB); (b) aos basaltos enriquecidos (E-MORB), (Sun & McDonough, 1989).

sejam para os gabros, os microgabros, os mesogabros e os melanogabros. Os picos irregulares que apresentam os elementos Rb, K, e Nb, se interpretam como sendo devida a mobilidade que experimentam estes elementos durante a deformação tectónica (Lewis et al., 2002). Os conteúdos dos elementos traços para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros estabelecem uma origem para as rochas de Candua, Libolo, a partir de um manto relativamente enriquecido. A afinidade ao E-MORB seria resultado de uma mescla entre componentes deste manto enriquecido e um componente do manto empobrecido (fonte dos N-MORB), possivelmente relacionada com a actividade de uma pluma que a atravessou durante a sua ascensão. O empobrecimento que apresentam os HREE nos gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros seria resultado da presença de clinopiroxena residual da fonte mantélica profunda (Figura 16 b).

Nos diagramas multielementares a amostra CA67, correspondente a um mesogabro piroxénico-hornbléndico, apresenta um comportamento que corta os demais amostras para o Ba, Pr e Nd normalizados tanto para o Manto Primitivo, para o Condrito, para o MORB enriquecidos bem como o MORB empobrecido.

DISCUSSÃO

Os estudos efectuados durante os trabalhos de campo nos intrusivos da zona de Candua, permitem determiná-los

como pertencentes à uma estrutura circular de composição máfica e ultramáfica, encaixada em terremos de composição ígnea e metamórfica de idade Precambriana.

(a) Petrografia e Geoquímica

Os estudos petrográficos indicam o predomínio dos cúmulos de plagioclase e clinopiroxenas nas secções inalteradas para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros de Candua, Libolo. A saussuritização das plagioclases, anfíbolos castanhos e verdes, biotites e opacos como produtos de alteração das Cpx, relíquias de Cpx ocupam os espaços intercúmulos. Agrupamentos magmáticos de minerais máficos, piroxenas, anfíbolos e quartzo são observados nas rochas. A variação no número do magnésio (32 a 55), textura cumulática e outras projecções discriminantes geoquímicas indicam cristalização fraccionada como um processo magmático dominante para a geração dos gabros, microgabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e dos mesogabros piroxénico-hornbléndicos.

A presença de Opx acessória, sobretudo nos melanogabros, e a tendência de enriquecimento em ferro mostrado pelo diagrama AFM são indicativos de um magma de natureza toleítica (Figura 9).

O índice de diferenciação (D.I.) indica que essas rochas gabróicas, no geral, formaram-se no estágio tardio de diferenciação de um magma basáltico.

As correlações positivas entre Ti (ppm) versus Zr (ppm), número do Mg versus Cr (ppm), Ni (ppm) revelam a cristalização da Cpx e da plagioclase (Figura 10 a, b).

A relação positiva entre o conteúdo de MgO com os conteúdos de CaO e Al₂O₃ confirma igualmente o fraccionamento das Cpx e plagioclase para os gabros, microgabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e mesogabros piroxénico-hornbléndicos (Figura 15).

As razões de CaO/Al₂O₃ (variando de 0,28-1,19; média de 0,75) são ligeiramente menores que as razões do manto superior (0,8) e do condrito (0,9), o que indica que essas rochas os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros resultaram de vários graus de fusão parcial (Figura 11d).

Os padrões das REE normalizados ao condrito, para os gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros, mostram um enriquecimento em Elementos de Terras Raras Leves (LREE) variando entre 100 a 1000x para algumas amostras e um empobrecimento para os Elementos de Terras Raras Pesadas (HREE) cujos valores variam de 8 a 80x, bem como uma ligeira anomalia positiva de Eu, típico de ambientes crustais que apresentam um fracionamento contínuo e depleção das HREE (Figura 15).

A projecção dos dados analíticos dos gabros, microgabros, mesogabros e melanogabros normalizados ao M-MORB e E-MORB (Sun & McDonough, 1989), mostram uma acentuada anomalia negativa de, Rb, Th, Nb, Zr e Ti e um enri-

quecimento em Ba, K, Ce, Sm, Gd e Elementos de Terras Raras Leves (LREE), com o K e os Elementos de Terras Raras Pesados (HREE) em torno de 8x (Figura 16).

O somatório dos conteúdos dos Elementos das Terras Raras (Σ REE) variam de 127,1 a 765,2 ppm com uma média de 264 ppm. A presença de hornblenda nos gabros contribuiu para os altos conteúdos de REE nessas rochas. Os coeficientes de partição das REE para a hornblenda são maiores em rochas intermédias do que em rochas básicas (Rollinson, 1993). A abundância em REE e os padrões de distribuição suportam a fusão parcial do manto.

Com base as razões da relação compatível/incompatível de Ta/Yb versus Th/Yb indica que a fonte das rochas máficas de Candua, Libolo, tem uma influência de processos continentais de contaminação crustal (figura 14).

Os padrões de distribuição dos Elementos traços e das REE e as razões para as rochas gabróicas máficas de Candua, Libolo, mostram enriquecimento em LILE, LREE e empobrecimento em HREE e HFSE com assinaturas de depleção pronunciadas, mas com anomalias de Eu com tendências positivas indicando variações nos níveis de acumulação das plagioclases.

O Nb/Ta varia de 0,3-1,6 com uma média de 0,9, ao passo que a média do manto primitivo indicada por Sun et al (1989) é de 17,4, significando uma depleção de Nb/Ta nas rochas máficas de Candua, Libolo.

A discriminação baseada na relação entre Nb/Th versus Y (ppm) (Figura 17) classifica essas rochas máficas como sendo dos campos de arcos, dando assim substância a outros parâmetros geoquímicos encontrados. As razões baixas de Nb/Th e os conteúdos baixos a moderados de Y são característicos de magmas basálticos derivados de arcos (Jenner et al., 1991). As razões de Al_2O_3/TiO_2 , CaO/TiO_2 e K_2O/TiO_2 das rochas máficas de Candua, Libolo, são projectados contra os seus respectivos conteúdos de TiO_2 .

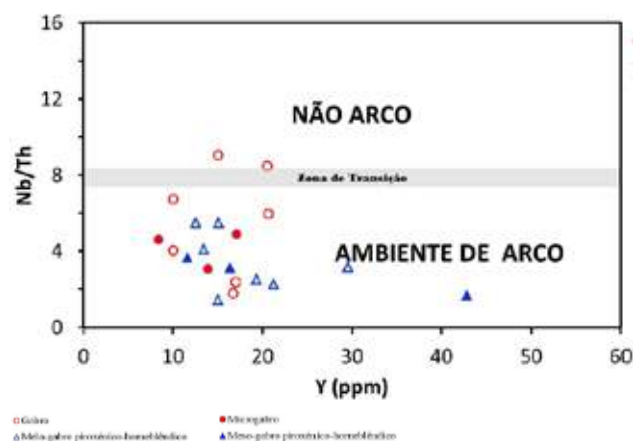


Figura 17: Diagrama discriminante baseado na razão Nb/Th versus Y (ppm) (Jenner et al. 1991) classificam as rochas máficas de Candua, como pertencentes essencialmente a Arcos.

Nas rochas gabróicas de Candua, a razão de Al_2O_3/TiO_2 varia de 7,02 a 28,7 com uma média de 16,2 e CaO/TiO_2 varia de 3,0 a 21,1 com uma média de 12,3. O K_2O/TiO_2 varia de 0,06 a 3,5 com uma média de 1,07, cuja razão é mais alta do que a referente ao manto enriquecido e MORB (0,15), indicando claramente um enriquecimento em K. Tal enriquecimento pode ser possível devido a: i) contaminação do magma parental das rochas gabróicas, ii) cristalização fraccionada, e iii) enriquecimento em K na fonte mantélica.

As variações de TiO_2 versus Al_2O_3/TiO_2 , CaO/TiO_2 e K_2O/TiO_2 também suportam as observações da crosta primitiva oceânica como responsável pela génese dessas rochas máficas. As razões de Al_2O_3/TiO_2 variam de 7,02 a 28,7 com uma média de 16,2 para as rochas gabróicas de Candua (a razão do Condrito é de 20).

Por outro lado, a distribuição dos elementos incompatíveis nos magmas basálticos dos fundos oceânicos difere de forma substancial aos magmas basálticos de arcos-ilha. Os de arcos-ilha mostram um característico empobrecimento em Nb e Ta, comparado com a maior abundância de elementos LILE (Th, K, Rb e La; Tejada et al., 2002; Condie, 1994). Já os de fundos oceânicos procedem de plumas mantélicas e não apresentam a anomalia negativa de Nb-Ta (inclusive um enriquecimento). A relação La/Nb (ou Th/La) foi sugerida para monitorizar os magmas dos componentes de arco e pluma (Lewis et al., 2002). Valores da relação $La/Nb < 1$ são características de magmas basálticos de fundos oceânicos e N-MORB. A distinção dos magmas basálticos de fundos oceânicos dos magmas basálticos MORB é mais difícil. Contudo, os de MORB apresentam tipicamente conteúdos menores de Nb e Ta ($Nb < 3$ ppm) que os de fundos oceânicos ($Nb > 5$ ppm), assim como menores razões Nb/Y ($< 0,1$, Lewis, 2002). Assim, as rochas máficas de Candua, apresentam razões $La/Nb > 1,4$ (1,6-30, e média de 10,3) e $Nb/Y > 0,1$ (0,2-0,6, com média de 0,3). As anomalias negativas Nb-Ta e os valores altos da razão La/Nb estabelecem uma assinatura geoquímica que as podem associar ao magmatismo de uma dorsal oceânica, situada na zona de arco traseiro.

CONCLUSÕES

1. As rochas máficas de Candua (Libolo), fazem parte de um corpo intrusivo de estrutura circular sobre rochas ígneas, metamórficas, associadas a zona do hertz do Kwanza e a falha perioceânica.
2. Litologicamente, as rochas máficas de Candua (Libolo), classificam-se em gabros, microgabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e mesogabros piroxénico-hornbléndicos, compostas por plagioclase e clinopiroxenas como fases minerais essenciais, hornblendas, ortopiroxenas, biotites e opacos como fases secundárias.
3. Texturalmente os microgabros apresentam textura microfanerítica ofítica, ao passo que os gabros, melagabros piroxénico-hornbléndicos e mesogabros piroxénico-hornbléndicos apresentam uma textura fanerítica cumulática ofítica a subofítica.

4. Geoquimicamente, as rochas máficas de Candua (Libolo), apresentam baixos teores de alcalinos ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), teores médios Fe_2O_3 , teores de TiO_2 de moderado a alto, e altos teores de Al_2O_3 , sendo classificadas genericamente como gabros subalcalino-peraluminoso-toleíticos, com anomalias negativas de Rb, Th, Nb, Zr e Ti e uma anomalia positiva de Ba, K, Ce, Sm e Gd.

5. Os elementos de REE dos gabros, microgabros, melagabros piroxénico-horneblêndicos e mesogabros piroxénico-horneblêndicos, apresenta uma anomalia plana positiva de Eu, típico de rochas formadas em ambiente cortical com aporte significativo de material continental.

6. As rochas máficas de Candua (Libolo), mostram enriquecimento em LREE e empobrecimento em HREE, bem como anomalias negativas de Th, Nb, Zr, Ti, Ho, entre outros REE, indicando feições características de rochas de contaminação crustal, corroborado pela relação geoquímica de Ta/Yb versus Th/Yb; e de Ti versus Zr.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Andrade, M. M., 1950. *Estado actual dos conhecimentos sobre as rochas ígneas de Angola*. Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra. Publicações do Museu Mineralógico e Geológico, N.º 27. Memórias e Notícias. Coimbra Tipografia da Atlântida.
- [2] Ashwal, L.D., Twist, D., 1994. *The Kunene complex, Angola/Namibia: a composite massif-type anorthosite complex*. *Geological Magazine* 131, 579-591.
- [3] Condie, K.C., 1994. *Greenstones through time*. In K.C. Condie (ed.). *Archean Crustal Evolution*. Elsevier, Amsterdam, 85-120.
- [4] Cruz, A. G.; Simões, M. C., 1968. *Estudo Petrográfico da região de Impulo – Chongoroi*.
- [5] De Araújo, A.G., Perevalov, O.V., Jukov, R.A., 1988. *Carta Geológica de Angola. Escala 1:1000 000*. Instituto Nacional de Geologia. Angola.
- [6] De Carvalho, H., 1980-1981. *Breves Considerações de Natureza Geológica e de Cronologia Absoluta sobre as Rochas do Soco Antigo (Arcaico) de Angola*. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, Vol. XXII.
- [7] De Carvalho, H., Alves, P., 1990. *Gabbro-anorthosite Complex of SW Angola/NW Namibia*. *Comunicações Instituto Investigação Científica Tropical, serie de Ciencias da Terra, Lisboa*, pp. 5-64.
- [8] Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. *A guide to the chemical classification of the common igneous rocks*. *Can. J. Earth. Sci.*, 8, 523-548.
- [9] Jenner, G.A., Dunning, G.R., Malpas, J., Brown M. and Brace, T., 1991. *Bay of Islands and Little Port complexes, revisited: age, geochemical and isotopic evidence confirm suprasubductionzone origin*. *Can. J. Earth Sci.*, 28: 1635-1652.
- [10] Lewis, J.F., Escuder Viruete, J., Hernaiz Huerta, P.P., Gutierrez, G., Draper, G., Pérez-Estaún, A., 2002. *Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico*. *Acta Geologica Hispanica*, v. 37, nº 2-3, p. 81-122
- [11] Mayer, A., Hofmann, A.W., Sinigoi, S., Morais, E., 2004. *Mesoproterozoic Sm-Nd and U-Pb ages for the Kunene Anorthosite Complex of SW Angola*. *Precambrian Research* 133, 187-206.
- [12] Maier, W.D., Teigler, B., Miller, R., 2008. *The Kunene anorthosite complex and its satellite intrusions*, in: R.Mc. G Miller editions, *The Geology of Namibia, Geological Survey of Namibia 9-1 to 9-18*.
- [13] Morais, E., Sinigoi, S., Mayer, A., Mucana, A., Miguel, L.G., and Neto, J., 1998. *The Kunene gabbro-anorthosite complex: preliminary results based on new field and chemical data*. *Africa Geoscience Review* 5, 14.
- [14] Mullen, E.D., 1983. *MnO/TiO₂/P₂O₅: A Minor Element Discriminant for Basaltic Rocks of Oceanic Environments and Its Implications for Petrogenesis*. *Earth and Planetary Science Letters*, 62, 53-62. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(83\)90070-5](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(83)90070-5)
- [15] Pearce, J.A., 1983. *Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins*. In: Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. eds. *Continental basalts and mantle xenoliths*, Nantwich, Cheshire: Shiva Publications, pp. 230-249.
- [16] Perevalov, O. V., Voinovsky, A. S., Tselikovskiy, A. F., Agueev, Y. L., Polskoi, F. R., Khódirev, V.L., Kondratiev, A. I., 1992. *Geologia de Angola (Notícia Explicativa da Carta Geológica à Escala 1:1.000.000) – Luanda*.
- [17] Rollinson, H. R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, UK. p.352.
- [18] Silva, A. F. & Fernandes, N. A., 1978. *Geologia Da Região Do Cariango (Angola)*, *Bol. Soc. Geol. Portugal, Lisboa*, 21, Pp.27-59.
- [19] Streckeisen, A., 1976. *To each plutonic rock its proper name*. *Earth-Science Reviews*. Volume 12, Issue 1, March 1976, Pages 1-33.
- [20] Sun, S.S., McDonough, W.W.F., 1989. *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*. *Geological Society, London, Special Publications*; v. 42; p. 313-345. [doi:10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19](https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19).
- [21] Tejada, M.L.G., Mahoney, J.J., Neal, C.R., Duncan, R.A., Petterson, M.G., 2002. *Basement Geochemistry and geochronology of Central Malaita, Solomon Islands, with Implications for the Origin and Evolution of the Ontong Java Plateau*. In *Journal of Petrology*. Volume 43. Number 3. Pages 449-484.
- [22] Thornton, C.P. and Tuttle, O.F., 1960. *Chemistry of Igneous Rocks, Part 1, Differentiation Index*. *American Journal of Science*, 258, 664-684. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.258.9.664>
- [23] Torquato, J. R., Ferreira da Silva, A. T., Cordani, U. G., Kawashita, K., 1979. *Evolução Geológica do Cinturão Móvel do Quipungo no Ocidente de Angola*. *Academia brasileira de Ciências*.
- [24] Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis. A Global Tectonics Approach*. Springer. The Netherlands.



Artigo n.º 2

Crescimento urbano como factor de produção de inundação e deslizamento de massa nas zonas urbanas da cidade do Uíge

Urban growth as a factor of flood production and mass sliding in urban zones in Uíge city

Khokhy Sefo Maria Barros¹, João Francisco de Sousa da Silva¹, António Alves de Carvalho²

¹Universidade Kimpa Vita, Escola Superior Politécnica do Uíge, rua Henriques Freitas n.º 1, bairro Popular - Tel. 233 30174/ 233 301175, Uíge, Uíge, email: sefobarros@gmail.com, assistente estagiário, mestrando em sistema de informação geográfica. email: jszitossilva2011@gmail.com, professor catedrático, doutorado em Ciências Geodésicas.

²Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Av. 4 de Fevereiro, Marginal de Luanda / Campus da Universidade Agostinho Neto, Camama em frente ao estádio 11 de Novembro, Tel. 924 975 656, contribuinte 7101005232, Belas, Luanda, email: alvesprofessor2015@gmail.com, professor associado, doutorado em Geodesia Espacial.

CITAR COMO:

Barros, K. S. M., J. F. D. S. D. Silva e A. A. D. Carvalho. Crescimento urbano como factor de produção de inundação e deslizamento de massa nas zonas urbanas da cidade do Uíge. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 21-27

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 11/05/2020

Aceite: 21/05/2020

*Autor para

correspondência: Khokhy Sefo Maria Barros (e-mail: sefobarros@gmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: A presente pesquisa aborda o crescimento urbano que altera as características físicas e ambientais das cidades e os recursos hídricos acarretando em inundações e deslizamento de massa. A pesquisa objectivou-se em conhecer o crescimento urbano e com este factor saber as suas causas no impacto sobre os sistemas de inundação e deslizamento de massa nas zonas urbanas da cidade do Uíge. A metodologia baseia-se em: a) pesquisa teórica, b) elaboração de uma base digital de dados cartográficos, c) recolha de dados primários por meio de questionários e diálogos dirigidos com a população; d) trabalho de campo. Os resultados e análises dos cruzamentos dos mapas gerados mostrou que a urbanização tem interferência directa na ocorrência de inundações em áreas urbanas, pois impermeabiliza o solo, altera o ciclo hidrológico aumentando a taxa de escoamento superficial, que foram preponderantes para a elaboração no mapa de susceptibilidade de inundação e deslizamento de massa no município do Uíge.

Palavra-chave: Uso do solo, Drenagem pluvial urbana, inundação, deslizamento de massa, impacto ambiental.

Abstract: This research addresses urban growth that changes the physical and environmental characteristics of cities and water resources, resulting in floods and landslides. The research aimed to know the urban growth and with this factor to know its causes in the impact on the flooding and landslide systems in the urban areas of the city of Uíge. The methodology is based on: a) theoretical research, b) elaboration of a digital database of cartographic data, c) collection of primary data through questionnaires and dialogues directed with the population; d) fieldwork. The results and analyzes of the intersections of the generated maps showed that urbanization has direct interference in the occurrence of floods in urban areas, as it waterproofs the soil, changes the hydrological cycle, increasing the rate of surface runoff, were preponderant for the elaboration of the susceptibility map of flood and landslide in the municipality of Uíge.

Keywords: Land use, Urban storm drainage, flood, landslide, environmental impact.

INTRODUÇÃO

A urbanização é um processo que acarreta diversas complicações para as cidades, como as inundações e os deslizamentos de massa, que são recorrentes nas zonas urbanas não estruturadas e causam danos e prejuízos à população.

Como descrito por Tucci (2010, p. 114), “a urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas”.

Esse acontecimento se deu de forma intensa nos países da América do Sul e de África, com destaque para Angola que, na maioria das médias e grandes cidades, apresentam um problema crónico, as inundações. Este problema surge devido ao crescimento demográfico incontrolável e das alterações feitas no meio ambiente, adicionados a falta de instrumentos políticos e as inadequadas obras de drenagem pluvial.

A urbanização tem efeitos negativos sobre os recursos hídricos; o ciclo hidrológico; as variações climáticas; as cheias naturais dos rios; no uso e ocupação do solo e no balanço hídrico (TUCCI, 2007; MOTA, 2008).

Os principais factores responsáveis pela produção de inundações urbanas são diversos, vão desde o aumento gradual do volume de sedimentos e do escoamento superficial, devido ao lançamento de sólidos nos rios, galerias e canais até a inexistência de legislações. Estas questões legais quando existem, não abordam o controlo e a fiscalização quanto às ocupações indevidas do solo ou não consideram aspectos de drenagem das bacias hidrográficas.

As inundações acontecem quando um rio normalmente ocupa o leito menor e com uma precipitação passa a ocupar o leito maior e transborda. Diferentemente do conceito de cheia ou enchente de um rio, que nesse caso não há o transbordamento.

Tais efeitos são notados com facilidade nas estações chuvosas, principalmente em zonas sazonais como é a província do Uíge, apresentando chuvas intensas e mal distribuídas. É quando os grandes problemas surgem, pois, a ocupação dos leitos de córregos e rios, acrescentados às grandes áreas impermeabilizadas, a consequente diminuição da infiltração e o aumento do escoamento superficial de águas pluviais contribuem para a produção de inundações urbanas. Por isso, é importante conhecer a evolução da urbanização e os seus potenciais prejuízos, impactos e transformações no meio ambiente, especialmente sobre os recursos hídricos e como acontecem as inundações, apontando os principais factores que são responsáveis pelos processos de produção das inundações urbanas (UNDP 2007: 246).

Os deslizamentos de encostas têm aumentado consideravelmente nas últimas décadas, principalmente nos centros urbanos dos países denominados emergentes, onde esses movimentos gravitacionais de massa são agrava-

dos em função da urbanização intensa e da construção de residências em encostas acentuadas. Os deslizamentos constituem riscos da natureza, que provocam consequências graves como o bloqueio de vias de circulação, o soterramento de casas e, consequentemente, a ocorrência de vítimas fatais. Além disso, provocam diversos danos ambientais, alterando a paisagem urbana, tornando-a mais vulnerável a novas ocorrências. Segundo o IPT (2002), os riscos ambientais, são classificados sob diferentes enfoques na bibliografia internacional e nacional. Através de uma síntese da classificação utilizada é possível conhecer essas diferenças: Naturais - Relativos ao meio ambiente e à dinâmica natural (interna e externa). Embora naturais, podem ser induzidos e intensificados pelas actividades humanas (LOPES; MENDONÇA, 2010).

Esse estudo partiu do pressuposto de que as pessoas, sem opções na escolha do local de moradia, acabam tendo que morar em áreas de risco, ficando vulneráveis aos deslizamentos de massas e colocando-se à mercê do acaso. Não sabendo quando irá acontecer um deslizamento, ficam despreparadas para a ocorrência do facto, embora vivendo em áreas de risco de deslizamento os moradores dos bairros das grandes cidades de Angola em particular do Uíge.

Com base no Censo 2014 do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2014), indica que em 16 de Maio residiam em Angola 24.383.301 pessoas, sendo 11.803.488 do sexo masculino e 12.579.813 do sexo feminino, e que 62, 3% da população angolana reside em área urbana, havendo desta forma, uma significativa influência entre o homem e o meio ambiente não apenas local, mas em todo o país. A urbanização desenfreada tem causado fortes modificações no meio ambiente, sobretudo nos cursos hídricos, nos ciclos hidrológicos, nas variações climáticas, nas cheias naturais dos rios e córregos e no solo por meio dos usos e ocupações indevidas e/ou inadequadas. O principal factor desses problemas são a falta de planeamento, gestão e controlo municipal ou ainda a falta de aplicação das legislações municipais das províncias (MOTA, 2003; BARROS, 2005; TUCCI, 2007).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos seguem um princípio para se obter os resultados concretos da pesquisa que foram realizadas em sequência para se produzir as informações apresentadas, baseando-se em revisões bibliográficas e trabalhos de campo, inicialmente realizou-se as seguintes etapas:

- a) Revisão bibliográfica sobre a temática de crescimento urbano, inundações e deslizamento de massa em zonas urbanas, para tanto, alguns autores foram essenciais à pesquisa.
- b) Buscou-se, também, outras fontes de pesquisa como o Plano Director Provincial e municipal da zona em estudo.
- c) O Resultado do Censo Populacional feito em 2014 pelo Instituto Nacional de Estatística, foi uma importante fonte de pesquisa.

d) Foram obtidos os dados do Landsat 8, adquiridas no sítio de catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para georreferenciá-las utilizou-se o software Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (QUANTUM GIS), versão 3.3, que também é disponibilizado gratuitamente. Em seguida, foi elaborada a base cartográfica, conforme a figura 1. Para o processamento digital das imagens recorreu-se à metodologia proposta por Brito e Prudente (2005), seguindo as seguintes etapas:



Figura 1: Modelo de aquisição e tratamento dos dados da Landsat 8

Fonte: Ministério das cidades, 2005

• **Correção geométrica:** as coordenadas da imagem foram relacionadas com as coordenadas geográficas do mapa base, eliminando prováveis distorções causadas no processo de formação da imagem pelo sistema sensor ou pela imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma;

• **Operação de contraste:** Com o objectivo de melhorar a qualidade da imagem foi realizado um contraste linear, que consiste numa transferência radiométrica nos “pixels” para aumentar a discriminação visual dos objectos presentes na mesma;

• **Geração da composição colorida:** A composição colorida da carta imagem foi criada com as bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo.

• **Classificação:** A classificação manual permite melhor exactidão na separação de classes, sendo mais apropriada para o mapeamento de uso do solo;

• **Edição final do mapa:** A imagem classificada foi impressa e levada a campo para identificar possíveis erros. Em seguida foram feitas as correções, resultando no mapa final de uso do solo e cobertura vegetal do alto curso dos rios.

e) Levantou-se em campo, dados quantitativos e qualitativos para verificar através de entrevistas a percepção dos moradores quanto ao risco de deslizamento. Os mesmos foram fundamentais, para a apresentação dos resultados, pois foi possível fazer a visualização dos elementos directos na área de estudo, assim como das áreas modificadas, os registos fotográficos e os principais objectivos da investigação.

f) Para a elaboração da representação cartográfica do risco a inundação foi feita uma adaptação da fórmula utilizada por Westen et al. (2006), em que o risco é representado da seguinte forma:

$$Risco = \sum (H \sum (VA))$$

Onde:

- (H) é representado pelo perigo expresso em função da probabilidade da ocorrência dentro de um período de frequência,
- (V) representa a vulnerabilidade física dos elementos que estão expostos ao risco, sendo atribuído um valor (0 a 1) para cada elemento;

- (A) significa os danos causados aos elementos que estão em risco.

Aplicando a definição do risco aos atributos identificados na área em estudo tem-se:

$$Risco \text{ a inundação} = n (TR) * \{(Vulnerabilidade \text{ da Tipologia}) * [(Cota \text{ da Inundação} * P1) + (Densidade \text{ Populacional} * P2) + (Densidade \text{ de Habitações} * P3) / n P]\}$$

Onde:

- (TR) é tempo de retorno (anos) das inundações sendo representado pelas probabilidades: TR2 = 0,5, TR5 = 0,2, TR10 = 0,1, TR20 = 0,05, TR50 = 0,04 e TR100 = 0,01;

- (Vulnerabilidade da Tipologia) é vulnerabilidade das tipologias habitacionais, onde para cada tipo de tipologia foi atribuído um valor de vulnerabilidade;

- (Altura da Inundação) – Danos associados a cota da lâmina de água;

- (Densidade Populacional) – Valores de densidade populacional obtidos das análises;

- (Densidade habitacional) – Valores de densidade habitacional obtidos das análises;

Os valores P1, P2 e P3 são pesos atribuídos aos valores de Altura de inundação, Densidade Populacional e Densidade Habitacional, respectivamente, 2, 5 e 3.

Tabela 1. Análise multicriterial sobre risco de inundação e deslizamento de massa nas zonas urbanas

Variáveis	Representatividade	Pesos
Tempo de Retorno (TR)	5%	1
Vulnerabilidade Da Tipologia	34%	2
Altura da Inundação	10%	5
Densidade Populacional	23%	3
Densidade Habitacional	28%	11

g) O mapa de risco à inundação e deslizamento de massa foi produzido em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do software QUANTUM GIS, onde previamente foram elaborados os shapefile de vulnerabilidade, uso e ocupação, hipsometria, declividade, topografia. Após a determinação da cota de inundação e do modelo digital do terreno foi possível definir a profundidade da inundação. Por fim utilizou-se a ferramenta Calculador Raster onde os dados foram cruzados no programa para a confecção do mapa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A área em estudo está localizada na zona sul da província do Uíge, entre as coordenadas Geográficas 14°52'29"E, 14°55'10"E e 07°24'29"S, 07°49'04"S. Sua área total é de 64.022 km², sendo 12 Km² de área urbana, e sua população foi estimada pelo Instituto Nacional de Estatística no censo habitacional em 2014 sendo de 1.426.354 pessoas, sendo 698.958 do sexo masculino e 727.398 do sexo feminino. O município é limitado geograficamente a Norte pelo município do Songo, a Nordeste pelo município do Mucaba, a Este pelo município do Bungo, a Sul pelo município do Negage, a Sudoeste pelo município do Quitexe, e a Oeste pelo município de Ambuila. O município do Uíge é o mais populoso, concentrando 35% da

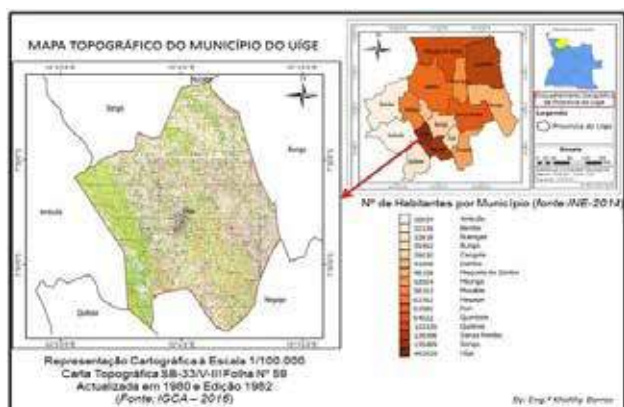


Figura 2: Localização da área de estudo província do Uíge município do Uíge

população da província tendo uma população estimada em 493.529 habitantes (censo 2014).

O crescimento da população urbana abrandou, na província do Uíge em particular no seu município sede (Uíge), mas a partir da década de 2002, teve o seu aceleração devido da tranquilidade existente do calar das armas, e deu origem a um desenvolvimento substancialmente positivo na zona urbana como mostra a figura nº 3.

Os dados apresentados na figura acima, resultante de um estudo feito com base nos dados publicados pelo INE (2014), onde faz menção da taxa de crescimento do município do Uíge está estimada em 3,2% por ano e é notório o grande fluxo de imigração das populações das zonas rurais para a zona urbana tudo na base de procura de lugares com melhores condições de vida.

A intensa urbanização e o agravamento da crise económica do em Angola têm reduzido as alternativas habitacionais da população de mais baixa renda, que passou a ocupar áreas desfavoráveis, à construção habitacional, sem planeamento e infraestruturas. Este quadro tem contribuído para o incremento das situações de risco associadas a processos do meio físico.

Fazendo uma análise visual das figuras 7 e 8, verificaram-se que os classificadores fizeram uma maior confusão entre a vegetação arbustiva e a vegetação rasteira devido as suas similaridades dos valores de brilho do

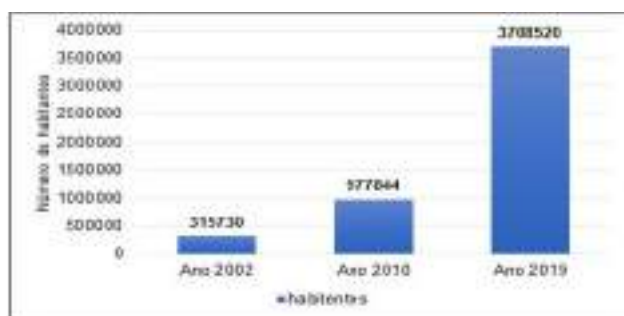


Figura 4: Número de crescimento de habitantes por intervalo de ano no município do Uíge

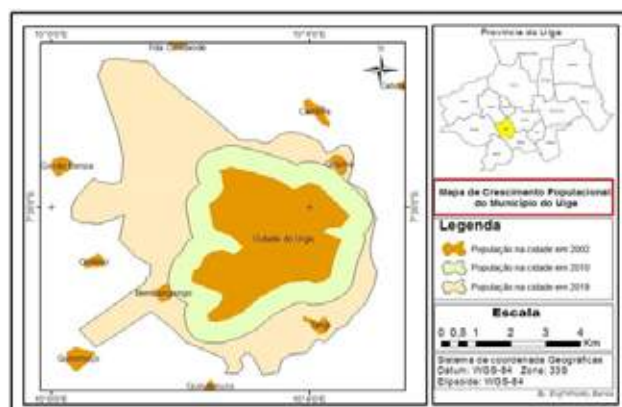


Figura 3: Mapa de crescimento populacional da cidade do Uíge

pixel. O classificador Maxver com Limiar de aceite de 100% foi o que apresentou melhor separabilidade das classes de uso do solo no município do Uíge, apresentando um desempenho médio de 97,54 % com uma confusão média das amostras de 2.46%.

A tabela 1, apresenta a quantificação e percentagem das classes de uso e ocupação do solo na área estudada, conforme classificador que obteve melhor desempenho (Maxver limiar de aceite 100%). O uso do solo predominante é o de vegetação arbustiva com 48,65%, este facto pode ser explicado por ser o local de uso que apresenta a maior declividade do município do Uíge, e pela existência de um curso de água.

A vegetação baixa é vista com 22,44%, com sua localização de variação altimétrica plana e próxima a urbanização, sendo locais de possíveis edificações futuras. O solo exposto obteve 10,66% da área, devido a locais em que houve remoção da cobertura vegetal, terraplenagens para novas construções e locais em que predomina plantio de pomares. A classe urbanização apresenta um percentual de ocupação de 18,25%, o que justifica por ser uma área de perímetro urbano.

A figura 9, realça que o município do Uíge enquadra-se na zona agrícola 4 com alternância de climas húmidos e seco atendendo à altitude a que se encontra. A zona apresenta um clima tropical quente e húmido, com duas estações bem definidas (chuvosa e seca) as estações chuvosas são mais prolongadas em relação a estação seca, provocando que a temperatura

Tabela 2. Classes de uso e ocupação do solo no município do Uíge

Classe	Área (ha)	% Refletiva
Vegetação arbustiva	10,32	48,65
A vegetação baixa	4,76	22,44
Solo exposto	2,26	10,66
Urbanização	3,87	18,25

média anual ronda os 17°- 22°C e a média da humidade relativa são muito elevadas ao longo do ano que correspondem aos 81- 90% com o valor médio na ordem dos 86%.

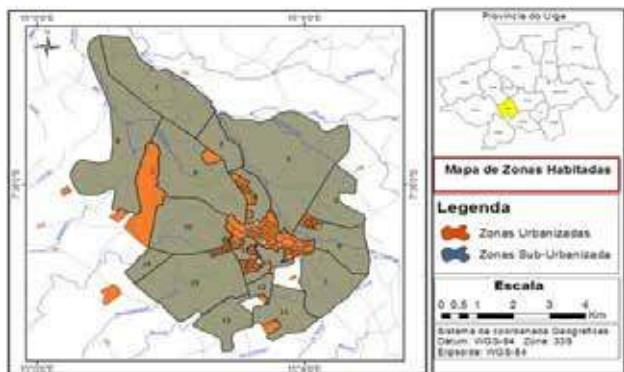


Figura 5: Características das zonas habitacional da cidade do Uíge

De acordo com a classificação de (Koppen 1848), o clima da região é do tipo tropical de savana e mata, com estação seca e chuvoso com precipitação anual em torno de 1.152mm. Temperaturas moderadas e humidade relativa com decréscimo acentuado na época seca, valores elevados de precipitação e boa distribuição da chuva; grau de insolação elevado e incidência de geada nos vales.

A estação chuvosa coincide com a época quente tem duração média de cerca de sete meses, com início em fins de Setembro e prolonga-se até meados ou início do mês de Maio. Relativamente à maioria da área, os meses mais pluviosos são Novembro, Dezembro e por vezes Março e Abril.

Os solos predominantes no município do Uíge são os ferrálicos e, caracterizam-se por serem solos muito desenvolvidos, muito profundos, de textura argilosa ou franco-argilosa, óptima porosidade, cor vermelha a amarela, baixa fertilidade natural, bem drenados, muito ácidos. Nestes solos os processos de migração estão restringidos pelo alto grau de estabilidade ou imobilidade de argila.

A região é bastante acidentada, não diferindo muito das características gerais do país. Toda a sua extensão é constituída por zonas montanhosas e semi-plana abrange o interior do município.

No que tange a bacia hidrográfica, o município do Uíge é atravessado por vários rios que são um forte potencial de recursos hidrográficos nomeadamente: Loé, Lungunga, kangombe, kamatandala, Candombe, Kifuti, kakonda, Ndua, kulo, Lukoka, kagigi, Mbassassa, Mbuégi, Camcungo, e Lukishi.

O município do Uíge apresenta valores baixos de precipitação, estando o valor médio de precipitação anual entre os 300 mm e os 600 mm. Caracteriza-se também por ter uma má distribuição das chuvas ao longo do ano com o mês de Abril é o que apresentam o valor máximo de pluviosidade de 254mm, e Julho é o mais seco com 1mm. A evapotranspiração da superfície da água é de 4420 mm, e a norma de vaporização geral da superfície do solo formam 477 mm, ou seja 70% da norma da precipitação.

Movimento de massa é o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a acção directa da gravidade. A contribuição de outro meio como água, deu-se pela redução da resistência dos materiais de vertente e pela indução do comportamento plástico e fluído dos solos.

A Figura 10 ilustra a frequência mensal dos movimentos de massa no município do Uíge, entre 2002 e 2019, onde se observa que as maiores frequências estão nos meses de Janeiro, Dezembro e Novembro, respectivamente. Esse dado confirma a conclusão obtida por Castro et al. (2003), de que os movimentos de massa normalmente ocorrem em épocas de chuvas intensas e concentradas, assumindo características nitidamente sazonais.

Apesar das várias definições serem, em uma primeira análise, similares, existe um grande problema na catalogação de desastres naturais ou movimento de massa, devido aos diferentes critérios adoptados por cada entidade. Dessa forma, um desastre natural catalogado em certo banco de dados pode não ser contemplado em outro, o que dificultou o confronto de informações.

A Figura 11 mostra os danos humanos devido a movimentos de massa no município do Uíge, entre 2002 e



Figura 6: Representação aerofotográfica do crescimento Urbano na cidade do Uíge nos anos de 2002 e 2020 (Google Earth Pro (2019)).

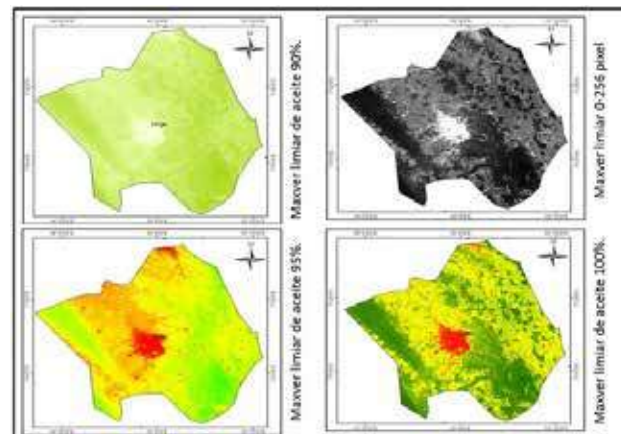


Figura 7: Processo de evolução do crescimento urbano sobre o NDVI

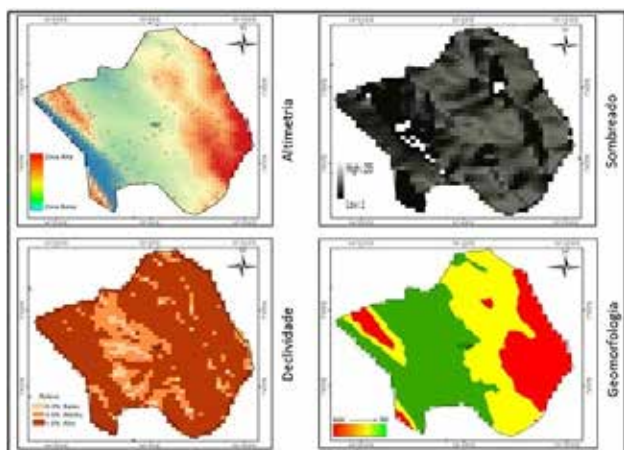


Figura 8: Variáveis morfométricas do município do Uíge

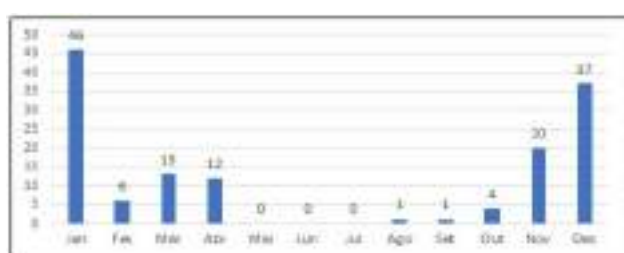


Figura 9: Frequência relativa mensal de movimento de massa no município do Uíge

Fonte: Governo provincial do Uíge

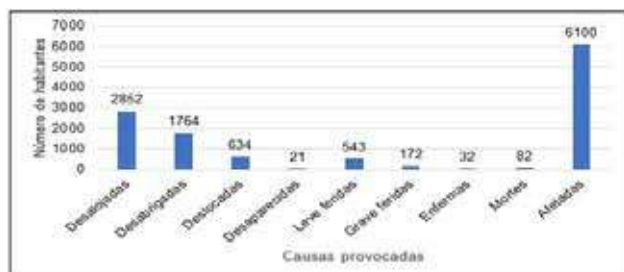


Figura 10: Danos humanos por movimento de massa no município do Uíge entre os anos 2002 e 2019



Figura 11: Bairros inundados após as chuvas de Dezembro de 2019 no município do Uíge

2019, onde se constata um número expressivo de habitantes afectados (6100). Destacam-se, ainda, os totais de pessoas desalojadas² (2652) e desabrigadas (1764).

Em seguida, para análise de melhor compreender os casos existentes no município deu-se à sequência na elaboração dos modelos e representação das zonas de risco que, permite o melhor reconhecimento do grau de risco efectivo em cada área, o que possibilita a definição de medidas mais adequadas de prevenção de acidentes. Nessa fase, os estudos geológicos e geotécnicos geram mapas de risco que, são

Tabela 3. Critério para a determinação dos riscos

Grau de susceptibilidade	
Alto risco	Deslizamento de massa ou compartimentos de drenagem sujeitos a processo com alto potencial de causar danos, média frequência de ocorrência (registro de 10 ocorrência significativa nos últimos 5 anos) e envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.
Médio risco	Deslizamento de massa ou compartimento de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos, média frequência de ocorrência (registro de 5 ocorrências significativas nos últimos 5 anos).
Baixo risco	Deslizamento de massa sujeito a processo com baixo potencial de causar danos e baixa frequência de ocorrência (não registro de ocorrência significativas nos últimos 5 anos).

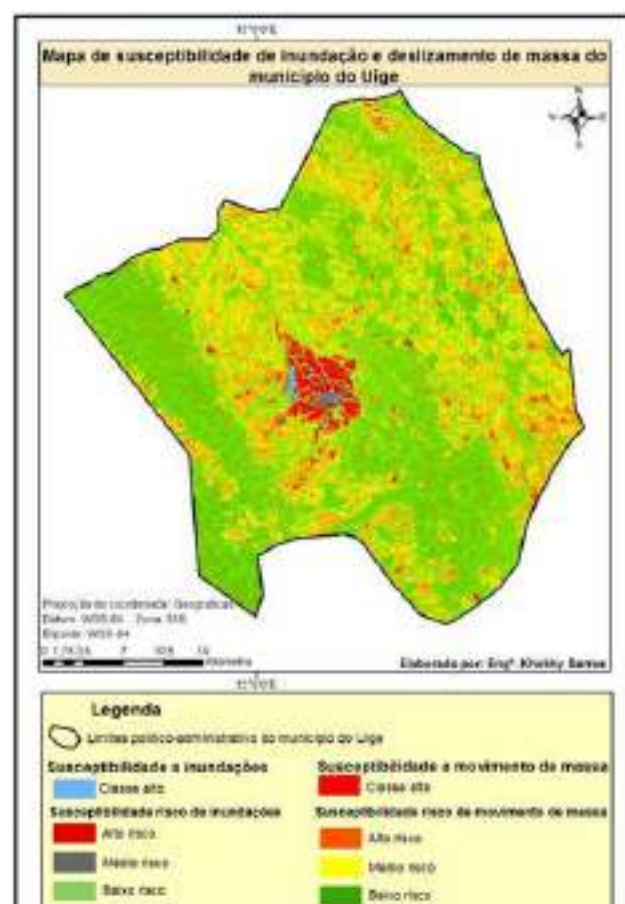


Figura 12: Mapa de susceptibilidade de inundação e deslizamento de massa do município do Uíge

importantes instrumentos para o planeamento municipal, na medida em que permitem a hierarquização dos problemas, a avaliação de custos de investimentos e dão suporte técnico às negociações com a comunidade. De posse dessas informações, uma gama de medidas pode ser adoptada em favor da segurança da sociedade.

Além dos problemas já explícitos anteriormente, vale ressaltar que o município do Uíge, também sofre muito com problemas relacionados a inundações, dentro dos parâmetros que foram estabelecidos para compreender tal fenómeno fez-se uma avaliação dos principais procedimentos actualmente não empregados na cedência de espaços territoriais para a construção dirigida como forma de mitigar e baixar o número de pessoas que anualmente sofrem com este factor de inundações dia em tempo de chuva dia após dia como nos mostra a figura abaixo.

A susceptibilidade a inundações, obtida a partir dos cruzamentos de bases digitais, apresentam as áreas com maior probabilidade de ocorrência de inundações e risco de deslizamento de massa.

A partir da análise do mapa de risco a inundações e deslizamento de massa é possível verificar que os níveis simulados foram bem representados nas áreas subnormais que se encontram às margens do rio e linhas de águas. Essas áreas são as mais atingidas e se caracterizam pela ocorrência de graus de risco alto. Em função da distribuição espacial no Mapa de Risco a Inundações e Deslizamento de Massa das áreas consideradas de risco alto e médio e baixo, serviram para apresentar com maior realce a situação como se encontra o município em causa e ajudar em futuros trabalhos para o monitoramento das entidades levantadas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram a importância do mapeamento em meio digital, do uso de técnicas de interpretação de imagens de satélites e de Sistema de Informações Geográficas (SIGs) para a determinação de áreas de risco e inundações e deslizamento de massa nas zonas urbanas.

A inundações urbana no município do Uíge, ocorrem em virtude das alterações nos recursos hídricos, na expansão de áreas impermeáveis e consequente a redução da infiltração de água no solo, e do aumento do escoamento

superficial, potencializando as vazões dos cursos hídricos e elevando o índice de prejuízos das populações adjacentes.

Os principais factores do processo de inundações urbanas e deslizamento de massa no município do Uíge, são principalmente pela falta de observação da natureza - fenómenos climatológicos e hidrológicos, da falta de investimento em tecnologias que auxiliem os projectos de drenagem, a ausência de material cartográfico em uma base de dados digital e de análises técnicas dificultam as acções de planeamento urbano na Província do Uíge. Espera-se que, os resultados e análise apresentados neste artigo possam auxiliar aos gestores, planificadores provinciais na tomada de decisões referentes às áreas de risco socio ambiental e a expansão urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barros, M. T. L. de. Drenagem urbana: *bases conceituais e planeamento*. In: PHILIPPI JR, A. *Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. Barueri: Manole, 2005.
- [2] INE. *Censo populacional de angola*, 2014.
- [3] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Curso de capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco*. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.
- [4] Lopes, E. A.; Mendonça, F. Urbanização e recursos hídricos: *conflitos socioambientais e desafios à gestão urbana na franja leste da região metropolitana de Curitiba (RMC) - Brasil*. In: *Seminário Latino Americano de Geografia Física*, COIMBRA, p. 1-14, 2010
- [5] Mota, S. *Gestão ambiental de recursos hídricos*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.
- [6] Tucci, C. E. M. Urbanização e recursos hídricos. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENS-TUHL, M. C. B. *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.
- [7] Tucci, C. E.M. *Águas urbanas: interfaces no gerenciamento*. In: PHILIPPIJR, A. *Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável*. Barueri: Manole, 2005.
- [8] UNDP — *Indicateurs du développement humain. Rapport sur le développement humain Tendances démographiques*. 2007.
- [9] Westen, C.J.; Van Asch, T.W.J.; Soeters, R. *Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult*, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, p. 167 – 184, 2006.





Artigo n.º 3

Análise estatística multivariada de argilas do platô de Luanda e arredores

Multivariate statistical analysis of clays from the Luanda plateau and surroundings

Walter Fernando Mateia¹, Fernando Rocha², Claudio Raso de Almeida¹

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: waltermateia@hotmail.com, tavares.rocha@ua.pt, cloraposo@hotmail.com.

²Universidade de Aveiro- Professor Catedrático (Departamento de Geociências, 3810-193 Aveiro, Portugal; email: tavares.rocha@ua.pt).

CITAR COMO:

Mateia, W. F., F. Rocha y C. R. D. Almeida Análise estatística multivariada de argilas do Platô de Luanda e arredores. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 29-37

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 30/04/2020

Aceite: 29/05/2020

*Autor correspondente:

Walter Fernando Mateia
(e-mail: waltermateia@hotmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: O presente trabalho aborda estudos geoquímicos e aplicação de técnicas estatísticas multivariadas (nomeadamente análise de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico), a partir da análise de trinta amostras de solos argilosos correspondentes a zona de estudo localizada na Bacia do Cuanza, amostras estas utilizadas como matéria prima na obtenção de produtos cerâmicos. Pretende-se extrair informações a partir das análises químicas dos elementos maiores aliadas às descrições de campo a fim de estabelecer diferenças e similaridades entre as amostras estudadas. Foi dada também especial importância à perda ao fogo, uma vez que esta determinação resulta principalmente da liberação de CO₂ e/ou água durante o aquecimento a 1000°C.

Assim, discute-se neste artigo a aplicabilidade e a interpretação da análise de componentes principais e com utilização do gráfico boxplot, Dendograma, Gráfico de scree Plot, componentes principais, e análise factorial. Também, faz-se uma discussão quanto à escolha da metodologia mais adequada, levando em consideração a informação requerida e os objectivos da pesquisa.

Palavras-chave: Argilas do platô de Luanda, geoquímica, estatística multivariada.

ABSTRACT: The present work was carried out emphasizes geochemical studies, and application of multivariate statistical techniques (hierarchical analysis of clusters, and analysis of main components, Cluster analysis, and correlation), from the analysis of thirty samples of clay soils corresponding to the study, belonging to the Cuanza Basin. Samples used as raw material in obtaining ceramic products, aiming to extract information from the chemical analysis of the major elements combined with field descriptions. Through this information, it was possible to establish differences and similarities between the different samples located in Luanda. Particular importance was also given to the loss to fire, since this determination results mainly from the release of CO₂ and / or water during heating at 1000 ° C.

Thus, this article discusses the applicability and interpretation of the analysis of main components and with the use of the boxplot graph, Dendrogram, Scree Plot graph, main components, and factorial analysis. Also, there is a discussion about the choice of the most appropriate methodology, taking into account the required information and the researcher's objectives.

Keywords: Lunda plateau clays, multivariate statistics.

INTRODUÇÃO

O estudo dos solos argilosos do Platô de Luanda e arredores foi, na sua maior parte realizado na zona Oeste da província de Luanda; para tal, fez-se uma colheita de 30 amostras pontuais, de forma aleatória. A análise estatística multivariada é a área da estatística que se preocupa com as relações entre as variáveis e como tal apresenta duas características principais: os valores das diferentes variáveis devem ser obtidos sobre os mesmos indivíduos e estas devem ser independentes e consideradas simultaneamente (KENDALL 1969).

A análise de componentes principais e a análise de agrupamento hierárquico são técnicas de análise multivariada com fundamentos teóricos bem diferentes, podendo ser aplicadas independentemente. Estas técnicas podem até ser complementares na informação sobre o conjunto de dados, dependendo do sistema analisado. Ambas fornecem a visão mais global possível das amostras dentro do conjunto de dados, conforme as variáveis usadas (CAZAR 2003).

O presente trabalho visa aplicar técnicas de análise estatística multivariadas (análise de componentes principais e análise de agrupamentos) nos dados de caracterização geoquímica (para posterior análise de aptidão cerâmica) em distintas zonas de Luanda onde afloram argilas. A aplicação destas técnicas permitiu selecionar os parâmetros de controle das matérias-primas, facilitando o mapeamento de futuras áreas promissoras para futuras explorações.

LIMITES E CARACTERÍSTICAS GERAIS

A zona em estudo ocupa a zona do Platô de Luanda e arredores, limitado a grosso modo pelos paralelos $9^{\circ}20'$ e $8^{\circ}44'(S)$ e pelos meridianos $13^{\circ}10'$ e $13^{\circ}25'(E)$. A oeste e naturalmente delimitada pelo oceano Atlântico, a norte pelo rio Zenza, a sul pelo rio Cuanza. A província de Luanda integra-se na região de clima semi-árido, relativamente ao litoral angolano, pode-se considerar como um clima mega térmico (thornthwaite), em que as médias de humidade relativa são muito elevadas ao longo do ano, atingindo valores máximos na época seca (80- 85%) (cacimbo). A estação chuvosa tem precipitações compreendidas entre 350mm e 400mm, que se caracterizam, quanto a sua distribuição, por acentuado grau de variabilidade.

A temperatura média anual é compreendida entre os 24 e $25^{\circ}C$. As condições de aridez são extremas na orla litoral, a par de um grau de insolação alto. Na classificação climática de Koppen a zona é de grande parte de clima seco de estepe, muito quente (BSH'), Diniz (1973). Do ponto de vista geomorfológico, destacam-se quatro ordens de superfícies: A primeira ordem situa-se a cotas superiores a 225 metros acima do nível médio do mar, é pouco extensa, corta formações Terciárias, na área do Bom Jesus (a uns 60 km a sul de Luanda).

Entre as cotas de 80 a 180 metros situam-se as superfícies de segunda ordem. É a mais extensa de todos e está representada ao longo de toda a parte costeira da referida bacia; em algumas áreas penetra até aos 140 km da bacia no interior do continente. Supõe-se que o início do seu aplanamento tenha tido lugar entre o Pliocénico e o Pleistocénico. A terceira situa-se a cotas variáveis entre 40 e 80 metros. A quarta ordem localiza-se a cotas compreendidas entre 12 e 20 metros. As últimas devem-se provavelmente a enfaixamentos e deposições ocorridas nas fases de oscilações marinhas quaternárias.

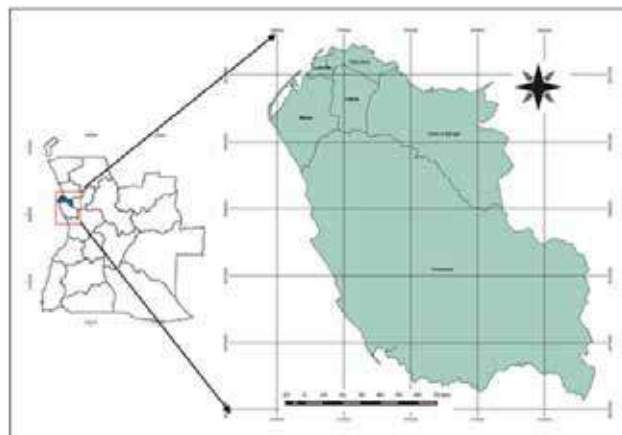


Figura 1: Localização geográfica da zona em estudo

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O conhecimento geológico da zona de estudo é muito pormenorizado (Diniz 1968). Os depósitos mais recentes, de idade Holocénica, estão representados por areias de grão médio, algumas vezes limosas, com conchas de lamelibrânquios e gastrópodes, que passam em profundidade a sedimentos arenosos de notável desenvolvimento nos arredores de Luanda, e nos depósitos de base da escarpa, formam os corpos arenosos das ilhas de Luanda, da Chicala e do Mussulo, e prolongam-se até às imediações da zona de Cacucaco (Ciampo et al, 2000). A unidade informal Argilas pretas do Cazenga é representada por argilas negras e cinzentas, com alta percentagem de montmorilonite e quartzo; também estão presentes em menor proporção, caulinite, calcite e às vezes ilite (Moraes e Sgross, 1995). A formação Quelo (Pleistoceno) é constituída por areias silto-argilosas de granulometria média a fina de cor avermelhada (Carvalho, 1954). Formação Luanda (Pliocénico) constituída por margas castanhas com foraminíferos, arenitos e arenitos calcários. Associada a ambientes costeiros e deltaicos (Brognon & Verrier, 1965). A formação Quifangondo (Aquitaniense) é constituída fundamentalmente por uma sedimentação típica da orla ocidental da bacia, inicialmente com níveis lagunares (margas gipsíferas) e posteriormente desenvolveram-se fácies deltáicas arenosas; o resto da referida série é constituído por argilas castanhas com foraminíferos planctónicos (Brognon & verrier 1965). A Formação Funda (Aquitaniense) é constituída fundamentalmente por argilas castanhas com foraminí-

Tabela 1. Localização dos pontos de amostragem com suas respectivas coordenadas e identificação

Município	Local	Coordenadas		ID	Município	Local	Coordenadas		ID
		X	Y				X	Y	
Cacuaco	Cacuaco	337913	9022024	CAT-ANT	Icolo e Bengo	Cabire	344701	9012558	F1
		334993	9022547	ANGOSAT			341777	9018353	FD-EST
		320855	9025503	ANG-06			344701	9012558	FUNDA-1
		321100	9025166	ANG-07		Catete	352410	8993695	CAT-1
		320441	9024949	ANG-09			356415	8994877	CAT-2
		333148	9021505	CP-1			352421	8993810	CAT-3
		333570	9022950	CP-2			356415	8994877	CAT-2.1
		331740	9022113	CP-3			357951	8999122	Q1
		333570	9022950	CP-2.1			359101	9000373	Q2
		330276	9026664	FN-05			357929	9005201	C1
		329997	9029820	FD-ED			356658	9001175	D3
		333582	9016182	SQ-05B					
	Cazenga	311293	9022503	ADM-1	Belas	Benfica	297464	9004359	31m-01
						Benfica	295548	9003554	31m-03
Quiçama	Quiçama	340820	8974022	QC-05		Talatona	313734	9012218	WC-1
Luanda	Luanda	302253	9019754	MB-08	Viana	Calungo	328904	8991788	Zg-16

feros planctónicos (Brognon & Verrier, 1965). A Formação Bom Jesus (Miocénico) é constituída por uma série de areias ou argilas arenosas amareladas (areias finas a grosseiras, calcários argilosos, ou margas argilosas amareladas com restos de fosseis).

MATERIAIS E MÉTODOS

Colecta de amostras

Foram estudadas 30 amostras argilosas, pertencentes às formações Argilas Negras, Luanda, Quifangondo, Funda e Bom Jesus. As localizações dos pontos de amostragem estão listadas na Tabela 1 e mapeadas na Figura 3.

Na Tabela 2 é apresentada a distribuição das amostras pelas diferentes formações geológicas aflorantes na área estudada.

As amostras foram colectadas e guardadas em sacos plásticos devidamente rotulados e transportados para o laboratório de sedimentologia da Universidade Agostinho Neto, Faculdade de Ciências.

No laboratório, as amostras foram expostas à temperatura ambiente até à sua secagem. Após terem sido desagregadas manualmente e quarteadas foram guardadas em frascos de plásticos, enviados para o laboratório de Actlabs do Canadá para realização das análises químicas.

Geoquímica

O estudo geoquímico destas amostras incidiu sobre os seus conteúdos em elementos maiores, tendo também sido determinada a perda ao fogo-PF (%). A análise química dos elementos maiores, reportada na forma de óxidos (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O e P₂O₅), foi realizada por Espectrometria

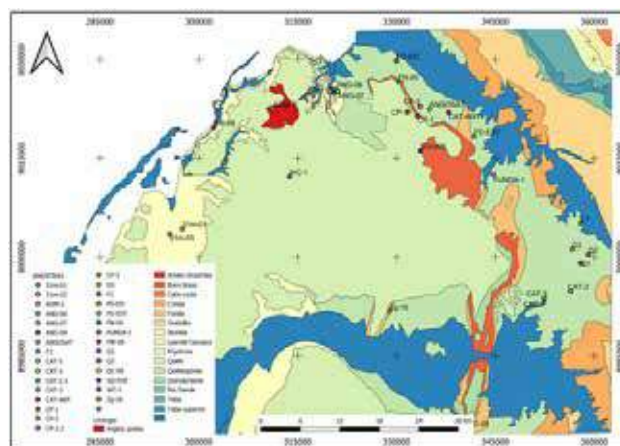


Figura 2: Mapa geológico da zona área de estudo

de Fluorescência de Raios X (Phillips, modelo PW 2510) em amostras fundidas em matriz de borato, no Laboratório de Geoquímica da UNESP-Rio Claro. A perda ao fogo (PF) foi medida por diferença de peso após calcinação a 1000°C da amostra seca.

Estatística multivariada

O tratamento estatístico dos dados foi realizado e fundamentado nas técnicas multivariadas: análise de agrupamentos e análise das componentes principais (PCA) utilizando o software Minitab for Windows, 19.2 SPSS For Windows 22. O interesse da utilização destas técnicas é verificar como as amostras se relacionam, ou quanto estas são semelhantes segundo as variáveis utilizadas no trabalho.

A análise de agrupamento foi utilizada para explorar as similaridades entre os indivíduos (modo Q), entre as variáveis (modo R), definindo-se grupos que consideram simultaneamente, no primeiro caso, todas as variáveis

Tabela 2. Amostras argilosas, pertencentes às formações argilas pretas, Luanda, Quifangondo, Funda e Bom Jesus

Amostras	Munsell	Formação	Descrição	Idade	Prof
ADM-1 WC -1	10YR 6/1 10YR 5/8	Argilas Pretas	Esta unidade informal é constituída por argilas pretas e cinzentas com alta percentagem de montmorilonite e quartzo e uma baixa percentagem de caulinite, calcite e por vezes ilite. Contrariamente à cor escura que apresentam, estes sedimentos contem uma baixa percentagem de matéria orgânica.	Holocénico	70 cm 50cm
3LM-01 3LM-03 MB-08	2,5Y 6/6 10YR 6/4 10YR 6/2	Luanda	Argilas cinzentas e verdes, com lentes milimétricas e descontínuas de área amarelada muito fina. As argilas têm um grau de bioturbação muito elevado, diminuindo com a presença de sedimentos arenosos. Na base da sucessão há níveis de gesso, apresentando laminação paralela e estratificação lenticular carbonatada.	Pliocénico	40 cm 40 cm 50cm
ANG-06 ANG-07 ANG-09 ANGOSAT CAT-1 CAT-2 CAT-2.1 CAT-3 CAT-ANT CP-1 CP-2 CP-2.1 D3 F1 FD-ED FD-EST FUNDA-1 Q1 Q2 QC-04	10YR 6/6 5Y 6/3 2,5Y 5/4 5Y 4/2 10YR 6/8 10YR 6/4 10YR 6/8 10YR 6/8 5Y 4/2 2,5Y 6/4 5Y 3/2 10Y R 6/6 5Y 3/2 10YR 5/6 2,5Y 6/4 5Y 4/1 5Y 3/2 2,5Y 4/2 2,5Y 4/2	Quifangondo	Constituídas fundamentalmente por uma sedimentação típica da orla ocidental da bacia. Inicialmente, com níveis lagunares (margas gipsíferas) e posteriormente desenvolvem-se fácies deltaicas arenosas. O resto da referida serie é constituído por argilas castanhas com foraminíferos planctónicos.	Aquitano	70 cm 50 cm 1 m 50 cm 2.90 cm 1m 60 cm 1.40 cm 30cm 2.80 cm 1.10 cm 1 m 60cm 70 cm 1.10 cm 80 cm 50 cm 50 cm 30 cm
CP-3 ZG-16	5Y 4/2 2,5Y 5/4	Funda	Constituídas fundamentalmente por argilas castanhas com foraminíferos planctónicos	Aquitano	80 cm 50 cm
SQ-05B C1 FN-05	2,5Y 6/2 10YR 5/6 10YR 6/6	Bom Jesus	Constituídas fundamentalmente por arcias, argilas arenosas	Miocénico	40cm 80 cm 70 cm

veis observadas em cada indivíduo e, no segundo, todos os indivíduos nos quais foram feitas as medidas.

A análise dos componentes principais (PCA) nada mais é que o cálculo dos autovalores e correspondentes autovectores de uma matriz de variância-covariância, ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis. A mesma análise de componentes principais (ACP) foi,

realizada para diferentes grupos de variáveis e baseada na matriz de correlação dessas variáveis, com o uso do programa SPSS for Windows 22, Minitab 19.2 (McCune & Mefford, 1999). Para cada ACP, foi construído o círculo de autovectores das variáveis e o diagrama de ordenação das amostras, horizontes diagnósticos dos perfis de solos, para os dois primeiros componentes, representados pelos eixos x e y (respectivamente, primeiro e segundo eixo).

Tabela 4. Análise estatística descritiva dos ensaios químicos

Variável	Mínimo	Máximo	Moda	Média	Mediana	DesvPad	Assimetria	Curtose	Q1	Q3
SiO ₂	36,56	76,86		54,33	52,44	10,16	0,4	0,22	49,63	59,59
Al ₂ O ₃	9,38	19,26	14,79	15,162	15,505	2,788	-0,54	-0,34	13,515	17,352
Fe ₂ O ₃ (T)	2,65	8,04		5,188	5,25	1,23	-0,13	0,1	4,28	6,037
MgO	0,36	3,29	1,15	1,562	1,435	0,679	0,75	0,76	1,11	1,932
CaO	0,23	13,91	1,34	3,714	2,03	3,455	1,25	1,09	1,308	6,357
Na ₂ O	0,08	2,18	1,20	0,798	0,67	0,4881	0,93	0,8	0,4525	1,1325
K ₂ O	0,24	2,88		1,754	1,715	0,714	-0,21	-0,96	1,238	2,43
TiO ₂	0,47	1,06	0,69	0,769	0,75	0,1189	-0,14	1,14	0,705	0,84
P ₂ O ₅	0,02	2,33	0,08	0,2547	0,15	0,4151	4,58	23,21	0,08	0,3225
LOI	7,1	23,41		15,021	15,175	4,324	-0,14	-0,52	12,325	17,905

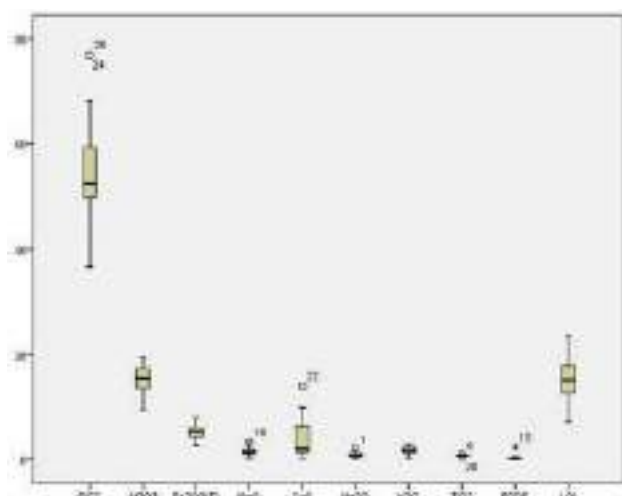


Figura 4: Diagrama boxplot que mostra a distribuição dos valores dos ensaios químicos

plotados em diagramas do tipo Hacker (Figura.5), com a correlação entre os óxidos maiores e o Al₂O₃, visando observar o comportamento dos mesmos quanto à sua movimentação devida, principalmente, ao intemperismo. Conforme é ilustrado nos diagramas, os óxidos de sódio e cálcio apresentam-se com valores tanto baixos como altos nas amostras analisadas, facto que acontece porque existem amostras com um estágio de alteração mais evoluído, e outras amostras, com teores altos, em estágios de alteração pouco evoluídos. Neste caso os óxidos de sódio estão relacionados principalmente com a presença de plagioclase e os de cálcio devido à presença de plagioclase e carbonatos.

Os óxidos de ferro, titânio, magnésio, sódio, fosforo e cálcio são os menos movimentados, possuindo correlação positiva com o de alumínio, ou seja, conforme aumenta a quantidade desses aumenta também a quantidade relativa de alumínio. Diferente do que ocorre para os óxidos de silício, que apresentam correlação negativa com o alumínio, diminuindo seus valores conforme aumenta este último.

Os valores de óxido de silício têm teores elevados nas 30 amostras analisadas, o que está de acordo com o carácter

mais arenoso destas amostras. Óxidos estes que influenciarão na refractariedade do material em temperaturas acima de 1000°C.

Na análise dos componentes principais foi utilizada uma matriz de observações cujas colunas correspondem às percentagens de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(T), MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ e LOI. Nas linhas aparecem os valores calculados para as 30 amostras de argila estudadas. Essa matriz foi previamente normalizada para conceder peso estatístico igual a todas as colunas: para isso, a diferença entre cada observação e o valor médio da variável em questão é dividida pelo desvio calculado para a variável.

A Tabela 6 mostra a matriz de vectores próprios obtida pela diagonalização da matriz de covariância entre as variáveis; representando a contribuição de óxidos para cada um dos principais componentes. Os óxidos que contribuem para o primeiro componente principal são: SiO₂(1,00), Al₂O₃(-0,61), Fe₂O₃(T)(-0,74), MgO(-0,61), CaO(-0,78), Na₂O(0,17), K₂O(0,06), TiO₂(-0,41), P₂O₅ (-0,41), e LOI(- 0,93).

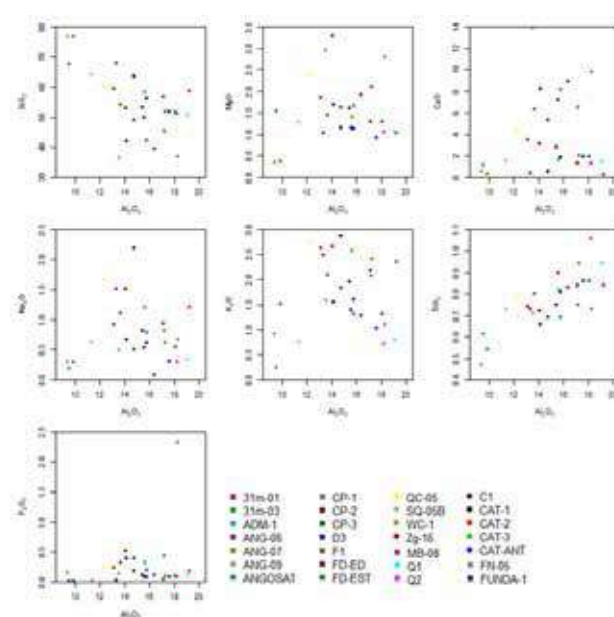


Figura 5: Diagramas do tipo hacker, com óxidos versus Al₂O₃

Tabela 5. Matrizes de correlação de Pearson entre as variáveis químicas

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
SiO ₂	1,00	-0,61	-0,74	-0,63	-0,78	0,17	0,06	-0,41	-0,43	-0,93
Al ₂ O ₃	-0,61	1,00	0,59	0,10	0,05	0,01	0,09	0,77	0,22	0,49
Fe ₂ O ₃ (T)	-0,74	0,59	1,00	0,34	0,39	-0,33	-0,14	0,62	0,01	0,74
MgO	-0,63	0,10	0,34	1,00	0,63	-0,22	0,29	0,04	0,50	0,47
CaO	-0,78	0,05	0,39	0,63	1,00	-0,19	-0,10	-0,07	0,41	0,74
Na ₂ O	0,17	0,01	-0,33	0,22	-0,19	1,00	0,83	-0,04	0,08	-0,47
K ₂ O	0,06	0,09	-0,14	0,29	-0,10	0,83	1,00	0,03	0,00	-0,39
TiO ₂	-0,41	0,77	0,62	0,04	-0,07	-0,04	0,03	1,00	-0,11	0,36
P ₂ O ₅	-0,43	0,22	0,01	0,50	0,41	0,08	0,00	-0,11	1,00	0,28
LOI	-0,93	0,49	0,74	0,47	0,74	-0,47	-0,39	0,36	0,28	1,00

Isto significa que o eixo representa; %SiO₂*1,00 + %Al₂O₃*-0,61 + %Fe₂O₃(T)*-0,74 + %MgO*-0,61 + %CaO*-0,78 + %Na₂O*0,17 + %K₂O*0,06 + %TiO₂*-0,41 + %P₂O₅*-0,41 + %LOI*-0,93. A última linha da tabela contém os valores próprios correspondentes a cada um dos próprios vectores, bem como a percentagem da variação total representada por cada componente, que é fornecida pelo quociente.

A Figura 6 ilustra os valores próprios (eigenvalues), que representam a variância explicada por cada factor. Por meio da Tabela 5, nota-se que o CP1 apresenta o autovalor de 4,31, sendo responsável por explicar 43,09% da variância total. Já o factor 2 explica 21,35%. Considerando-se os dez factores, o percentual de variabilidade acumulada explicado foi de 100%. Porém, utilizando-se apenas os 2 primeiros factores é possível explicar 64,45% da variabilidade total dos dados. Isto ilustra que o modelo é eficaz para redução da complexidade da problemática sem prejudicar o modelo quanto à capacidade de representação de sua variabilidade total.

Na figura 7, o gráfico de cargas factoriais representa as cargas factoriais rotacionadas de cada variável para o primeiro fator versus as cargas factoriais rotacionadas para o segundo factor.

Para este gráfico de cargas factoriais, foi realizada uma rotação varimax nos dados, o que torna os primeiros dois factores mais fáceis de interpretar. Fe₂O₃(T), Al₂O₃, e LOI

Tabela 6. Análise factorial dos dados químicos das argilas de Luanda

ÓXIDOS	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
SiO ₂	-0,468	-0,081	0,043	0,02	-0,075	0,259	-0,004	0,124	-0,118	0,276
Al ₂ O ₃	0,307	0,111	0,477	0,211	-0,217	-0,246	0,088	-0,15	0,449	0,512
Fe ₂ O ₃ (T)	0,393	-0,109	0,222	-0,201	0,19	0,373	0,625	-0,168	-0,373	0,08
MgO	0,281	0,356	-0,294	-0,196	0,06	0,632	-0,357	-0,089	0,276	0,233
CaO	0,346	0,052	-0,42	-0,134	0,188	-0,438	-0,044	0,385	-0,301	0,443
Na ₂ O	-0,146	0,578	0,098	-0,219	-0,102	-0,252	-0,144	-0,551	-0,43	0,019
K ₂ O	-0,088	0,586	0,149	-0,248	0,212	-0,087	0,34	0,442	0,306	-0,298
TiO ₂	0,242	-0,024	0,553	-0,176	-0,245	0,121	-0,464	0,437	-0,325	-0,131
P ₂ O ₅	0,194	0,264	-0,305	0,4	-0,692	0,116	0,262	0,145	-0,16	-0,171
LOI	0,455	-0,147	-0,085	0,017	0,116	-0,168	-0,184	-0,253	0,137	-0,519
Valor Próprio	4,31	2,14	1,89	0,79	0,34	0,22	0,15	0,13	0,02	0,01
% de variância	43,09	21,35	18,85	7,91	3,42	2,24	1,54	1,30	0,22	0,07

têm grandes cargas factoriais positivas no factor 1. Na₂O, K₂O, e MgO têm grandes cargas factoriais positivas no factor 2. A figura 3 ilustra o gráfico loading plot, que traz informações sobre os factores formados.

O objectivo da aplicação da análise de cluster é obter grupos homogêneos de amostras do ponto de vista da composição química, o que é obtido agrupando as

amostras mais próximas no espaço de oito dimensões definidas por oito variáveis utilizadas para a análise dos componentes principais. É seguido um procedimento

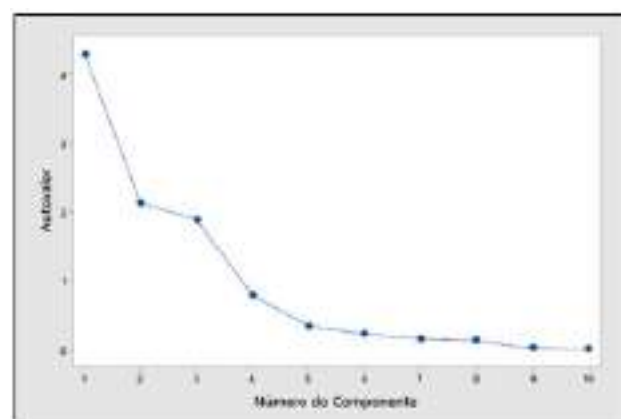


Figura 6: Gráfico scree plot das argilas de Luanda e arredores

interactivo que começa calculando a distância euclidiana entre todas as amostras e a união daquelas cuja distância é menor.

Na figura 8 são apresentados resultados de uma aplicação da Análise de Agrupamentos a dados geoquímicos das amostras estudadas. Foram feitas aplicações desta técnica por um algoritmo (Método de Ward). Na tabela 7 apresentam-se as amostras agrupadas; os indivíduos que estão num mesmo grupo possuem características geoquímicas semelhantes, e os de características diferentes formaram outros grupos; isso com-

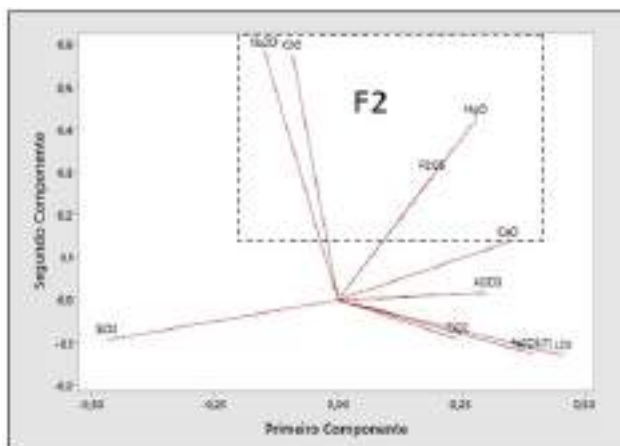


Figura 7: Gráfico de loadings (cargas factoriais)

prova a existência de homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos. Neste caso temos quatro grupos sendo o grupo A, formado por 9 elementos, B 4 elementos, C 7 elementos, e D 10 elementos.

Tabela 7. Composições de cluster

CLUSTER	AMOSTRA						
A	CAT-1	CP-2.1	CAT-2	CAT-3	F1	QC-05	MB-08
	31m-01	FD-ED	D3				
B	31m-03	ADM-1	SQ-05B	WC-1			
C	CAT-ANT	CAT-2.1	FD-EST	ANG-07	Q2	Q1	C1
D	CP-1	ANGOSAT	CP-2	ANG-06	CP-3	Zg-16	FUNDA-1
	ANG-09	FN-05	D3				

6. CONCLUSÕES

- Análises multivariadas de agrupamento e de componentes principais mostraram-se muito úteis e eficazes como dispositivo no tratamento preliminar de matrizes numéricas de dados de argilas para cerâmicos. Com a sua aplicação nas variáveis estatística, foi possível encontrar uma relação dos agrupamentos obtidos com as litofácies geológicas identificadas nos trabalhos de campo.

- De acordo com o dendrograma obtido, os quatro grupos principais foram, sendo que as amostras de cada um destes grupos apresentaram características não muito similares de fácies e associações de fácies, pelo facto de serem de áreas diferentes.

- As amostras estudadas apresentam uma relação de características químicas, e do ponto de vista estatístico apresentam uma consanguinidade diagenética. Como ficou demonstrado, em função de seu parentesco genético, seria de se esperar uma relação estatística.

- A estatística multivariada utilizada, por meio de análise de componentes principais e análise de agrupamento, possibilitou melhor compressão das relações dos solos argilosos dos diferentes domínios da zona em estudo.

- A análise de componentes principais evidenciou que os dois primeiros componentes principais respondem por aproximadamente 64,45 % da variação dos dados. As variáveis mais importantes são SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅.

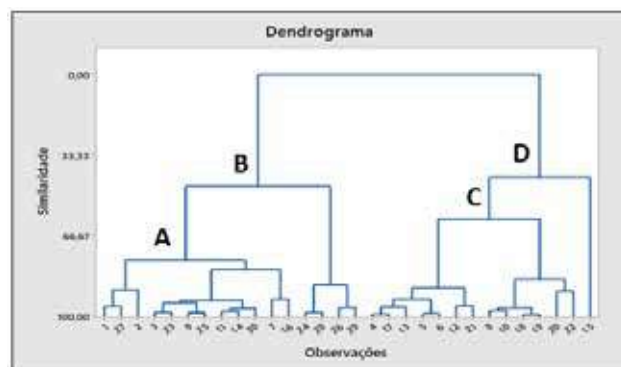


Figura 8: Dendrograma das amostras de argilas estudadas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bernardes, E. S.; Masson, M.R.; Monteiro, R.C.; Thomazella, H.r;
- [2] Moreno, M.M.T. 2000. *Compartimentação de uma jazida de matéria-prima cerâmica da região de Jundiaí com vistas ao plano de lavra por meio de técnicas estatísticas multivariadas*. In: ABC, CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, São Pedro, Anais, 205-209.
- [3] Brognon. G.P., e Verrier. G.R., 1955. *Contribution à la géologie du bassin du Cuanza en Angola: 4th World petroleum Cong., Rome, Sec. 1, June, 1955*
- [4] Brognon, G. Verrier G. & Masson P., 1959. *La Tectonique Salifère du Bassin du Cuanza en Angola. Fifth World Petroleum Congress. Permission Granted To Publish After May 30, 1959.*
- [5] Brognon, G. & Verrier G., 1965. *Tectonique et Sédimentation dans le Bassin du Cuanza (Angola)*. Bol. Serv. Geol. Min. Angola, Luanda,
- [6] Brognon. G.P, e Verrier. G.R, 1966. *Oil and geology in cuanza basin of Angola. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists. Vol50, nº1 (January, 1966),*
- [7] Christofoletti, S.R. 2003. *Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 307p.
- [8] Dias, J. Alveirinho (2004) - *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinho*, p.1- 8.
- [9] Falcão, António de Avelar Marinho (1957). *Evolução geológica de Luanda*, p.1 -28. *Primeira Jornada de Estradas, volume II*
- [10] Gomes, J.B.V.; Curi, N.; Motta, P.E.F.; Ker, J.C.; Marques, J.J.G.S.M. & Schulze, D.G. *Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado*. R. Bras. Ci. Solo, 28:137-153, 2004.
- [11] Lima, H.V.; Silva, A.P.; Jacomine, P.T.K.; Romero, R.E. & Libardi, P.L. *Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará*. R. Bras. Ci.

Solo, 28:467-476, 2004.

- [12] Gouveia, Miriam & Mateia, Walter (2010) - *Caracterização Crono-Estratigráfica e Hidrogeológica das Formações do Município do Kilamba-Kiaxe (Camama - Patriota)*, tese de licenciatura, p.15-24.
- [13] McCune, B. & Mefford, M.J. PC-ORD. *Multivariate analysis of ecological data*, Version 4. Oregon, MjM Software Design, 1999. 237p.
- [14] Miguel, G.L., Duarte-Morais, M.L., Buta Neto, A., Eugenia Gomes, M., Rufino Neto, J., Putignano, M. L., Sgrosso, I. & Valente, A., 2003. *Cartografia geológica de los afloramientos Neógenos y Pleistocenos de Luanda y alrededores*. Seminarios Científicos del Departamento de Geología: 31-42. Universidad de Alcalá, Madrid.
- [15] Monteiro, R. C.; Bernardes, E. S.; Masson, M. R. 2000. *Análise estatística multivariada para materiais cerâmicos*. *Geociências*, 19(1): 133- 140.
- [16] Morais M. L., Putigano M. L., Sgrosso I. & Valente A., 1999. *Stratigraphical and sedimentological features of the Neogene to Quaternary sucession around Luanda (Angola, Southwestern Africa)*. *Africa Geoscience Review*.
- [17] Morais, M. L., Putigano M. L., Sgrosso I., Sighinolfi G. & Neto, A. B., 2000. *Stratigraphy, Sedimentology, Mineralogy and Geometry of the Pliocene and Pleistocene susseions at Miradouro da Lua (Kwanza bassin, Angola)*. In *Geoluanda 2000 International Conference Proceedings*, Angolan Association of Geologists, Agostinho Neto University, Department of Geology.
- [18] Sgrosso, I., & Morais, M. L. (2000). [Carta Geológica de Luanda]. Escala 1:250.000, Luanda, Angola.
- [19] Soares de Carvalho, G.1957. *Sedimentologia e génese das areias vermelhas dos arredores de Luanda*, P. 1-16 *Primeira Jornada de Estradas*, volume II
- [20] Torquato, R.j, Tavares Rocha, A. (1969) *Contribuição para o conhecimento da geologia de Luanda.- Boletim do Instituto de Investigação Científica de Angola*. - vol. 6, nº 1 (1969), p.85



Foto: DR



Artigo

n.^o 4

Monitoramento geodésico da barragem da Quiminha

Geodesic monitoring of the Quiminha dam

António Alves Teixeira de Carvalho¹, Ilídio Capobo Culevala²

¹Faculdade de Ciências, Universidade Agostinho Neto, Departamento de Engenharia Geográfica, Campus da Universidade Agostinho Neto, Número de contribuinte 7101005232, Rua Principal do Camama e Rua do Estádio 11 de Novembro, Distrito Cidade Universitária, Luanda, Angola, Doutorado em Ciências Técnicas (Geodesia Espacial), email: alvesprofessor2015@gmail.com.

²Laboratório de Engenharia de Angola, Rua do Laboratório de Engenharia de Angola, Distrito da Maianga, Luanda, Angola, Engenheiro Geógrafo, email: ilidio.cap@gmail.com.

CITAR COMO:

Carvalho, A. a. T. D. y I. C.
Culevala Monitoramento
geodésico da barragem
da Quiminha. Revista
Angolana de Geociências,
2020, 1(1), p. 39-49

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 20/04/2020

Aceite: 2/06/2020

*Autor correspondente:

Atónio Alves Teixeira de
Carvalho (e-mail: alvespro-
fessor2015@gmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de
Investigação em Ciências
Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram
que não há conflitos de
interesses

Resumo: As barragens são obras de engenharia que geralmente estão associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de eventuais colapsos, com consequências catastróficas para as estruturas da própria barragem, ao meio ambiente, causando destruição da fauna, flora e principalmente colocando em risco vidas humanas. Com o objectivo de verificar a estabilidade de pontos previamente seleccionados e materializados à montante e à jusante da barragem da Quiminha, localizada à 80 km a nordeste de Luanda e à 20 Km de Catete, aplicou-se o método de monitoramento geodésico. Os procedimentos metodológicos deste trabalho basearam-se no planeamento e colecta dos dados de sete épocas (campanhas) distintas, seguidos do seu processamento e ajustamento. Neste contexto, foram aplicados diferentes métodos de levantamentos, tais como: trilateração, irradiação e nivelamento geométrico, cada um deles com um propósito específico dentro do projecto de monitoramento da estrutura. Determinadas e ajustadas as coordenadas dos pontos do objecto, obtidas a partir da rede de referência, foram comparadas entre as combinações das diferentes campanhas com a aplicação do teste de hipóteses. Os resultados demonstraram que a estrutura da barragem da Quiminha registou deslocamentos inferior a 6 mm e não apresenta risco aos moradores localizados à jusante.

Palavras-chave: Barragem; Geodesia; Monitoramento; Nivelamento.

Abstract: Electric Dams are engineering structures with an inherent elevated risk due to possible collapse, which can have catastrophic consequences for the structure itself as well as the surrounding environment. It is not uncommon for collapsed dams to destroy of fauna, flora, and above all endangering human lives. Dams are monitored using geotechnical and/or geodesic methods. This study presents work developed towards the geodesic monitoring of Quiminha Dam, located some 80 Kilometers northeast from Luanda, and about 20 Kilometers from Catete. The methodological procedures of this work were based on planning and collecting data from seven different periods (campaigns), followed by their processing and adjustment. For such, applied different methods of surveying such as trilateration, irradiation, and geometric leveling. Each one of these methods was used with a specific goal in monitoring the dam. Determined and adjusted the coordinates of the points of the object, obtained from the reference network, were compared between the combinations of the different campaigns with the application of the hypothesis test. The results showed that the structure of the Quiminha dam registered displacements of less than 6 mm and presents no risk to residents located downstream.

Keywords: Dam; Geodesy; Monitoring; Leveling.

INTRODUÇÃO

Os estudos do comportamento de obras de engenharia possuem relevância nos dias actuais, pois tem como finalidade a observação destes empreendimentos. Neste contexto, estão incluídas as barragens, obras que geralmente são associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de um eventual colapso, desta forma, toda barragem deve ser instrumentada de acordo com seu porte e riscos associados.

A construção e exploração de barragens estão relacionadas com importantes benefícios económicos, pois a energia gerada é um dos factores determinantes a diversas acções humanas. Devido a este facto, em muitos países existem legislações que regulamentam o controlo e a segurança de barragens com base em regras específicas (Castro e Henriques 2008). Em Angola, segundo o Laboratório de Engenharia de Angola (LEA), deve ser previsto um sistema de instrumentação com vista a auscultação do comportamento dessas estruturas para as fases de construção e de exploração (Júlio Fonseca, 2018).

Com o objectivo de verificar a estabilidade de pontos previamente seleccionados e materializados à montante e à jusante da barragem da Quiminha, localizada à 80 km a nordeste de Luanda e à 20 Km de Catete, aplicou-se o método de monitoramento geodésico. Neste contexto, o sistema de observação utilizado na monitorização dos deslocamentos absolutos de pontos, apoiou-se em redes geodésicas de controlo planimétricos e altimétricos independentes, implantadas fora da estrutura que servirão como referencial absoluto para medições das coordenadas dos alvos.

Os deslocamentos absolutos dos alvos implantados na barragem, são obtidos da análise do conjunto de coordenadas e cotas obtidas de diferentes campanhas de observações, indicando se houve ou não movimentação dos pontos previamente seleccionados.

A metodologia adoptada neste artigo pode servir como referência ao monitoramento geodésico a outros empreendimentos. Os dados obtidos permitem a formação de um conjunto adicional de elementos que servirão de gerenciamento e controlo de segurança de barragens.

MONITORAMENTO DE BARRAGENS

A técnica de monitoramento de barragens utilizadas neste trabalho foram as observações geodésicas, pois fornecem directamente informações sobre o deslocamento espaciais da fundação ou recalque devido a acção de cargas e a percolação da água do reservatório através das fundações (CONSULGEO, 2005).

Os assentamentos verticais e os movimentos horizontais das barragens são os principais parâmetros de diagnósticos associados a segurança da estrutura. Por esta razão o monitoramento geodésico contínuo de barragens, o estudo dos métodos de medições e sua modernização resolverão o problema de obtenção das informações correctas sobre o estado do objecto e garantirá a confiabilidade operacional da barragem (Borisovich e Mixeleve, 2015).

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DOS ASSENTAMENTOS VERTICAIS

Os principais métodos de monitoramento geodésico para a determinação dos assentamentos verticais de barragens são o nivelamento geométrico e trigonométrico (Gorelove 2006). No nivelamento geométrico o mais frequentemente utilizado é o de curtas visadas. A precisão e a rapidez na obtenção dos desníveis entre as estações fazem com que este método se torne bastante eficaz nas determinações dos assentamentos verticais.

No nivelamento geométrico de alta precisão com curtas visadas, é utilizado níveis em que a sua calagem é realizada com o auxílio de níveis de bolha bi-partida ou níveis automáticos que possuem um sistema de horizontalização automática da linha de visada (Wolf, Guilani 2002). As miras utilizadas neste tipo de nivelamento são as de invar, de fibra de vidro ou de madeira seca todas com um coeficiente de dilatação linear bastante baixa, ou as miras de códigos de barra para os níveis digitais.

As observações das deformações verticais são executadas por ciclos (épocas de observação) em função da cota de um marco de deformação em relação a um ponto pertencente a rede de nivelamento e considerado como ponto de apoio. Todos os ciclos de observação do nivelamento geométrico de alta precisão de visadas curtas deverão ser executados com o mesmo esquema de medições. A estação deverá ser assinalada e deverá estar ao meio das distâncias entre os marcos a determinar os desníveis. Em cada ciclo de observação deve-se cumprir os seguintes requisitos: a) mesmos instrumentos; b) as miras devem ser numeradas e colocadas nos mesmos marcos durante o ciclo ou época de observação.

Na observação dos assentamentos verticais a precisão do nivelamento é caracterizado pelo erro médio quadrático m_h na determinação dos desníveis na estação. O erro de determinação do assentamento do marco i é determinado pela expressão: $m_{si} = m_h \sqrt{2Q_{Hij}}$; $m_{d50i} = m_h \sqrt{2Q_{Hij}}$ (1) de onde Q_{Hi} - peso inverso de determinação de determinação do assentamento na marcha ou na rede de nivelamento; Q_{Hij} - peso inverso dos desníveis entre os marcos i e j . A precisão de determinação dos assentamentos verticais é garantida pelas normas das deformações de estruturas (Chexovtsove, 2009), de nivelamento de I, II e III classes, diferentes as normas das redes de nivelamento estatal. As características técnicas estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características técnicas das redes de nivelamento de determinação dos assentamentos verticais.

Fonte: Chexovtsove 2009

Classe de Nivelamento	Distancia estação-mira (m)	m_{hi}/km (mm)	m_{hij} (mm)	Erro de fecho (mm)
I	25	0,50	0,16	$3\sqrt{L}$ (KM)
II	30	0,84	0,42	$5\sqrt{L}$ (KM)
II	40	1,68	0,65	$10\sqrt{L}$ (KM)

Lé o perímetro da marcha ou polígono do nivelamento expresso em quilómetros. Para a escolha da classe do nivelamento, calcula-se a grandeza:

$$m_h = \frac{m_{si}}{\sqrt{2Q_{Hi}}}; m_h = \frac{m_{\Delta sij}}{\sqrt{2Q_{Hij}}} \quad (2),$$

e compara-se com os dados do m_{hi} ou m_{hij} , apresentados na tabela 1. O cálculo do peso inverso Q_{Hi} ou Q_{Hij} é feito pelo método dos mínimos quadrados (M.M.Q.). Caso o erro, calculado pela fórmula (2), seja inferior ao exigido no nivelamento de primeira classe ($m_{hij} < 0,16$ mm), surge a necessidade de se executar uma técnica específica de nivelamento, de formas a reduzir a influência das diferentes fontes de erros. Esta técnica especial foi desenvolvida pela Universidade de Geodesia e Cartografia de Moscovo (Borisovich, 2015) que permite medir o desnível na estação, com um erro de 0,03 mm.

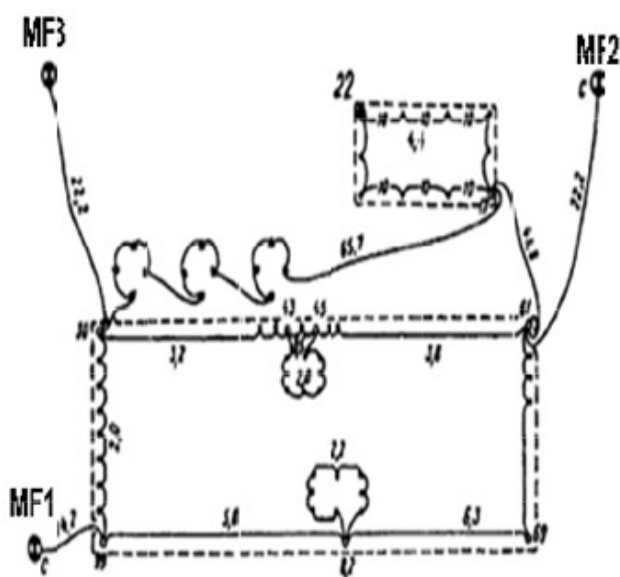


Figura 1: Esquema da rede de nivelamento para as observações de assentamento vertical de uma barragem hidrelétrica.

Fonte: (Marfenco, 2004).

As principais disposições desta técnica são as seguintes: a) utilização de níveis de alta precisão, verificados e rectificados; b) limitação do raio de visada (estação-mira) até aos 25 metros, para diminuir o efeito da refração vertical, nos resultados das observações de nivelamento; c) utilização de níveis que garantam nitidez das imagens, não se permitindo a mudança da distância focal na estação, no momento da leitura da mira de trás e a mira de frente; d) utilização de mira de invar de nivelamento com nível de bolha de forma a diminuir a influência do erro de inclinação das miras nos resultados das medições do nivelamento; e) determinação das diferenças entre a escala métrica da mira de invar e a escala nominal no comparador de interferência antes e depois da campanha de campo (CNIIGAIIK,2000).

Na Figura 1, está ilustrado o esquema da rede de nivelamento para as observações de assentamento vertical de uma barragem hidroelétrica. Esta rede de monitoramento está composta por marcos fundamentais MF1,

MF2, MF3, que estão ligados aos marcos de controlo de assentamento do objecto como por exemplo o marco 22 na sala de máquinas.

Observe a figura 1, o ponto nodal 22 do esquema da rede de nivelamento, do resultado da avaliação de precisão da rede de nivelamento obteve-se o valor do peso inverso $Q_{H22} = 2,78$. Se a precisão que se deseja determinar o assentamento for $m_{si} = 2$ mm, então na estação, a precisão que deverá ser determinado o desnível de acordo com a fórmula (2) é: $m_h = \frac{2}{\sqrt{2,78}} = 0,1601$.

Para se obter esta precisão, o programa de medições de nivelamento, que tem que, se aplicar é o de I classe de acordo com as características técnicas fornecidas pela tabela 1. O nivelamento trigonométrico, permite determinar o assentamento vertical de marcos localizados em alturas significativamente diferentes e ou em locais de difícil acesso. A precisão de determinação dos assentamentos, pode atingir a ordem de 1 a 2 mm se as visadas forem curtas (Vorochilove, 2015). De acordo com a fórmula fundamental do nivelamento trigonométrico (Borisovich e Mixeleve, 1993), pode-se deduzir que o desnível h_{ij} entre dois marcos de assentamentos verticais do objecto é determinado pela média através da fórmula:

$$h_{ij} = (S_i \cos z_i - S_j \cos z_j) + (l_i - l_j) + (v_i - v_j) + \frac{(1-k_i)S_i^2}{2R \sin^2 z_i} - \frac{(1-k_j)S_j^2}{2R \sin^2 z_j} \quad (3),$$

onde S_i, S_j - distância inclinada da estação aos respectivos marcos i e j; z_i, z_j - distancia zenital da estação nos respectivos marcos i e j; l_i, l_j - altura do instrumento ao se visar os marcos i e j; v_i, v_j - altura de visada nestes marcos; k_i, k_j - coeficiente de refração vertical; R - raio médio de curvatura da Terra.

Para que se atinja a precisão entre 1 a 2 mm exige-se observações de alta precisão não só do ângulo zenital z e a distância inclinada S mas também a determinação da altura do instrumento v, o que torna mais complexo o método de observações.

Mantendo a altura do instrumento na estação cumprir-se-á a condição. $l_j = l_i$ e se as alturas das visadas coincidirem com a altura da estação total então $v_j = v_i$. De recordar que as visadas no nivelamento trigonométrico são curtas então pode-se considerar que $k_j = k_i$ e nas condições atmosféricas mais desfavoráveis possíveis a variação do coeficiente da refração estão nos limites 0,14...0,20 (Adelmo, 2006) logo h_{ij} não excede os 0,03 mm.

Sob as condições especificadas ($l_j = l_i; v_j = v_i; k_j = k_i$) a fórmula (3) pode ser reescrita da seguinte forma: $h_{ij} = S_i \cos z_i - S_j \cos z_j \quad (4)$, e o erro médio quadrático do desnível na estação de acordo com a diferenciação dos argumentos não correlacionados entre si (Markuze e Dmitrievich, 2016) é dada pela expressão: $m_h^2 = 2m_s^2 \cos^2 z + 2\left(\frac{S}{\rho \sin^2 z}\right)^2 m_z^2 \quad (5)$, onde S - distância medida da estação total ao marco; mS - erro médio quadrático da distância S; z- ângulo zenital medido da estação ao marco; mz - erro médio quadrático do ângulo zenital; $\rho = 206265''$.

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DOS MOVIMENTOS HORIZONTAIS

Os requisitos de sustentabilidade da posição planimétrica no seu todo da barragem e seus elementos, assim

como as exigências técnicas de implantação, devido a sua tecnologia e característica de construção podem variar em diferentes direcções. Neste sentido a determinação dos deslocamentos horizontais pode ser feita por duas coordenadas ou apenas por uma coordenada. No primeiro caso, para coordenar o ponto observado da estrutura utiliza-se o método linear-angular e no segundo o de alinhamento.

A rede linear-angular pode ser do tipo da rede de triangulação ou de trilateração, redes combinadas, intersecção angular e linear ou poligonais.

De uma forma geral utiliza-se o método combinado de triangulação e trilateração. Nas redes combinadas medem-se todos os ângulos e alguns lados. A decisão de quais os lados e com que precisão deverá ter as medições lineares e angulares, é feita dos cálculos baseados nos requisitos de precisão da determinação das grandezas de deslocamento. Nos cálculos utilizaram-se as fórmulas para a avaliação de precisão dos deslocamentos em função dos eixos do sistema de coordenadas considerado x,y a saber:

$$m_{qx} = \mu\sqrt{2Q_x}; m_{qy} = \mu\sqrt{2Q_y}; (6)$$

onde μ - erro médio quadrático por unidade de peso (aqui refere-se ao erro das medições angulares ou das direcções); Q_x, Q_y - peso inverso das coordenadas dos pontos observados respectivamente nos eixos x, y.

A utilização do tipo de rede depende do carácter de construção, sua forma geométrica, a precisão exigida, condições organizativas de medições e outros factores. Por exemplo as intersecções angulares ou lineares, utilizam-se para a determinação das deformações dos pontos inacessíveis da barragem ou estruturas, a triangulação e a poligonização para estruturas com a forma curvilínea. Em muitos casos as redes combinadas, a triangulação e a trilateração servem para a determinação da estabilidade dos pontos de apoio (marcos fundamentais) e as coordenadas dos pontos auxiliares, dos quais pelo método de intersecção ou de poligonização se determinam os assentamentos dos pontos da barragem ou estruturas.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS UTILIZADOS

Para realização das campanhas de observação da rede geodésica de monitoramento, foram utilizados os seguintes materiais disponibilizados pelo Laboratório de Engenharia de Angola (LEA): a) 01 (um) nível óptico-mecânico modelo NA2, da marca Leica acoplado com um micrómetro óptico e um micrómetro GMP3 o qual permite efectuar leituras directas com precisão até 0,01 mm; b) 01 (uma) estação total modelo TM30, da marca Leica, oferece medições angulares precisas de 0,5 "a 1", as distâncias podem ser medidas com uma precisão de 0,6 mm + 1 ppm (partes por milhão) para prismas ópticos; c) 02 (duas) miras com a escala em invar com cerca de dois metros de comprimento, acoplada com dois níveis esférico; d) 01 (um) tripé de madeira; e) 03 (três) reflectores de alta precisão modelo GPHIP da marca Leica, com precisão de centragem de 0,3mm; f) 20 (vinte) reflectores de precisão modelo

GPR121 da marca Leica; e com uma precisão de centragem forçada de 1,0 mm. Os instrumentos foram verificados e calibrados pela empresa SERTOPO em 20 de Outubro de 2014.

MÉTODOS

Descrição Geral da Área de Estudo

A estrutura utilizada para estudo foi a barragem da Quiminha, localizada a 80 km a nordeste de Luanda e a 20 Km de Catete (Figura 2).

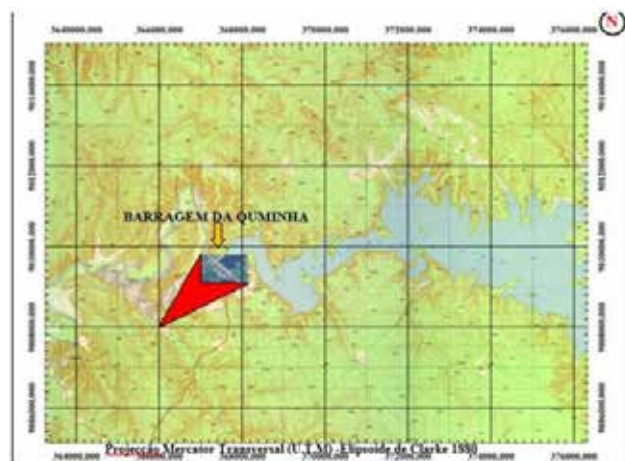


Figura 2: Localização Geográfica da Barragem da Quiminha.

Fonte: IGCA 1982

A barragem da Quiminha é uma barragem de terra, com a altura máxima de cerca de 40 metros e uma capacidade de armazenamento de 1560.106 metros cúbicos, equivalente à cota máxima do nível de água, que é de 51,80 metros (CONSULGEO,2005). A construção da barragem da Quiminha ficou concluída em 1975 e a água deste reservatório é utilizada para irrigação, amortecimento dos caudais de cheias para protecção contra inundações de zonas agrícolas, e para abastecimento doméstico.

Foi concebida e dimensionada para produção de energia, tendo sido previsto no projecto a possibilidade de introdução de uma central hidreléctrica para uma potência instalada de 16 000 KVA.

Sistema de Monitoramento Geodésico da Barragem da Quiminha

O sistema de observação utilizado na monitorização dos deslocamentos absolutos de pontos implantados à jusante e à montante da barragem da Quiminha baseia-se em redes de controlo planimétricos e altimétricos, apoiados em quadros de referência. O sistema foi implantado em 2008 pela empresa Tcnasol, após a conclusão dos trabalhos de impermeabilização aplicadas para colmatar a percolação instalada nos maciços da barragem, em substituição do sistema antigo implantado na fase de enchimento do reservatório.

Rede Planimétrica

A rede planimétrica é constituída por quatro marcos de referência projectados como fixos (PT1, PT2, PT3 e PT4) implantados fora da zona sujeita as influências das deformações inerentes

ao comportamento estrutural da barragem, materializados por pilares de betão e o topo do pilar possui um sistema com centragem forçada para o estacionamento da base do aparelho e dos reflectores de alta precisão, a partir dos quais são intersectados oito (8) pontos objectos implantados no talude à montante e vinte e um (21) pontos implantados no talude à jusante, todos materializados por betão e com sistema de centragem forçada para colocação dos reflectores.

Rede Altimétrica

Para determinação das cotas dos pontos de monitoramento da rede altimétrica empregou-se o método de nivelamento geométrico de precisão. A linha de nivelamento geométrico de precisão, é constituída por cinco pontos de referência (PFNM1, PFNJ1, PFNM2, PFNM3, PFNM4) e dezasseis pontos objectos implantados sobre a estrutura monitorada. Os pontos de referência são materializados por tacos de latão, com caixa de proteção chumbadas em pequenos maciços de betão, teoricamente solidários com afloramento rochoso e afastados da zona de influência da barragem.

LEVANTAMENTO DOS PONTOS DA REDE DE MONITORAMENTO

As campanhas efectuadas na barragem da Quiminha

As campanhas de medições geodésicas na barragem da Quiminha tiveram início em Março de 2015. Até a data, foram realizadas sete campanhas de medições, duas em 2015, uma em 2016, uma em 2017 e três em 2018.

Na tabela 2, se apresenta a listagem das campanhas de medições realizadas, indicando a codificação alfanumérica das campanhas, a data em que foram realizadas as campanhas, o nível e o volume de água na albufeira. A campanha realizada em Junho de 2016 é tomada como referência para o cálculo dos deslocamentos horizontais e verticais dos pontos objectos da rede de monitoramento.

Tabela 2. Campanhas de medições efectuada na barragem

Fonte: Carvalho A. et I.C. 2015-2018

Nível e volume de água na albufeira durante as campanhas de observação			
Codificação	Data - Campanha	Nível de Água (metros)	Volume de Água (m³)
C1	18.03.2015	37,76	480*10 ⁶
C2	26.08.2015	37,18	473*10 ⁶
C3	26.06.2016	46,26	1050*10 ⁶
C4	22.09.2017	44,27	870*10 ⁶
C5	26.02.2018	44,82	880*10 ⁶
C6	27.05.2018	45,30	919*10 ⁶
C7	15.09.2018	43,42	745*10 ⁶

Verificação da estabilidade dos marcos da rede de referência

Os pilares de estacionamento da rede geodésica, apesar de localizados (em princípio) fora da zona sujeita a influência das deformações inerentes ao comportamento estrutural da barragem, devem ser controlados, pois, os deslocamentos absolutos dos pontos objectos são determinados a partir desta rede que se presume ser estável.

A estabilidade dos marcos de referência da rede de monitoramento implantados à montante e à jusante da barragem da Quiminha foi verificada, medindo a variação das distâncias entre ambos, em duas épocas distintas (Agosto de 2015 e Março de 2016). Para as medições das distâncias, aplicou-se o método de trilateração, com o auxílio de uma estação total TM30 e um reflector GPH1P de alta precisão.

As distâncias entre os pontos foram medidas em ambos os sentidos em diferentes períodos do dia formando assim séries de observações (Figura 3).

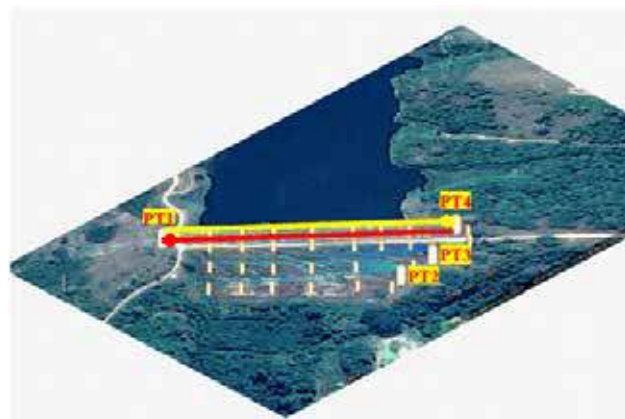


Figura 3: Medição da distancia entre os marcos de referência (PT1-PT4)

Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2015)

Durante a realização das séries de observações, foram adoptados dois critérios para aceitação das medições efectuadas.

O primeiro foi o critério para verificação das distâncias medidas em ambos os sentidos. Para o efeito, definiu-se que a tolerância para o erro médio quadrático dos valores das distâncias medidas em ambos os sentidos, seria inferior à precisão nominal do equipamento ($0,6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$). As observações que excederam esta tolerância foram retiradas da amostra e novas observações foram realizadas.

Como segundo critério, definiu-se que durante o cálculo das médias das séries de observação, a tolerância para os valores dos resíduos calculados seria de $1,65 \cdot \sigma$ (erro tolerável). Os valores dos resíduos calculados que excederam esta tolerância foram descartados e nova média calculada.

Tabela 3. Probabilidade dos erros toleráveis

Fonte: Amorim, 2005

Probabilidade de rejeição	Número de desvio padrão
10%	1,65. σ
5%	1,96. σ
1%	2,58. σ
0,1%	3,29. σ

Tabela 4. Distâncias entre os pilares PT1 -PT4

Fonte: Carvalho A. et I.C. 2015

Série	Pontos observados	Distâncias (m)	Resíduos (V) (mm)	(V) ²
1ª Série	PT1-PT4	321,9457	0,18	0,03
	PT4-PT1	321,9462	-0,32	0,11
2ª Série	PT1-PT4	321,9461	-0,23	0,05
	PT4-PT1	321,9455	0,38	0,14
Agosto de 2015		Média	Soma (v)	Soma (v ²)
1ª Época		321,94588	0,00	0,33

O erro tolerável pressupõe a especificação “a priori” de um critério estatístico de rejeição. A tabela 3 mostra algumas probabilidades de erros toleráveis, baseados na curva de distribuição normal reduzida (AMORIM, 2005). A título de exemplo, é ilustrado o processamento das distâncias medidas entre os marcos de referência (PT1 e PT4).

Cálculo do desvio padrão: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (d-d)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (v)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,33}{3}} = 0,33\text{mm}$

Cálculo do erro de tolerância com a probabilidade de rejeição de 10%: $e = 1,65 \times \sigma \Rightarrow e = 1,65 \times 0,33\text{mm} \Rightarrow e = 0,55\text{mm}$

Cálculo do desvio padrão da média: $\sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \Rightarrow \sigma_M = \frac{0,33}{\sqrt{4}} \Rightarrow \sigma_M = 0,17\text{mm}$

Distância média e precisão: $d(\text{PT1-PT4}) = 321,9459\text{ mm} \pm 0,17\text{ mm}$.

Examinando a tabela 4, pode-se observar que não é necessário rejeitar nenhuma distância, pois, todos os resíduos ficaram abaixo do erro máximo tolerável ($e=0,55\text{ mm}$).

Monitoramento dos Pontos da Rede Planimétrica

Para o monitoramento dos pontos da rede de controlo materializados nos taludes da jusante e montante da barragem da Quiminha, as observações foram feitas em cinco épocas distintas, nas mais diversas condições meteorológicas no período de junho de 2016 a Setembro de 2018. A campanha realizada em Junho de 2016 foi considerada como época de referência.

As coordenadas dos pontos da rede planimétrica foram determinadas com a Estação Total Leica TM30, com auxílio de prismas circulares, também da Leica.

Para determinação dos possíveis deslocamentos dos pontos objectos que compõem a rede externa de monitoramento da barragem da Quiminha empregou-se o método de ajustamento paramétrico, que é uma das aplicações do método dos mínimos quadrados (MMQ).

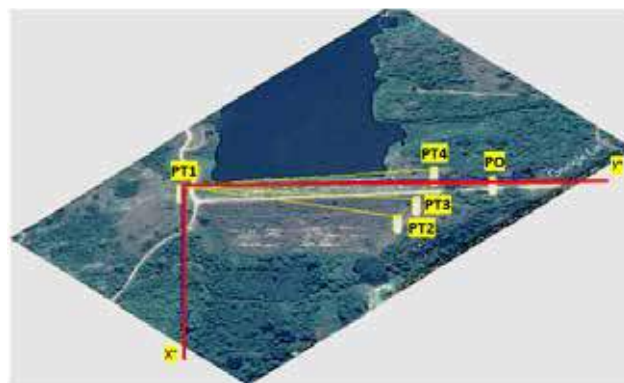
As incógnitas determinadas são as correções aplicadas às coordenadas provisórias dos pontos para a obtenção das coordenadas finais. No entanto, para aplicar este método, é necessário conhecer as coordenadas aproximadas dos pontos.

Para determinação das coordenadas aproximadas dos pontos objectos, utilizou-se o método de irradiação. Foi estabelecido um sistema de referência local (x, y), com o eixo y, orientado positivamente na direcção PT1-P0 e eixo x perpendicular ao eixo y, orientado positivamente em direcção à Jusante da Barragem, conforme ilustrado na figura 4.

Ao pilar da margem direita PT1 foi atribuído as coordenadas ($X_1=400,0000\text{ m}$; $Y_1=400,0000\text{ m}$) e o ponto P0 com as coordenadas ($x=400,000$; $y=400,000 + \text{dist}(\text{PT1-P0})$).

A partir desta base realizaram-se medições até aos alvos (prisma) instalados nos pilares de referência (PT2, PT3 e PT4). Determinando deste modo as coordenadas (x, y) dos respectivos pontos.

As coordenadas dos pontos objectos foram determinadas a partir dos pilares de referências (PT1, PT2, PT3 e PT4) utilizando o método de irradiação.

**Figura 4:** Sistema de coordenadas rectangulares dos marcos de referência

Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2015)

Monitoramento dos pontos da rede planimétrica a montante

Para monitorar os pontos objectos (alvos) localizados à montante da barragem, foi necessário ocupar os pilares de referência PT1 e PT4 localizados fora da zona de influência da barragem e posteriormente realizarem-se visadas nos pontos objectos (alvos) determinando-se assim as coordenadas (x, y) dos respectivos pontos.

Para uma melhor precisão, cada ponto foi observado em duas direcções (PT1 - PT2; (PT2-PT1)). Em gabinete, eliminaram-se os erros grosseiros e determinaram-se os valores médios e os desvios padrão. Os valores médios foram considerados como coordenadas aproximadas e utilizados no processo de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados.

Monitoramento dos pontos da rede planimétrica à jusante

Para monitorar os pontos objectos (alvos) localizados à jusante da barragem foi necessário ocupar os pilares de referência PT1, PT3 e PT4 localizados fora da zona de influência da barragem, e posteriormente realizarem-se visadas nos pontos objectos (alvos) determinando-se assim as coordenadas (x, y) dos respectivos pontos.

As coordenadas de cada ponto foram determinadas em seis direcções ((PT1 - PT3) - (PT3-PT1)), ((PT1-PT4) - (PT4-PT1)), ((PT3-PT4) - (PT4-PT3)). Em gabinete eliminaram-se os erros grosseiros e determinaram-se os valores médios e os desvios padrão.

As coordenadas obtidas em campo foram ajustadas com o programa Excel, baseado no método dos mínimos quadrados.

Monitoramento dos Pontos da Rede Altimétrica

Tal como na rede planimétrica, a primeira campanha de medições na rede altimétrica (campanha de referência) também, foi realizada em Junho de 2016.

Os desníveis da linha de nivelamento geométrico foram medidos com o nível automático NA2 equipado com um micrómetro óptico GPM3 acoplado e com duas miras com escala em invar, de 2 metros de comprimento.

A partir das referências de partida e chegada materializada fora da zona sujeita a deformação, é definida a sequência de nivelamento geométrico para ocupação das miras nos pontos objectos. Em seguida, são realizadas as leituras de trás e frente (secções), tomando como referência de partida o pilar localizado na margem esquerda PFM1 de cota 25,0000 m, passando pelos pontos objectos e pelos pontos de referência localizados na margem direita, da barragem (PFM2 PFM3 e PFM4), até a referência de chegada PFJ1. Para o efeito, foi realizado um nivelamento e um contra nivelamento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

RESULTADOS DA REDE PLANIMÉTRICA

Nas tabelas e figuras que se seguem, apresentam-se as variações das distâncias entre os marcos de referência e as coordenadas (x, y) dos pontos objectos, determinadas em diferentes épocas de levantamento, bem como os deslocamentos nos eixos (x, y) obtidos pela diferença entre as coordenadas dos pontos objectos, determinadas em Junho de 2016 (época de referência) e as restantes campanhas de levantamento.

Rede Planimétrica de Referência

Tabela 5. Distâncias (ds) entre marcos de referência.

Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2016)

Linhas observadas	Agosto de 2015		Março de 2016		Variação Rede Planimétrica de Referência das distâncias (Δd) mm	Erro Médio Quadrático da Fórmula Geral (ϵ) mm
	Distância (d_0) m	Desvio Padrão (σ) mm	Distância (d_1) m	Desvio Padrão (σ) mm		
PT1-PT2	297,9772	0,18	297,977	0,18	0,2	0,25
PT1-PT3	302,3941	0,16	302,3937	0,18	0,4	0,24
PT1-PT4	321,9459	0,17	321,9456	0,20	0,3	0,26
PT2-PT3	43,3356	0,13	43,3353	0,10	0,3	0,16
PT3-PT4	55,2056	0,10	55,2054	0,11	0,2	0,15

Para caracterizar a precisão das variações das distâncias, foram calculados intervalos de erro com probabilidade de 90 % (tabela 6) a partir da expressão: $\tau = t \cdot \frac{\epsilon}{\sqrt{n}}$, onde t é distribuição de student.

Tabela 6. Intervalos de erro para o nível de significância de 90 %.

Fonte: Carvalho A. et I.C. 2016

Linhas Observadas	ϵ (mm)	(t) student	Intervalos de erro (τ) para o nível de significância de 90%
PT1-PT2	0,3	6,314	$\pm 0,9$
PT1-PT3	0,2	6,314	$\pm 0,6$
PT1-PT4	0,3	6,314	$\pm 0,9$
PT2-PT3	0,2	6,314	$\pm 0,6$
PT3-PT4	0,1	6,314	$\pm 0,3$

Na tabela 7 apresentam-se as variações das distâncias (ds) dos marcos de referência e respectivos intervalos de erro com a probabilidade de 90%.

Tabela 7. Variações das distâncias (ds) entre marcos de referência

Fonte: Carvalho A. et I.C. 2015

ds(mm)	
PT1-PT2	$0,2 \pm 0,9$
PT1-PT3	$0,4 \pm 0,6$
PT1-PT4	$0,3 \pm 0,9$
PT2-PT3	$0,3 \pm 0,6$
PT3-PT4	$0,2 \pm 0,3$

Pontos Objectos à Montante

Para determinação dos deslocamentos horizontais foi considerada como base a campanha C3 realizada em Junho de 2016. E compararam-se as campanhas C4, C5, C6 e C7.

Na tabela que se segue, esta apresentada como exemplo o deslocamento do ponto objecto PM0 localizado a montante.

Tabela 8. Deslocamento do ponto PM0 localizado no talude da montante.

Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	x	Desl. (mm)	y	Desl. (mm)
26/jun/016	394,6629	0,0	735,9028	0,0
22/set/017	394,6623	-0,6	735,8990	-3,7
22/fev/018	394,6625	-0,4	735,8995	-3,3
27/mai/018	394,6642	+1,3	735,9025	-0,2
14/set/018	394,6616	-1,3	735,9030	+0,3

Na figura 5, apresentam-se os deslocamentos horizontais no eixo X dos pontos objectos registados entre as épocas realizadas, ou seja, C3 em Julho de 2016, C4 em Setembro de

2017, C5 em Fevereiro de 2018, C6 em Maio de 2018 e C7 em Setembro de 2018.

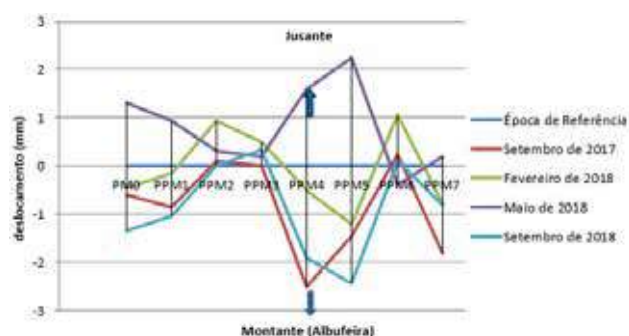


Figura 5: Evolução dos deslocamentos horizontais no eixo X dos pontos objectos localizados a montante. Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2018)

Da figura 5, pode-se verificar que, nas campanhas C4 realizadas em setembro de 2017, C5 em Fevereiro de 2018 e C7 em Setembro de 2018 os pontos, em geral, deslocaram-se em direcção à montante da barragem com um valor máximo de -2,5 mm em PM4. Já na época C6 realizada em Maio de 2018 os pontos movimentaram-se em direcção à jusante da barragem atingindo um valor máximo de + 2,3 mm em PM5.

Na figura 6, apresentam-se os deslocamentos horizontais no eixo Y dos pontos objectos localizados à montante, registados entre as épocas já realizadas, ou seja, C3 em Junho de 2016, C4 em Setembro de 2017, C5 em Fevereiro de 2018, C6 em Maio de 2018 e C7 em Setembro de 2018.

Na figura, é possível verificar que, nas épocas C4 realizadas em setembro de 2017, C5 em Fevereiro de 2018 e C7 em Setembro de 2018. Houve uma tendência dos pontos movimentarem-se em direcção à margem direita com um valor máximo de -3,7 mm em PM0. Já na época C6 realizada em Maio de 2018 constata-se que, em geral, os mesmos evoluíram em direcção à margem esquerda com um valor máximo de + 1,7 mm.

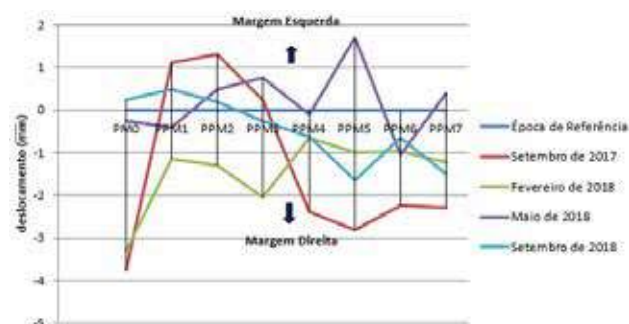


Figura 6: Evolução dos deslocamentos horizontais no eixo Y dos pontos objectos localizados a montante. Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2018)

Pontos Objectos à Jusante

A figura que se segue, apresenta o exemplo dos deslocamentos do ponto objecto localizados à jusante PJ0 entre a época C3 realizada em Junho de 2016 e as épocas C4, C5, C6 e C7 realizadas em Setembro de 2017, Fevereiro de 2018, Maio de 2018 e Setembro de 2018 respectivamente. Para determina-

ção dos deslocamentos foi considerada como base a época C3 realizada em Junho de 2016.

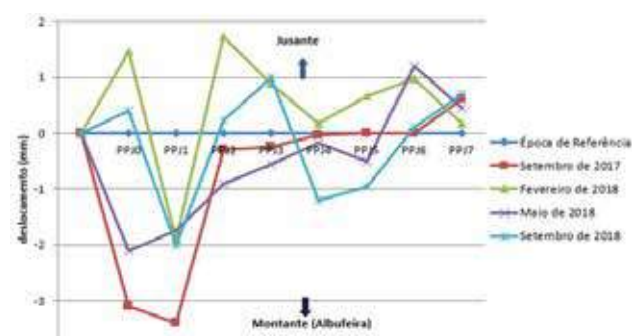


Figura 7: Evolução dos deslocamentos horizontais (eixo x) dos pontos objectos à jusante. Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2018)

Na figura 7, apresenta-se os deslocamentos horizontais no eixo x dos pontos objectos localizados à jusante. Registados entre as épocas já realizadas, ou seja, C3 em Junho de 2016, C4 em Setembro de 2017, C5 em Fevereiro de 2018, C6 em Maio de 2018 e C7 em Setembro de 2018.

Ao observar a figura, pode-se verificar que, na época C4 realizadas em setembro de 2017, os pontos, em geral, evoluíram no sentido da montante (albufeira) da barragem, nas épocas C5 realizada em Fevereiro de 2018 e C6 realizada em Maio de 2018, houve uma tendência dos pontos movimentarem-se em direcção à jusante com um valor máximo de 3,4 mm. Já na época C7 realizada em Setembro de 2018, houve uma tendência dos pontos movimentarem-se em direcção à montante (albufeira) da barragem com um valor máximo de 1,7 mm.

Na figura 8, constata-se que, nas épocas C4 realizadas em setembro de 2017 e C6 realizada em Maio de 2018, os pontos evoluíram no sentido da zona do estaleiro da

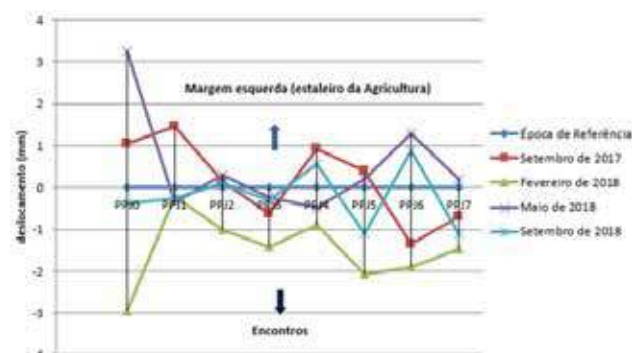


Figura 8: Evolução dos deslocamentos horizontais no eixo Y dos pontos objectos localizados à jusante da barragem. Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2018)

agricultura. Já nas épocas C5 realizadas em Fevereiro de 2018 e C7 em Setembro de 2018, os pontos, em geral, deslocaram-se em direcção à margem direita.

Tabela 9. Deslocamento do ponto PJ0 localizado no talude da jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	x	Desl. (mm)	y	Desl.(mm)
26/jun/016	410,4682	0,0	737,2777	0,0
22/set/017	410,4651	-3,1	737,2787	+1,0
22/fev/018	410,4697	+1,5	737,2747	-3,0
27/mai/018	410,4661	-2,1	737,2809	+3,2
12/set/018	410,4686	+0,4	737,2773	-0,4

RESULTADOS DA REDE ALTIMÉTRICA

Pontos Objectos à Montante

Nas tabelas que se seguem são apresentados os deslocamentos verticais absolutos de alguns pontos objectos localizados à montante, de Junho de 2016 a Setembro de 2018. Para determinação dos deslocamentos verticais absolutos apresentados nas tabelas abaixo, foi considerada como base a campanha C3 realizada em Junho de 2016 e compararam-se as campanhas C4, C5, C6 e C7 realizadas em Setembro de 2017, Fevereiro de 2018, Maio de 2018 e Setembro de 2018 respectivamente.

Tabela 10. Deslocamento verticais absolutos do ponto PFNM1 localizado no talude à montante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	24,2091	0,0
22/set/017	24,21191	+2,8
26/fev/018	24,21161	+2,5
27/mai/018	24,21079	+1,7
12/set/018	24,21140	+2,3

Tabela 11. Deslocamento verticais absolutos do ponto PFNM2 localizado no talude à montante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	25,04910	0,0
22/set/017	25,04570	-3,4
26/fev/018	25,04770	-1,4
27/mai/018	25,04722	-1,9
12/set/018	25,04713	-2,0

Tabela 12. Deslocamento verticais absolutos do ponto PFNM3 localizado no talude à montante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	25,41889	0,0
22/set/017	25,41370	-5,1
26/fev/018	25,41680	-2,1
27/mai/018	25,41714	-1,8
12/set/018	25,41673	-2,2

A evolução dos deslocamentos verticais absolutos dos pontos objectos localizados no parâmetro à montante está representado graficamente na figura 9.

Ao observar a figura, é possível verificar que a partir da época C4 realizada em Setembro de 2017, os pontos, em geral, apresentaram uma certa estabilidade. Porém, pode-se constatar que os pontos de referência (PFNM2, PFNM3, PFNM4) projectados como fixos e localizados na zona de encontro entre o corpo da barragem e maciço da margem direita, local onde se procederam a injecções de calda de cimento, são os que registaram maiores assentamentos.

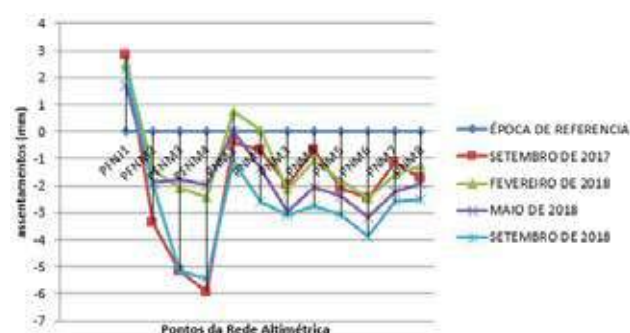


Figura 9: Evolução dos deslocamentos verticais dos pontos objectos localizados à montante da barragem.

Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2018)

Pontos Objectos à Jusante

Nas tabelas que se seguem são apresentados os deslocamentos verticais absolutos de todos os pontos localizados à jusante de Junho de 2016 a Setembro de 2018. Para determinação dos deslocamentos verticais absolutos apresentados nas tabelas abaixo, foi considerada como base a campanha C3 realizada em Junho de 2016 e compararam-se as campanhas C4, C5, C6 e C7 realizadas em Setembro de 2017, Fevereiro de 2018, Maio de 2018 e Setembro de 2018 respectivamente.

Tabela 13. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ1 localizado no talude à jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	22,30286	0,0
22/set/017	22,30580	+2,9
26/fev/018	22,30494	+2,1
27/mai/018	22,30580	+2,9
12/set/018	22,30609	+3,2

Tabela 14. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ2 localizado no talude à jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	22,77907	0,0
22/set/017	22,7804	+1,4
26/fev/018	22,77961	+0,5
27/mai/018	22,78001	+0,9
12/set/018	22,78068	+1,6

Tabela 15. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ3 localizado no talude à jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	23,13180	0,0
22/set/017	23,1319	+0,1
26/fev/018	23,13216	+0,4
27/mai/018	23,13197	+0,2
12/set/018	23,13223	+0,4

Tabela 16. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ4 localizado no talude à jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	23,41471	0,0
22/set/017	23,4140	-0,7
26/fev/018	23,41345	-1,3
27/mai/018	23,41284	-1,9
12/set/018	23,41168	-3,0

Tabela 17. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ5 localizado no talude à jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	23,62159	0,0
22/set/017	23,6238	+2,3
26/fev/018	23,62448	+2,9
27/mai/018	23,62472	+3,1
12/set/018	23,62543	+3,8

Tabela 18. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ6 localizado no talude da jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	23,14351	0,0
22/set/017	23,1410	-2,5
26/fev/018	23,14151	-2,0
27/mai/018	23,14138	-2,1
12/set/018	23,14199	-1,5

Tabela 19. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ7 localizado no talude à jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	22,15914	0,0
22/set/017	22,1573	-1,9
26/fev/018	22,15801	-1,1
27/mai/018	22,15800	-1,1

Tabela 20. Deslocamento verticais absolutos do ponto PNJ8 localizado no talude à jusante. **Fonte:** (Carvalho A. et I.C. 2018)

Datas	Cota (m)	Desl. (mm)
26/jun/016	23,31670	0,0
22/set/017	23,3145	-2,2
26/fev/018	23,31493	-1,8
27/mai/018	23,31480	-1,9
12/set/018	23,31471	-2,0

A evolução dos deslocamentos verticais absolutos dos pontos objectos localizados no parâmetro à jusante está representado graficamente na figura 10.

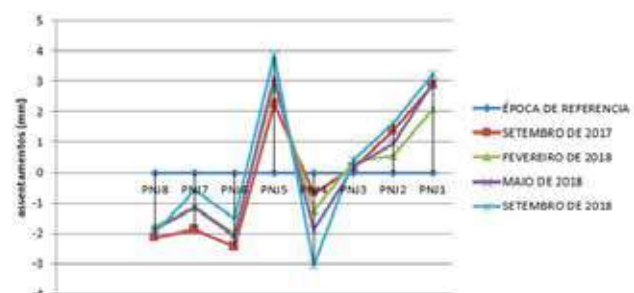


Figura 10: Evolução dos deslocamentos verticais dos pontos objectos localizados à jusante da barragem.

Fonte: (Carvalho A. et I.C. 2018)

Ao observar a figura 10, é possível verificar que, a partir da época C4 realizada em Setembro de 2017, os pontos objectos, em geral, apresentaram certa estabilidade, registando variações inferiores a 1,0 mm.

CONCLUSÕES

Para medição de deslocamentos absolutos na rede geodésica de monitoramento é necessário a existência de pelo menos dois (2) pontos considerados fixos, que servem de referência para o cálculo dos deslocamentos dos restantes pontos a observar (pontos-objectos). Os testes aplicados nas diferentes épocas de levantamento (Agosto 2015 e Março 2016) mostram, que as variações das distâncias medidas entre os marcos de referência (PT1,PT2,PT3,PT4) atingem o valor máximo de 0,4 mm com um intervalo de erro de 0,6 mm. Portanto, pelos métodos e equipamentos utilizados, pode-se concluir que as variações das distâncias entre os marcos de referência não são significativas a um nível de significância de 5%. Pelo que se infere que não têm tido movimentos horizontais, ou seja, são estáveis. Já os resultados da rede altimétrica mostraram que embora a linha de nivelamento tenha sido projectada com cinco marcos de referência, sendo dois na margem esquerda (PFNM1, PFNM1) e três na margem direita (PFNM2, PFNM3, PFNM4), as cotas dos marcos da margem direita (PFNM2, PFNM3, PFNM4) registaram uma variação máxima de 6 mm, portanto, verifica-se pelos métodos e equipamentos uti-

lizados, que a zona onde se encontram materializados os respectivos marcos, é estável.

Depois de comparar as coordenadas e cotas dos pontos objectos, obtidas em diferentes épocas, constatou-se que de Junho de 2016 à Setembro de 2018 a estrutura da barragem da Quiminha registou deslocamentos inferior a 6 mm, o que implica que, de acordo com a norma técnica de estabilidade de taludes (NBR11682), o deslocamento é de baixo risco, portanto, não apresenta risco aos moradores localizados à jusante.

Assim, em função dos resultados obtidos conclui-se que os pontos de monitoramento aliados aos métodos geodésicos atenderam os requisitos necessários para realização do monitoramento, tornando-se uma ferramenta fundamental para auxiliar na tomada de decisão nas acções a serem efectuadas, para garantir a segurança da estrutura da barragem, e dos habitantes localizados à jusante.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Agostinho Neto (UAN) - Faculdade de Ciências

Ao Laboratório de Engenharia de Angola (LEA)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Adelmo, M. Meteorologia e Climatologia. *Brasil: Oficinas de Textos*, 2006.
- [2] Amorim. Ajustamento de Observações. *Brasil: Geomática*, 2015.
- [3] Borisovich. *Nivelamento de alta precisão*. Rússia: MIR, 2015.
- [4] Borisovich, Mixeleve. *Geodesia aplicada na construção e exploração*. Rússia: MIR, 2016.
- [5] Borisovich, Mixeleve. *Prática de Geodesia aplicada*. Rússia: MIR, 2015.
- [6] Borisovich, Mixeleve, Bapkov. *Geodesia aplicada na construção e exploração de estruturas de engenharia*. Rússia: NEDRA, 1983.
- [7] Castro, Henriques. *Monitoring planimetric displacements in concrete dams*, Lisboa:2008.
- [8] Chexovtsove. *Métodos geodésicos de determinação de assentamentos de estruturas*. Rússia: 2009.
- [9] CNIIGAIAK. *Centro de Investigação Científica da Universidade de Geodesia de Moscovo*. Rússia: 2000.
- [10] CONSULGEO. *Tratamento para controlo da percolação pelo maciço da margem direita da barragem da Quiminha*, ANGOLA:2005.
- [11] Gorelove. *Método Geodésico de Observações de Deformações de estruturas Hidrelécticas*. Rússia: ENERGIA, 2006.
- [12] IGCA. *Normas técnicas de nivelamento*. Angola: IGCA, 1987.
- [13] Júlio Fonseca. *O papel do Laboratório de Engenharia de Angola LEA*. Luanda: 2018.
- [14] Marfenco. *Observações Geodésicas na Determinação das Deformações de estruturas*. Rússia: MII-GAiK, 2004.
- [15] Markuze, Dmitrievich. *Teoria Matemática de Medições Geodésicas*. Rússia: MIR, 2008.
- [16] Nazarov. *Conceitos Fundamentais de Nivelamento de curtas visadas*. Rússia: MIR, 2006.
- [17] NBR. *Estabilidade de Taludes*. Brasil: ABNT, 2002.
- [18] Palma Carlos. *Aproveitamento hidroagrícola da Quiminha - Projecto da Barragem e órgãos de descarga e segurança da albufeira*. Lisboa: 1964.
- [19] RAMOS. *Segurança estrutural de Barragens de betão*. Departamento de Barragens, LNEC, 2004.
- [20] Vorochilove. *Principais características do nivelamento trigonométrico de curtas visadas*. Rússia: MII-GAiK, 2015.
- [21] Wolf, P. R; Ghilani, C. D. *Elementary Surveying – An Introduction to Geomatics*. Pentrice Hall, 2002.





Artigo n.º 5

Avaliação da evolução da área no Mussulo usando geotecnologias e necessidade de protecção à luz da convenção de Ramsar

Evaluation of the evolution of the area in Mussulo using geotechnologies and the need for protection according to the Ramsar convention

Carlos Andrade Neto¹

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: carlosandneto@hotmail.com.

CITAR COMO:

Neto, C. A. Avaliação da evolução da área no Mussulo usando geotecnologias e necessidade de protecção à luz da Ramsar. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 51-61

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 19/5/2020

Aceite: 12/6/2020

*Autor correspondente:

Carlos Andrade Neto
(e-mail: carlosandneto@hotmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

O autor declara que não há conflitos de interesses

Resumo: A primeira Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica recomendou a transformação do Ilhéu dos Pássaros em Reserva Natural Integral, esta ilha, a linha de costa, a península do Mussulo e a respectiva baía, são áreas dinâmicas com processos agravados pela crescente ocupação humana. A convenção internacional das Zonas Húmidas (Convenção de RAMSAR), recomenda medidas para prevenir a perda de água em áreas marítimas com profundidades de até seis metros. Por falta de informação actualizada sobre o impacto, gravidade e extensão de zonas afectadas, foram recolhidos mapas e série históricas de imagens de satélites, foi realizada a avaliação geoespacial com os programas QuantumGIS e AutocadLandaSurveyCivil3D. Verificou-se um aumento da área das ilhas, uma redução da área da baía e da sua profundidade. Verificou-se o surgimento de novas ilhas e o avanço da linha da costa, acompanhada de construções que perigam o ambiente, as populações e as espécies. Prevê-se evolução negativa caso medidas não sejam tomadas e foi constituída uma ferramenta importante para o apoio a estudos do grau de sedimentação, a adopção da zona como área de protecção à luz da convenção de RAMSAR e prevenir a perda de áreas alagadas e mangais.

Palavras-chave: Península do Mussulo, Zonas Húmidas, informação geoespacial, Dinâmica da Costa, Programas computacionais

Abstract: The first Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, recommended the transformation of the Islet of Birds into an Integral Nature Reserve, this island, the coastline, the Mussulo peninsula and the respective bay, are dynamic areas with processes aggravated by increasing human occupation. The international Convention on Wetlands (RAMSAR Convention), recommends measures to prevent water loss in maritime areas with depths of up to six meters. Due to the lack of up-to-date information on the impact, severity and extent of affected areas, maps and historical series of satellite images were collected, geospatial evaluation was carried out with the QuantumGIS and AutocadLandaSurveyCivil3D programs. There was an increase in the area of the islands, a reduction in the area of the bay and its depth. There was the emergence of new islands and the advance of the coastline, accompanied by constructions that endanger the environment, populations and species. Negative developments are expected if measures are not taken and an important tool has been created to support studies on the degree of sedimentation, the adoption of the area as a protection area under the RAMSAR convention and to prevent the loss of wetlands and mangroves.

Keywords: Mussulo Peninsula, Wetlands, geospatial information; Coastal Dynamics, Computer programs

INTRODUÇÃO

Sendo as zonas húmidas e costeiras locais com maior concentração de variedade de espécies e a produção de biomassa, são ecossistemas sensíveis, muito procuradas para a prática de várias actividades humanas e gravemente ameaçados pela poluição e urbanização (Pacheco e Silva, 2014). A forte presença humana e alterações climáticas geram pressões e conflitos, daí a necessidade de estabelecer limites e a necessária protecção definindo prioridades por meio de criação de programas de gestão que devem ser integrados, incluindo o uso sustentável dos recursos naturais presentes, principalmente no mar, nos manguezais, restingas e em outros ambientes costeiros (IBGE 2011).

A necessidade de protecção e conservação reforça-se com o facto das características das zonas húmidas e costeiras alterarem rapidamente com o tempo o que representa um importante desafio para as autoridades responsáveis pela gestão e conservação dos referidos espaços (Pacheco e Silva 2014), situação que leva os governos a investir cada vez mais em programas de gestão costeira integrada para gerir os conflitos de forma sustentável (Gianuca e Tagliani, 2012).

Para a promoção do ordenamento dos espaços marinhos e determinação de zona de conservação e preservação são necessários estudos científicos para avaliar o grau de importância tanto ecológica como biológica e a sua dinâmica natural ou resultante da intervenção humana. A sua execução inclui a recolha de informação para determinar as zonas de conflito e promover a activa participação e envolvimento de todas as partes interessadas, cartografar os usos e disponibilizando informação fiável sobre o estado do ecossistema e potenciais ameaças para apoio a sua gestão e conservação (GNC-OEM, 2019).

Angola é parte integrante da Convenção sobre as Zonas Húmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitats de Aves Aquáticas, denominada Convenção de RAMSAR, com adesão aprovada pela Assembleia Nacional em Abril de 2013, (GNCOEM, 2017). A convenção promove a conservação de zonas húmidas e de aves aquáticas, estabelecendo reservas naturais, sendo por isso alvo do presente trabalho a zona do Mussulo por apresentar características que a tornam uma potencial zona RAMSAR pois até ao momento Angola não possui áreas marinhas protegidas (AMP) (GNC-OEM, 2019).

A RAMSAR considera zonas húmidas, entre outras, as áreas de pântano ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água estagnada ou corrente, doce ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa (ICNB, 2008) (ANCORIM, 2011). A primeira Conferência das Partes da Convenção sobre a Diversidade Biológica recomendou a transformação do ilhéu dos pássaros em Reserva Natural Integral, por sua vez o projecto piloto incluído no projecto de Ordenamento e Governança do Espaço Marinho da Convenção da Corrente de Benguela (MARISMA) propôs 7 áreas marinhas de importância ecológica e biológica que inclui o EBSAs Mussulo, Figura 1 (GNCOEM, 2017) (INE, 2018).



Figura 1: Zona piloto e áreas para conservação propostas

Fonte: António e Salvador, 2019; Neto, 2019; GNC-OEM, 2019

O grupo de coordenação para a implementação do projecto piloto de ordenamento dos espaços marinho em Angola foi constituído por representantes de várias instituições e profissionais de várias especialidades, com destaque para o engenheiro geógrafo, responsável pela elaboração da base cartográfica que serviu de apoio a análise espacial para a resolução de conflitos e assim determinar a criação de áreas protegidas e unidades de preservação a ser aplicada em todo o território, sendo por isso urgente a mudança das práticas de gerência ambiental (Oliveira et al., 2016).

Assim, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), ferramenta crucial para a tomada de posição a qualquer nível governamental (Niu et al., 2005) são também utilizados para a análise espacial, devido a capacidade que brinda, ao cruzar informação de várias fontes e permite uma visualização directa da sobreposição das actividades sendo que várias instituições governamentais criaram na sua estrutura departamentos com atribuições para a produção, gestão e disseminação de informação geoespacial e outros estão envidando esforços para a sua criação e manutenção devido a importância que representam para o apoio as suas actividades.

Os estudos relacionados com a análise e resolução de problemas ambientais e da evolução da dinâmica dos espaços, são impulsionados com o desenvolvimento e utilização das geotecnologias cuja disseminação torna-se cada vez mais facilitada devido ao baixo custo dos computadores, a produção e disseminação de softwares livres preparados e orientadas a resolução de vários problemas e análises bioestatísticas e geográficas de forma eficiente para o apoio na tomada de decisão (Braz et al., 2013).

As geotecnologias são utilizadas em várias áreas, incluindo as mais sensíveis como a gestão marítima e costeira, para a gestão de enorme quantidade de dados gerados, sendo definidoras de procedimentos para a construção de modelos do mundo real com base em dados geográficos, com precisão na sua localização e mensurável. Para a realização de estudos de impacto ambiental ou para a determinação das necessidades de conservação, é necessário estabelecer uma base de dados aplicável a todos os sistemas de informação geográfica disponíveis no país, assim como contar com software adequado para a

gestão de toda a informação e disponibilização em base cartográfica (Núñez, 2006).

A base cartográfica resultante e baseada em modelos vectoriais actualmente apresentada em suporte digital tem a capacidade de processar arquivos disponibilizados em vários formatos e existe um conjunto de localidades com altos níveis de marginalização potencialmente vulneráveis a riscos ambientais extremos ou a eventos derivados da dinâmica terrestre, como os erosivos de inundações e sedimentação ou mesmo de riscos químicos, resultantes da actividade humana que agravam a vulnerabilidade de vários locais com a ocorrência de situações de emergência ou demanda que exceda a capacidade de actuação (Martinez-Piedra et al., 2001).

A falta de recursos financeiros e humanos é um problema que dificulta a execução de medidas de protecção, daí a necessidade de recorrer a soluções locais que permitam reduzir custos e adopção de práticas locais com reconhecimento internacional sendo relevantes contribuições das geotecnologias para o entendimento sobre determinada realidade que se deseja estudar e assim obter-se uma compreensão fundamentada em conhecimentos científicos desenvolvidos ao longo do tempo (Lira et al., 2017). Para a gestão de informações, o desenvolvimento das geotecnologias associadas revolucionou a área de análise espacial, sendo estes aplicados em diversas áreas do conhecimento, entre elas a gestão costeira.

Com a disponibilidade de profissionais da área de engenharia geográfica verifica-se que instituições públicas já utilizam geotecnologias para a execução e apresentação dos resultados dos seus trabalhos (INE, 2018), embora ainda se verifica no meio público falta de informação adequada sobre a importância das geotecnologias e da engenharia geográfica, a especialidade que mais impulsiona e aplica no dia-a-dia as referidas tecnologias e atender a necessidade crescente de base cartográfica adequada às necessidades de outros profissionais e de acordo com as suas especificidades, para a gestão ou execução de projectos e sua implementação.

ZONA DE ESTUDO

Entre os países da CPLP signatários da convenção RAMSAR o Brasil é o país com maior área coberta, conta com 6434086 ha em 7 áreas, seguida de Moçambique com uma única área de 668000 ha e Portugal com 73874 ha distribuída por 17 áreas, enquanto a Guiné Bissau com uma única área e Cabo Verde que tem 3 áreas não indicam a extensão da área total de cobertura, entre estes países Angola não tem nenhuma área (ICNB, 2008), por isso é importante a realização de trabalhos para a localização de sítios que possam ser indicadas como zonas húmidas a luz da convenção RAMSAR.

Assim o Mussulo que alberga o ilhéu dos pássaros já recomendado pela primeira Conferência das Partes da Convenção sobre a Diversidade Biológica para Reserva Natural Integral é a zona escolhida para a realização do presente trabalho, por ter características que lhe permitem tornar numa zona húmida à luz da convenção internacional das zonas húmidas ou simplesmente convenção de RAMSAR.

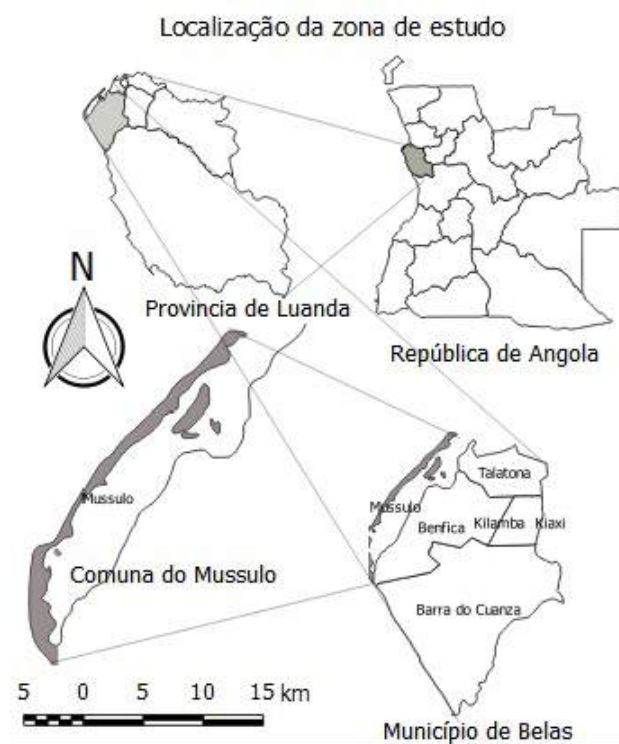


Figura 2: Localização da zona de estudo

A denominação península do Mussulo aparece no mapa topográfico a escala 1/100000 publicada pelo Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola IGCA, actual Instituto Geográfico e Cadastral de Angola, edição de 1981, ou simplesmente Mussulo, localiza-se a sudoeste província de Luanda. O Diário da Republica, I SÉRIE — N.º 75 — DE 21 DE ABRIL DE 2011 ARTIGO 2.º, considera o município de Belas, para efeitos da divisão administrativa que o mesmo inclui a península do Mussulo e ilhéus adjacentes (figura 2), de recordar que o Mussulo delimita-se no sentido Norte - sul pelos paralelos 8°51'36"S e 9° 8'27"S e no sentido Este - Oeste pelos meridianos 12°59'06"E e 13°09'54"E.

Para permitir uma melhor avaliação a área foi delimitada pelo contorno da ilha do Mussulo, desde a sua intersecção a sul do contorno da península do Mussulo com o meridiano 13°00'50"E, seguindo para norte ao longo do referido meridiano até a intersecção com o contorno da linha de costa da península contornando-a completamente até ao ponto de partida.

A baía do Mussulo foi delimitada a partir da intersecção do seu contorno ao longo da linha de costa em terra com o paralelo 8°51'36"S, a norte da baía, seguindo a oeste ao longo do referido paralelo até a intersecção do contorno da baía, na costa leste da península do Mussulo, seguindo ao longo da linha de costa leste da península do Mussulo, até a sua intersecção a sul com a linha de costa junto a terra, seguindo para norte com a linha de costa até a sua intersecção com o paralelo 8°51'36"S, ver Figura 2.

Assim, ficou incluída no estudo a península do Mussulo, a baía do Mussulo e as ilhas que dela fazem parte nomeadamente a ilha da Cazanga, a ilha dos pássaros, a ilha do desterro e a ilha da Quissanga. As ilhas mencionadas são aquelas que estão permanentemente na baía ao longo do período de análise, por isso, para o período de 1981 foram consideradas duas ilhas junto a ilha da Cazanga e a ilha do Sumbo que já não aparecem em 2005, para 20015 e 2020 foram medidas duas ilhas novas cujos resultados foram usados para determinar a área alagada.

De acordo com o n.º 3 do Artº 4º da Lei n.º 29/11 de 1 de Setembro, o município de Luanda coincide com a cidade de Luanda. Trata-se da terceira maior cidade lusófona, depois das cidades brasileiras de São Paulo e Rio Janeiro. Segundo a projecção anual da população total para 2013 do Instituto Nacional de Estatística (INE), a província conta com 5 278 775 de habitantes, correspondente a uma densidade populacional de 280,4 habitantes por Km².

Desaguam na baía vários canais principalmente da bacia hidrográfica da ribeira da Samba totalmente localizada no actual município de Belas e nos municípios de Kilamba Kiayi e Viana, tendo também afluentes nos municípios do Cazanga, Maianga e Rangel. A rede de drenagem da bacia da Samba compõe um território com uma área de 276,765 km² (Garcia, 2013), que representa um volume considerável de água durante quase todo o ano reduzindo-se nos meses de Junho, Julho e Agosto que são os períodos secos.

A precipitação anual média é de 323 milímetros, mas a sua variabilidade está entre as mais altas do mundo, com um coeficiente superior a 40% (GPL, 2014). Tendo em conta a área coberta pelas redes hidrográficas que desaguam na baía do Mussulo e a média anual de precipitação, se pode inferir o volume de sedimentos que chegam a baía e a influência que tem na dinâmica das características das ilhas e da profundidade que se verifica na zona. Considerando a época habitual de chuvas nos meses de Março e Abril (GPL, 2014), neste período aumenta o volume de água que chega a baía e consequentemente o volume de sedimentos e de resíduos, afectando a forma, a dinâmica e as condições ambientais da mesma.

A vegetação da zona é composta por mangais e restingas nas ilhas e vegetação rasteira e algumas árvores ao longo da costa. De acordo com a classificação de Koppen, o clima é quente e húmido com três meses secos.

As características e formas da zona do Mussulo, tal como a costa de Luanda, resultam da influência da corrente fria de Benguela, a sedimentação provocada principalmente pelo rio Kwanza e vários canais afluentes, além dos resultantes da erosão pluvial, agravadas pela intervenção humana (Neto 2019), originando uma agradável paisagem natural e com praias que convidam

aos turistas e banhistas a um apetecível mergulho ou banho de areia.

Na zona de estudo encontra-se o Ilhéu dos Pássaros ou Laguna de Luanda (Baía do Mussulo) que de acordo com (INE 2018) é uma área protegida que necessita de avaliação constante para determinar a perda de biodiversidade assim como a evolução da área ocupada por mangais, a qualidade da água e o nível de sedimentação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção de informação geoespacial com vista a dispor de base cartográfica adequada para avaliação da evolução dinâmica da península do Mussulo e baías adjacentes da área ocupada actualmente pela água e a terra foram recolhidas informações sobre mapas antigos da área publicadas pelo IGCA e imagens de satélite. Além demais foi realizada revisão bibliográfica e análise da legislação considerando a experiência do autor com a participação no projecto de ordenamento do espaço marinho em Angola, no âmbito do projecto MARISMA. Este projecto é parte integrante da convenção da corrente fria de Benguela assinada entre os governos de Angola, África do Sul e Namíbia, com objectivo de estabelecer áreas de conservação ou área marinhas de importância ecológica e biológica.

Na primeira etapa da realização do trabalho foram realizadas visitas de campo para a avaliação visual dos aspectos gerais da paisagem, as actividades que se realizam no local, o surgimento de construções e redução da área com vegetação. Foi também avaliado o processo de erosão e a consequente aceleração com o surgimento das ravinas resultantes de processos de erosão pluvial assim como a evolução da linha da costa e trabalhos de dragagem que suscitou a avaliação da coloração da água e sua turbidez.

Para a avaliação espacial da situação existente na época da publicação, foram recolhidos mapas antigos da zona sendo por isso encontrados mapas publicados pelo IGCA assim como imagens da zona que ajudariam a verificar a evolução da linha da costa primeiramente e das próprias ilhas. Devido ao longo período sem actualização dos mapas, recorreu-se a série históricas de imagens de satélite com vista a complementar a avaliação de evolução principalmente da configuração da baía, das ilhas, assim como da linha da costa inicialmente.

Inicialmente foi priorizado o uso de mapas de maior escala e verificou-se que os mapas à escala 1: 2000 são os de maior escala publicadas pelo IGCA (Instituto Geográfico e Cadastral de Angola) mas a sua cobertura não permite a sua utilização na zona assim como os mapas à escala 1: 5000. Assim foram utilizados os mapas à escala 1:100 000 (figura 3), que cobrem a área de trabalho publicados em épocas diferentes. Os referidos mapas foram obtidos em formato digital e já georreferenciados no sistema Camacupa.



Figura 3: Folhas 89 e 107 do Mapa Topográfico com a área para época 1981

Para que a informação pudesse ser comparada foram introduzidos os parâmetros de transformação obtidos pelo CID-DEMA no âmbito do projecto para a extensão da plataforma continental para além da 200 milhas, obtido durante a execução do projecto fiscalizado pelo IGCA e pela Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto.

Assim, as coordenadas e toda a informação cartográfica recolhida e utilizada, tanto mapas, como imagens de satélite, foram referidos ao sistema WGS 84 e projecção UTM S33, tendo sido avaliada a coincidência de vários pontos notáveis previamente seleccionados utilizando o programa QuatunGis e posteriormente a partir dos mesmos suportes cartográficos foram realizados os processos de vectorização utilizando o programa AutocadLandaSurveyCivil3d.

Foram criados ficheiros no formato DXF de toda a informação vectorizada e foram determinadas as áreas tanto das ilhas e da península do Mussulo assim como a área coberta pela baía e zona coberta por mar. Todas as áreas foram determinadas para cada época para as imagens de satélite e para a época do mapa.

As áreas foram medidas a partir da vectorização sobre imagens de satélite, para ilhéus e seus contornos. Quanto a ilha do Mussulo, os seus limites foram determinados pelo seu contorno até a intersecção com o meridiano 13°00'50"E e incluindo o troço do referido meridiano e intersecção com o contorno, para a baía toda foi vectorizado todo o contorno da costa desde a sua intersecção com paralelo 8°51'36"S, ao longo de toda a costa e contorno da baía até ao paralelo 8°51'36"S e finalmente até ao ponto de partida.

O processo foi repetido para o mapa topográfico de 1981 e para as imagens de 2001, 2005, 2010, 2015 e 2020 cujos resultados se podem ver nas figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8, onde se apresentam as imagens para cada época referida e foram inseridos no programa AutocadLandaSurveyCivil3d para a determinação das áreas primeiro da ilha do Mussulo e depois da baía e de cada ilhéu, sendo depois deduzida a área alagada ou seja área coberta por água que resultou da diferença entre a área da baía e a dos ilhéus contidos pela baía.

Foram medidas as áreas da península do Mussulo, da baía do Mussulo e das ilhas que dela fazem parte nomeadamente a ilha da Cazanga, a ilha dos pássaros, a ilha do desterro e a ilha da Quissanga. As ilhas mencionadas são aquelas que estão permanentemente na baía ao longo do período de análise, por isso, para o período de 1981 foram medidas também duas ilhas junto a ilha da Cazanga e a ilha do Sumbo que já não apareceu nas imagens desde 2005. Em 2015 e 2020 foram medidas duas ilhas novas cujos resultados foram usados para determinar a área alagada.

As áreas obtidas e as respectivas épocas foram transferidas para o programa Excel onde foram criadas tabelas com dados das áreas e épocas e foi calculada a área alagada resultante da diferença entre a área da baía e de todas as ilhas existentes para cada época de análise. Foram estabelecidas correlações para determinar a dinâmica das áreas para cada época e obter equações de correlação utilizadas para a previsão da evolução futura da zona alagada considerando as mesmas condições de avaliação.

A informação obtida permitiu também, realizar uma avaliação visual do entorno da área da bacia hidrográfica que contribuiu para a chegada de sedimentos e possível foco de contaminação e sedimentação da baía, assim como a evolução da linha da costa e das ilhas com destaque o surgimento da novas ilhas cujas dimensões também foram avaliadas.

RESULTADOS

Com a avaliação in situ foi possível verificar que a zona continua a sofrer uma dinâmica assinalável com surgimento de novas construções, actividade económica e turísticas principalmente na zona do museu da escravatura, com isso a zona continua a perder vegetação nativa e a perda dessa vegetação faz com que se agrave o processo de erosão e se alterem as condições ambientais na zona. Além disso, verifica-se o aumento de resíduos sólidos e a coloração da água que indica sedimentação em vários pontos das zonas, algumas com grandes profundidades e outras mais reduzidas.

Verificam-se várias zonas com projectos de loteamento implementados cujos contornos das marcas efectuadas no terreno são visíveis nas imagens, principalmente na entrada do Mussulo, junto as Palmeirinhas e na zona das salinas na mesma área, verifica-se também perda de águas no saco dos flamengos, outros projectos de loteamento verificam-se na zona do autódromo e morro dos veados.

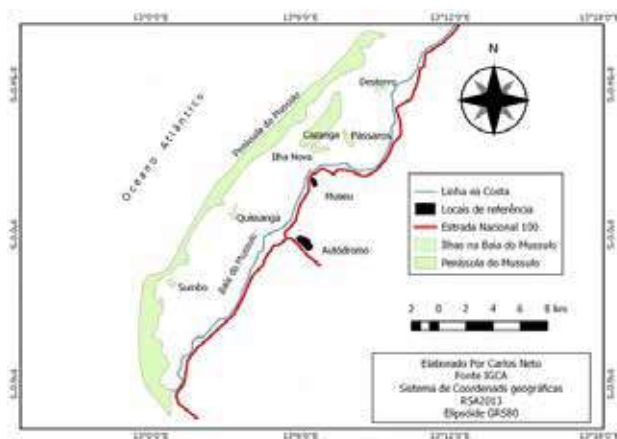


Figura 4: Península do Mussulo sua baía e ilhas antigas e novas

Foram adquiridos mapas topográficos a escala 1/100 000 que foram utilizados no trabalho sendo que os mapas topográficos de maior escala disponíveis para Luanda 1/2000 e 1/5000 não cobrem toda a zona de trabalho. Assim da avaliação dos mapas adquiridos verifica-se uma pequena parte junto ao Ilhéu dos pássaros com mangais e a profundidade não ultrapassa os 9 metros nas zonas mais profundas enquanto que entre cada uma das ilhas as profundidades não excedem os 6 metros. Entre a ponta do Mussulo a norte verifica-se que a profundidade não passa de 27 metros na época da produção dos mapas analisados.

Tendo em conta as profundidades verificadas é necessário a realização de trabalhos de batimetria para avaliar as profundidades e verificar o nível de sedimentação da zona, assim como, as áreas medidas in situ, com métodos clássicos ou fotogramétricos de levantamento. De recordar que com a possibilidade de tornar a zona uma área de protecção é possível com as profundidades medidas verificar se a zona cumpre com os requisitos para área RAMSAR, embora algumas zonas indiquem claramente que têm profundidades até aos 6 metros.



Figura 5: Imagens de satélite e a vectorização das áreas avaliadas para 2001 e 2005

Da ilha da Quissanga para sul a cota de profundidade máxima é de 15 metros que vai reduzindo tanto para a costa como para península do Mussulo e para sul e norte até a ilha da Quissanga, sendo que a linha isobatimétrica de 10 metros praticamente descreve uma zona central fora da qual não há profundidades acima de 7 metros e em muitos lugares a batimetria de 1 e 2

metros está muito próxima da referida curva o que indica pendentes acentuadas e cobrem a maior parte da área.



Figura 6: Imagens de satélite e a vectorização das áreas avaliadas para 2010 e 2015

Desde a ilha da Quissanga seguindo a norte até a ilha do desterro não há cotas acima de 6 metros excepto em apenas um ponto a norte do marco morro da cruz junto a costa que indica uma depressão dada a proximidade da costa. Seria um ponto importante a para avaliar dada a actividade que se realiza na costa com a construção de um condomínio e o consequente movimento de terras, assim como a pendente que facilita o transporte de sedimento por erosão pluvial. Da avaliação da profundidade notam-se canais definidos por profundidade acentuada, o alto grau de sedimentação é visível na zona e na figura 7, confirmando a coloração da água verificada na avaliação visual.



Figura 7: Imagens de satélite e a vectorização das áreas avaliadas para 2020

Da costa em terra até ponta do Mussulo verifica-se uma distancia de 1.9 km com a batimetria de 20 metros à 1km a profundidade é de 27 metros, à 1.5 km para a batimetria de 20 à 1.7 km para a batimetria de 10. Em todas as ilhas verificam-se matas esparsas e faixas estreitas de arbustos, matas novas e mangais. Na costa também verificam-se alguns mangais, arbustos e algumas árvores, dominadas principalmente por imbondeiros, observou-se também muitas construções e edifícios junto a costa.

Foram recolhidas imagens de satélite de 2001, 2005, 2010, 2015, 2020 e da avaliação visual das imagens nota-se que

a vegetação na zona é escassa e a sedimentação é evidente, a julgar pela diferença de cores na parte coberta pela água, onde se pode notar as zonas sedimentadas mais amareladas e as zonas azul escuras mais canalizadas que correspondem a zonas de maior profundidade confirmadas também, pela batimetria apresentada no mapa utilizado.

Foram avaliadas as áreas das ilhas e verifica-se uma evolução no aumento das áreas da península do Mussulo, da ilha da Cazanga e do ilhéu dos pássaros, uma redução das áreas da ilha do desterro, da zona alargada na baía e da área total da baía, enquanto a ilha da Quissanga diminuiu desde 2001 até 2005, desde 2005 vai aumentando a sua área com tendência a ligação com a península do Mussulo como aconteceu com a ilha do Sumbo.



Figura 8: Surgimento e evolução crescente de novas ilhas na baía Mussulo desde 2005

Os primeiros indícios notados nas imagens de 2010, figura 6 e 8, provavelmente com a redução da profundidade sendo notável nas imagens de 2020, figura 7 e 8, onde se verifica que a soma das áreas das ilhas novas é um pouco menor que as das ilhas do desterro que apresenta uma redução contínua (figura 5) e da Quissanga que neste momento registam um aumento depois de uma redução entre 1981 e 2005 (figura 5) com um aumento de área desde 2005 até ao momento actual, contrariamente, as ilhas novas que aumentam rapidamente as suas áreas (tabela 1), prevendo-se que ultrapassem as áreas das referidas ilhas nos próximos anos, caso o ritmo se mantenha.

A área da baía tende a diminuir rapidamente com o surgimento de duas novas ilhas cujas áreas aumentam, como se pode ver na figura 8 e nos resultados apresentados na tabela 1. De recordar que desde 2015 até ao momento as ilhas novas registam um aumento de 59%, esta evolução pode agravar a diminuição da área alagada o que representa um perigo para a zona e para as espécies.

A península do Mussulo apresenta em 2020 um comprimento de 34085.99 km, medido ao longo do seu eixo central desde o meridiano 13°00'50"E até a ponta do Mussulo no paralelo 8°51'36"S, e uma área de 3720.31 hectares, medidos desde a intersecção com o meridiano 13°00'50"E até a ponta do Mussulo no paralelo 8°51'36"S. A área total das ilhas em 2020 é de 792.59 hectares e a parte da baía ocupada pela água desde o saco dos flamingos a sul até ao paralelo 8°51'36"S é de 12459.72 hectares. Assim a zona de estudo cobre uma área de 16180.05 hectares, todos os resultados estão incluídos na tabela 1.

Nas zonas sedimentadas se podem notar como novidade o surgimento de novas ilhas cuja avaliação da dinâmica pode ser verificada desde 2005 nas imagens da figura 8, em que, apesar da sedimentação ser já visível a sul da ilha da Cazanga, tornam-se evidentes apenas nas imagens de 2010, onde se pode ver, o surgimento de uma nova ilha como uma mancha branca (figura 8) com a área de 2.57 ha e em 2015 a mesma área subiu para 10.14 ha, assim como a sua forma que se tornou evidente e em 2020 a sua área subiu para 16.16 ha que comparada com as ilhas antigas, há uma diferença de - 4.84 ha com ilha da Quissanga e - 0,72 ha, com a ilha do Desterro.

Torna-se, assim, necessária a denominação das referidas ilhas dada a existência de ilhas cujos nomes não são oficiais. Nas imagens de 2020 já se podem ver áreas imersa com 16.157 hectares que já deveria merecer atenção das autoridades pois torna-se iminente a ocupação deste espaço com residências com o consequente perigo que isso pode representar para a zona e para os ocupantes.

Em vários pontos verificam-se varias áreas conquistadas pelo mar devido a trabalhos de dragagem e da sedimentação natural como acontece a oeste da ilha da Cazanga torna-se visível na imagem da figura 5, reforça-se na imagem de 2010, figura 6 e 8, na mesma já aparece a ilha nova tornando-se visível a mancha branca que contribui em parte para a redução da área alagada.

Na figura 9, pode-se ver a evolução da ilha do desterro e Quissanga, com redução contínua da área da primeira desde 1981 sendo a Ilha mais dinâmica a da Quissanga que como aconteceu com a ilha do Sumbo, tem a tendência de juntar-se a península do Mussulo. A ilha da Quissanga em parte vai perdendo areias para a península mas vai aumentando a sua área com a zona já sedimentada a oeste com tendência para a referida ligação a península, ela inicialmente apresenta uma redução na sua área até 2005

Tabela 1. Resultados da avaliação das áreas obtidas por época.

Data	Península	Baía	Desterro	Pássaros	Cazanga	Quissanga	Ilhas Novas	Total Ilhas	Zona alagada
Área em hectares									
1981	3187.63	13367.16	19.56	36.95	479.52	21.137	0.000	557.17	12809.99
2001	3326.98	13219.05	18.54	38.39	645.10	14.945	0.000	716.99	12502.06
2005	3504.82	13129.12	17.63	40.01	629.34	14.138	0.000	701.12	12427.99
2010	3549.89	13015.62	17.43	41.24	643.58	16.740	2.57	721.57	12294.06
2015	3585.64	12782.15	17.40	42.19	669.78	19.469	10.14	758.99	12023.16
2020	3720.32	12459.72	16.88	44.70	693.85	20.997	16.16	792.59	11667.14

altura em que começa a inversão tendo crescido a sua área até ao momento como acontece com as ilhas da Cazanga e o ilhéu dos pássaros (figura 10), ao passo que a ilha do desterro continua a reduzir a sua área (figura 9).

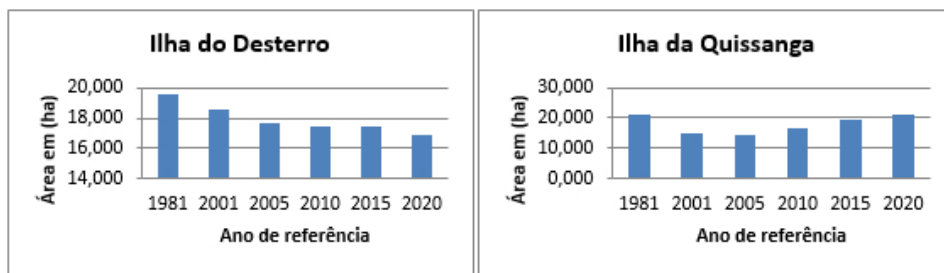


Figura 9: Evolução das áreas da ilha do desterro e da ilha da Quissanga

Na figura 11, apresenta-se a evolução das áreas da península e baía do Mussulo incluindo as ilhas que contém, onde a península aumenta crescentemente a sua área enquanto diminui constantemente a área da baía, o que indica constante sedimentação e avanço da linha de costa, uma dinâmica preocupante para a zona alagada, pois há risco de desaparecimento da referida zona.

Na figura 12, verifica-se que área coberta pela água na baía do Mussulo ou Zona alagada, também reduz-se constantemente o que se pode confirmar tanto pelo aumento da área das ilhas que contém e com o avanço da linha de costa, aqui

pode-se verificar uma redução considerável que com a avaliação feita apresenta uma variação linear que se correlaciona muito bem, com cada uma das épocas, o que indica que há uma perda de zona alagada que é preocupante dada a importância da água para a subsistência das espécies e da conservação do lugar.

Com a correlação realizada foram obtidas equações para a evolução de cada ilha e a península e baía do Mussulo, tendo sido utilizada uma para a obtenção do gráfico apresentado na figura 13 verificando-se que há uma tendência para a redução da área coberta por água que desde 1981 até 2020 alcançou os 7 % e poderá chegar a

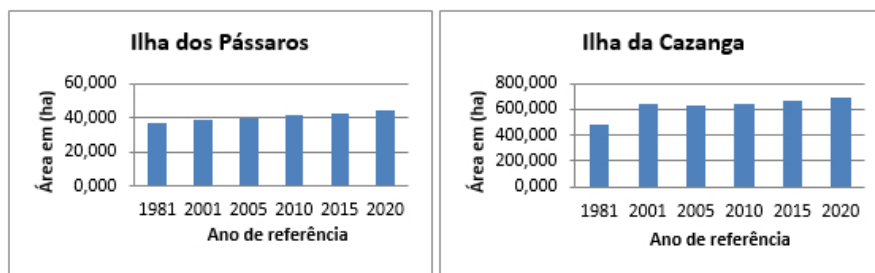


Figura 10: Evolução das áreas do ilhéu dos Pássaros e ilhas da Cazanga.

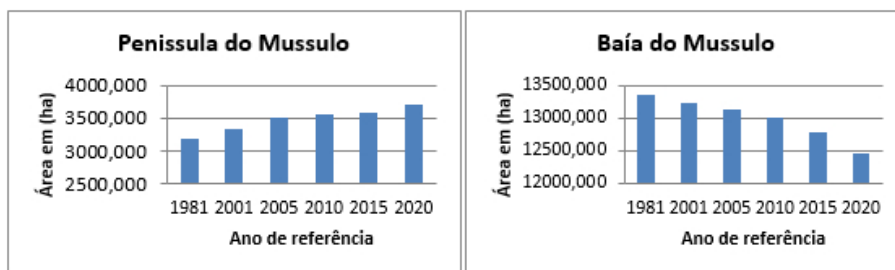


Figura 11: Evolução das áreas da Península e Baía incluindo as ilhas existentes.

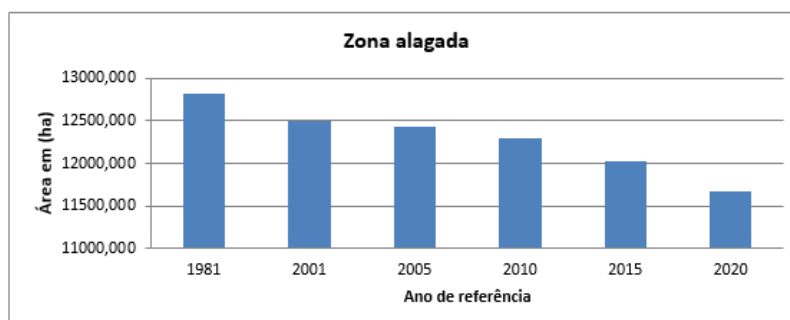


Figura 12: Evolução da área coberta pela água na Baía do Mussulo ou Zona alagada.

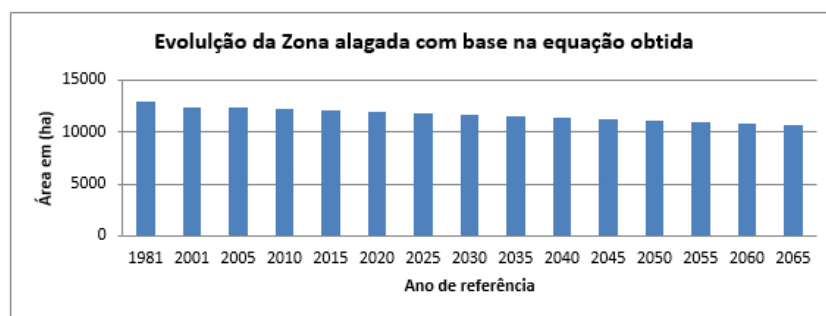


Figura 13: Evolução da área da zona alagada com base na equação obtida.

15% em 2065, caso medidas não sejam tomadas para a inversão da situação.

De uma forma geral foi possível avaliar a situação na zona com o aparecimento de construções e áreas com projectos de loteamento em curso, possível redução de profundidades a julgar pela coloração da água e o surgimento de novas ilhas, além de verificar-se que com excepção da ilha do desterro que reduz a sua área, todas as ilhas aumentam as suas áreas, incluindo a ilha do Mussulo, mas há uma redução da baía de uma forma e mais acentuada da zona ocupada pela água.

DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Angola não possui actualmente zona marítima ou costeira de protecção, a luz das convenções internacionais apesar de ser signatária de varias delas, incluindo africanas e de haver legislação local relacionada com o tema. Passos são dados com a implementação de um projecto que identificou áreas com potencial para conservação mas há necessidade de estudos para a criação de condições para a sua efectivação pois é necessária criação de zonas de conservação no espaço marítimos e costeiro e zonas húmidas, para regular as actividades, sendo para tal necessário que se realizem estudos para determinar o estado actual, avaliar os conflitos e adoptar medidas para o uso partilhado e sustentável dos espaços e para tal a contribuição das geotecnologias é indispensável pois a mesma produz informações que facilitam a análise espacial e brindam apoio inestimável a tomada de decisão.

Da avaliação realizada verifica-se que a zona do Mussulo representa uma área com potencial para ser uma zona húmida à luz da convenção RAMSAR dada a sua belíssima paisagem e baixas profundidades além da biodiversidade que alberga e a pressão que sobre ela recai resultantes das acções humanas e naturais, assim, realça-se o papel da engenharia geográfica na recolha de informação de base para a avaliação espacial com base tanto em imagens de satélite como bases cartográficas existentes assim como a realização de trabalho de campo para a realização de levantamentos.

Foram determinadas as áreas da península do Mussulo e das ilhas da Cazanga, Quissanga, Desterro e ilhéu dos

pássaros além das ilhas antigas e novas, para as épocas de 1981, 2001, 2005, 2010, 2015 e 2020, usando mapas topográficos e imagens de satélite, verificando-se uma evolução com aumento das áreas da península do Mussulo, da ilha da Cazanga e do ilhéu dos pássaros, uma redução das áreas da ilha do desterro, da zona alagada na baía e da área total da baía, enquanto a ilha da Quissanga diminuiu desde 2001 até 2005 época em que vai aumentando a área com tendência a ligação com a península do Mussulo como aconteceu com a ilha do Sumbo.

A partir da metodologia utilizada foram obtidos coeficientes de correlação para todas as áreas avaliadas entre a época e a sua superfície cujos resultados foram utilizados para a obtenção de equações que permitiu verificar que a área alagada reduziu-se continuamente a um ritmo de 1.3% para cada 5 anos e desde 1981 a área da baía reduziu-se em cerca de 7%, com a previsão de alcançar os 15% em 2065.

A informação obtida permitiu também, realizar uma avaliação visual do entorno da área da bacia hidrográfica que contribui para a chegada de sedimentos e possível foco de contaminação e sedimentação da baía, assim como a evolução da linha da costa e das ilhas com destaque para o surgimento de novas ilhas cujas dimensões também foram avaliadas.

Dada a importância da zona de estudo e sua dinâmica, caso se mantenha, perder-se-á a oportunidade da criação de uma zona de protecção à luz da convenção RAMSAR devido a possibilidade que se brinda com adesão de Angola à convenção, na obtenção de recursos para a criação da zona de conservação e sua gestão.

Revela-se importante e oportuna a criação de equipas multidisciplinares para estudos de diferentes aspectos indicados pelas organizações nacionais e internacionais para a criação de uma área de conservação e a realização de estudos relacionados com a qualidade da água, a velocidade e direcção das correntes, a batimetria e grau de sedimentação, o nível de contaminação da área e da água, a cobertura de vegetação principalmente mangais, a dinâmica da costa e de toda a península do Mussulo e a atenção redobrada para as novas ilhas cuja dinâmica é assinalável.

Estudos de hidrografia e batimetria são importantes para avaliar o volume de água existente na baía e comparar com o volume de sedimentos que chegam a baía e determinar não só a possível subida ou descida do nível de água assim como a capacidade da baía de absorver este volume e avaliar a possibilidade de perda de zonas alagadas e a busca de recursos para mitigar este efeito.

A realização de estudos multidisciplinares para avaliação das bacias hidrográficas que contribuem para a sedimentação da baía e a criação de condições para trabalhar rapidamente na criação da primeira zona húmida no Mussulo à luz da Convenção RAMSAR, aproveitando a experiência dos países da CPLP que já possuem mais de 7175960 hectares de áreas de conservação espalhadas por todos os países e a sua protecção, sendo que a cooperação é benéfica para assimilar e aprofundar conhecimentos sobre a matéria.

CONCLUSÕES

Mesmo sendo signatária de várias convenções internacionais, dispor de legislação relacionada e implementar um projecto-piloto, Angola não possui zona marítima ou costeira protegida e o Mussulo é um potencial candidato dada a sua belíssima paisagem, baixas profundidades, a biodiversidade que alberga e a pressão resultante da acção humanas e natural.

A batimetria produzida com instrumentos de engenharia geográfica e as geotecnologias produzem informações que brindam um apoio inestimável na avaliação espacial e na decisão para a criação de zonas marítima ou costeira protegidas, e permitiu avaliar a evolução da linha da costa e das ilhas com destaque para o surgimento da novas ilhas cujas dimensões também foram avaliadas.

As áreas da península do Mussulo, a baía e as ilhas nelas contidas aumentam as suas áreas desde 1981 com tendência da ilha da Quissanga a ligar com a península do Mussulo como aconteceu com a ilha do Sumbo, verificou-se o surgimento de ilhas novas e avanço da linha da costa para o mar cujas terras resultantes são ocupadas por residências.

Foram obtidos coeficientes de correlação para todas as áreas avaliadas entre a época e a sua superfície que permitiram a obtenção de equações e verificar que há uma redução contínua da área alagada desde 1981 com a previsão de agravar caso medidas não sejam tomadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Álvares, Maria Lúcia Politano, Helena Spinelli Álvares, Diego Álvares, Luiz Roberto Santos Moraes, and Maria Elisabete Pereira dos Santos. "Delimitação das Bacias Hidrográficas e de Drenagem Natural da Cidade de Salvador." *RIGS - revista interdisciplinar de gestão social*, 2012: jan./abr. 2012 ISSN: 2316-8196

v.1 n.1 p. 107-129 www.rigs.ufba.br.

- [2] António, Anderson Cruz; Salvador, Isabel Elisandra Pimentel "Produção de informação geoespacial para ordenamento do espaço marinho." *Departamento de engenharia geográfica da Faculdade de Ciências, Trabalho de fim de curso para a obtenção de grau de licenciado em Engenharia Geográfica*, 2019. Não publicado.
- [3] ANCORIM. "Tomada de Decisão e Riscos Costeiros: Guia de Boas Práticas." *Rede Atlântica para a Gestão dos Riscos Costeiros*, 2011: <http://ancorim.Aquitània.fr>.
- [4] Braz, Denise Monte, et al. "Restinga de Praia das Neves, ES, Brasil: caracterização fitofisionômica, florística e conservação." *Biota Neotropica*, Print version ISSN 1678-6424 On-line version ISSN 1676-0611, vol.13 no.3 Campinas July/Sept., 2013.
- [5] Garcia, Luzolo João Sebastião. "Modificações recentes no uso do solo e na dinâmica fluvial em Luanda: a bacia hidrográfica da ribeira da Samba." 2º Ciclo de estudos em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, Faculdade de Letras, Universidade do Porto, 2013: Dissertação de mestrado.
- [6] Gianuca, Kahum S., and Carlos Roney A. Tagliani. "Análise em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) das alterações na paisagem em ambientes adjacentes a plantios de pinus no Distrito do Estreito, município de São José do Norte, Brasil." *Revista de Gestão Costeira Integrada*, versão On-line ISSN 1646-8872, 2012.
- [7] GNC-OEM, Grupo Nacional de Coordenação para o Ordenamento do Espaço Marinho. "Proposta Preliminar do Plano de Ordenamento do Espaço Marinho em Angola: Área Piloto Palmeirinhas – Foz do Rio Tapado." 2019.
- [8] GNCOEM, Grupo Nacional de Coordenação para o Ordenamento do Espaço Marinho. "Relatório preliminar do Ordenamento do Espaço Marinho (OEM) em Angola área experimental Palmeirinhas – Tapado 2017." Luanda, 2017.
- [9] GPL, Governo da Província de Luanda -. *Plano de Desenvolvimento Provincial 2013/2017*. Luanda: Setembro, 2014.
- [10] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. 176p *Convênio: IBGE e a Comissão Interministerial para Recursos do Mar*. ISBN 978-85-240-4219-5, Rio de Janeiro :: Diretoria de Geociências. , 2011.
- [11] ICNB, o Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade. *Formação e implementação de metodologias para a conservação da biodiversidade e gestão de áreas protegidas. Projecto (Pr24/LB/07) para a Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) submetida pelo Governo de Portugal RELATÓRIO FINAL*, 2008.
- [12] INE, Instituto Nacional de Estatística. "Objectivos de Desenvolvimento Sustentável Relatório de Indicadores de Linha de Base Agenda 2030." 2018.
- [13] Lira, Danilo José da Silva, Flavio Augusto de

Lima Sá de Moraes Lopes, and Dinameres Aparecida Antunes. "Análise do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) nos anos de 1996 e 2016 do parque nacional das nascentes do rio parnaíba." XIII Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura - CONEA . Teresina-PI, 01 a 03 de junho, 2017.

- [14] Martínez-Piedra, Ramon, Manuel Vidaurre, Patricia Najera-Aguilar, and Enrique Loyola. "SIGEpi: geographic information system in epidemiology and public health." *Boletim Epidemiológico / OPS*, Vol. 22, No. 3, 2001.
- [15] Neto, Carlos Andrade. "Avaliação das características da zona costeira da Samba a partir de informação geoespacial e previsão da sua evolução futura." IX Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas dos Países de Expressão Portuguesa. Instituto Superior Técnico, de 14 a 16 de maio, 2019.
- [16] Niu, Xutong, Ruijin Man, Tarig Ali, and Rongxing Li. "iINTEGRATION OF MOBILE gis AND wireless technology for coastal management and decision-maker." *photogrametric engineering and remote sensing*, Number 4, Volume 71, April, 2005.
- [17] Núñez, Héctor Manuel Fernández. "SIG-ESAC: Sistema de Información Geográfica para la gestión de la estadística de salud de Cuba." *Revista*

Cubana de Higiene y Epidemiología versión On-line ISSN 1561-3003 _ v.44 n.3 Ciudad de la Habana sep.-dic., 2006.

- [18] Oliveira, Miguel André Fouto Pinho de, Sistemas de vigilância epidemiológica e informação geográfica O sistema de apoio a emergências em saúde pública da Direcção-Geral da Saúde. *Dissertação de mestrado, Lisboa Portugal: Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação Universidade Nova de Lisboa*, 2008.
- [19] Oliveira, Ulisses Costa de, Petronio Silva de Oliveira, and Carla Janaína Vasconcelos Pinheiro. "Análise da concentração de focos de calor na área de proteção ambiental (apa) da chapada do araripe nos anos de 2010 a 2015." VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental . Campina Grande/PB – 21 a 24/11/2016, 2016.
- [20] Pacheco, Dina, and Paulo Henrique Silva. *Dia Mundial Das Zonas Húmidas 2009*. <http://saiaaram.azores.gov.pt>, Direcção Regional do Ambiente, Governo Regional dos Açores, 2014.
- [21] Silva, José Mateus da. "Zona Costeira de Angola." VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa Participação Ativa nas Zonas Costeiras , 14 a 16 de Outubro de 2015. Aveiro Portugal, 2015.



Foto: DR



Artigo n.º 6

Nova Visão sobre o modelo tectóno-estratigráfico das bacias costeiras de Angola

New Insights on the Tectono-Stratigraphic model of the coastal basins of Angola

Simão Vunda¹, Cristina Rodrigues¹, René Arias¹, João Constantino¹

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Departamento de Geofísica, Avenida 4 de Fevereiro, 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola. email: simao.vunda@eni.com ou simaocri75@gmail.com, cfrodrig@gmail.com, renefla077@gmail.com, jctino12@hotmail.com.

CITAR COMO:

Vunda, S., C. Rodrigues, R. Arias e J. Constantino. Nova Visão sobre o modelo tectóno-estratigráfico das bacias costeiras de Angola. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 63-68

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 20/5/2020

Aceite: 12/6/2020

***Autor correspondente:**

Simão Vunda (e-mail: simao.vunda@eni.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: Nas últimas décadas estabeleceram-se vários modelos tectóno-estratigráficos das bacias costeiras de Angola, no entanto, continuam a ser alvo de vários estudos sistemáticos, uma vez que existem ainda alguns aspectos controversos que precisam de ser clarificados. Neste sentido, o presente trabalho tem como propósito contribuir para a reavaliação dos modelos tectóno-estratigráficos existentes. Um dos aspectos analisados baseia-se nos conceitos tectonofísicos propostos por McKenzie em 1978, os quais admitem um estiramento da litosfera e adelgaçamento da crosta e litosfera, durante a fase do rifte. O presente estudo foi elaborado utilizando diferentes métodos geofísicos (gravimétricos, magnéticos e sísmicos). Os resultados obtidos levam a sugerir que a interrupção do adelgaçamento da crosta, induzida pela mudança do epicentro de tensão face à competência e composição das rochas, levou ao aparecimento de três zonas: 1) passiva (zona I), contendo a crosta continental extensa, incorporando as bacias do Congo e do Kwanza; 2) transformante (zona II), incorporando a crosta continental curta, fazendo parte as Bacias do Kwanza e de Benguela, 3) super-transformante (zona III), caracterizada pela crosta continental mais curta, compreendendo a Bacia do Namibe. Adicionalmente, sugere-se que as correntes telúricas de convenção no manto são, provavelmente, as responsáveis pelo aparecimento de pontos quentes, os quais, possivelmente, provocaram diferentes estágios tectono-estratigráficos.

Palavras-chave: Tectónica, Estratigrafia, Geodinâmica, Geofísica, Bacias

Abstract: In the last decades several tectono-stratigraphic models have been established on the Angola coastal basins, nevertheless, they continue to be the target of several systematic studies, since there are several non-consensual topics that must be clarified. In this context, the present work aims to contribute to the re-evaluation of the existing tectono-stratigraphic models. One of the analysed issues are based on the tectono-physical concepts proposed by Makenzie in 1978, which admit a lithosphere stretching and crust thinning during the rift event. The present study was accomplished by using several geophysical methods (gravimetric, magnetic and seismic). The obtained results suggest that the crustal thinning interruption, induced by the change of the stress epicenter due to the rocks competence and composition, led to the formation of three zones: 1) passive (zone I), containing extensive continental crust incorporating the Congo and the Kwanza Basins. 2) transformer (zone II), with a short continental crust, comprising the Kwanza and Benguela basins. 3) super-transforming (zone III), characterized by the continental crust but shorter than the previous ones, belonging to the Namibe Basin. Additionally, it is suggested that conventional telluric currents in the mantle are, probably, responsible for the appearance of hot spots, which possibly caused different tectono-stratigraphic stages.

Keywords: Tectonic, Stratigraphy, Geodynamic, Geophysics, Basins

INTRODUÇÃO

A ambiguidade, ainda, existente em relação aos aspectos tectono-estratigráficos das bacias costeiras de Angola leva-nos a tecer algumas considerações, no sentido de dar um contributo na reavaliação dos modelos tectono-estratigráficos regionais. A realização do presente trabalho envolveu a selecção dos seguintes dados: gravimétricos de cobertura mundial (Geosat e ERS-1 (Sandwell & Smith, 1997), magnéticos com a resolução melhorada em três a dois minutos de arco (EMAG2 (Maus, 2009) e sísmicos de domínio público e confidenciais, bem como dados de poços confidenciais.

O processamento dos dados gravimétricos e magnéticos teve por finalidade a caracterização das estruturas profundas, normalmente, relacionadas com frequências baixas, em detrimento das superficiais. Posteriormente, aos dados gravimétricos e magnéticos foram aplicados os seguintes filtros: passa baixa, inclinação do sinal analítico (Tilt derivative) e gradiente horizontal. A integração e interpretação dos campos potenciais e dos dados sísmicos permitiram confirmar as anomalias identificadas nos dados gravimétricos e magnéticos.

Assim sendo, o presente trabalho tem como objectivo contribuir para a reavaliação do modelo tectónico-estratigráfico regional das bacias costeiras de Angola.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A área de estudo incorpora as zonas offshore das três bacias costeiras de Angola, localizada na costa do Atlântico Sul de África Ocidental, assim como a área de Cabo-Ledo pertencente ao onshore da Bacia do Kwanza (Figura 1).

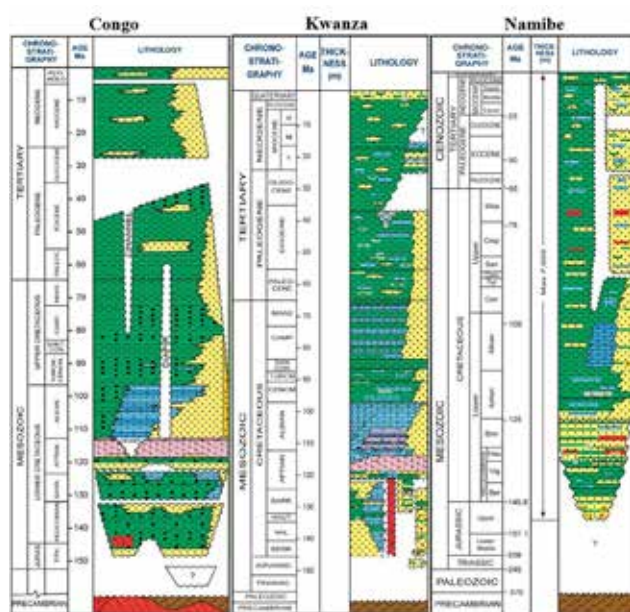


Figura 1: Enquadramento geológico das bacias costeiras de Angola (Anka et al., 2009).

A evolução tectono-estratigráfica é comumente definida segundo três fases distintas, nomeadamente, pré-rifte, sin-rifte e pós-rifte. A fase pré-rifte (Proterozóico – Jurássico tardio) é caracterizada pelo desenvolvimento de horsts, grabens, semi-grabens, blocos falhados inclinados (Miller et al., 1983), durante o qual depositaram-se arenitos e rochas vulcânicas (predominantemente nas Bacias do Kwanza e do Namibe). A fase sin-rifte é, normalmente, subdividida em duas componentes, a sin-rifte I (Berriasiano – Barremiano inferior) e a sin-rifte II (Barremiano – Aptiano). A primeira sub-fase é representada pela sobre-elevação e erosão das estruturas desenvolvidas no Jurássico, promovendo a formação de sub-bacias profundas e alongadas. Esta sub-fase é marcada pela deposição de argilitos lacustres, de águas pouco profundas, carbonatos lacustrinos e sedimentos sapropélicos ricos em matéria orgânica. A segunda sub-fase é marcada pela reactivação das falhas profundas, durante a qual depositaram-se, principalmente, carbonatos lacustres, arenitos e sedimentos clásticos aluvionares. A fase pós-rifte (Albiano ao recente) representa a fase da deriva continental, a qual é predominantemente caracterizada por sequências prográdantes que se desenvolveram em ambientes marinhos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho implicou o desenvolvimento de uma metodologia específica, envolvendo a selecção dos métodos geofísicos mais adequados, a obtenção e processamento dos dados gravimétricos e magnéticos e, por último, a integração dos dados sísmicos com dados de modelos pré-existentes e campos potenciais. O processamento dos dados gravimétricos e magnéticos consistiu numa das etapas mais complexas, uma vez que foi necessário aplicar uma série de filtros que permitiram quer atenuar como realçar os sinais, permitindo uma interpretação dos dados mais eficiente. As definições geofísico-estruturais efectuaram-se tendo por base vários métodos matemáticos, os quais permitiram realçar as anomalias de campos potenciais, tais como: análise de semi-variograma, análise espectral, inclinação do sinal analítico (tilt derivative), filtro passa baixa, gradiente horizontal, interpolação e deconvolução de Euler.

A análise de semivariograma permitiu compreender os campos potenciais, levando ao estabelecimento dos processos tanto à escala regional como à escala local. A análise espectral implicou o desenvolvimento de várias etapas antes e após a aplicação do filtro seleccionado, durante as quais é gerado um espectro de potência radial médio dos dados em cada uma das bacias, segundo a técnica de Spector & Grant (1970). Esta análise permitiu escolher os intervalos de número de ondas k , em ciclos/graus decimais, dando maior destaque aos sinais relacionados com as formações geológicas profundas, ou seja, baixa frequência e comprimento de onda longo. Posto isto, as frequências resultantes da análise espectral foram: 1) campo gravimétrico corrigido de ar-livre (Sandwell & Smith, 2009) (Figura 2), 1.1) Bacia do Congo ($1/1000 \approx 0.0011$ (Número

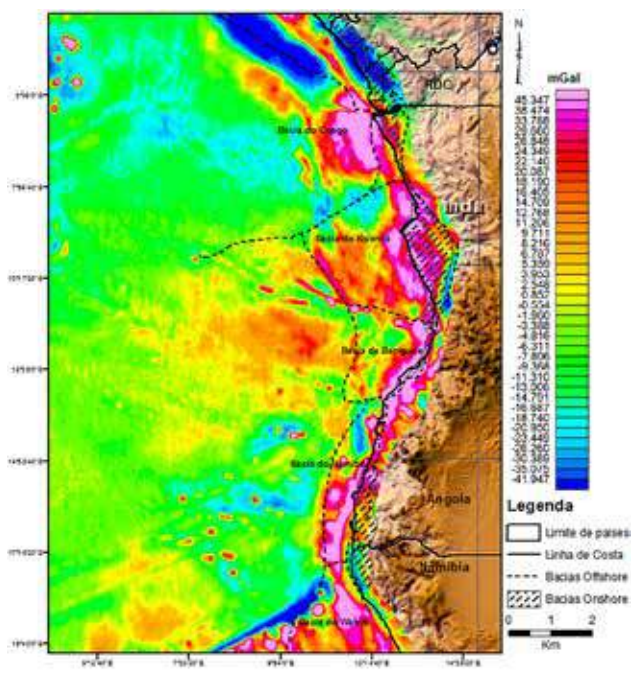


Figura 2: Campo gravimétrico corrigido de ar-livre, bacias costeiras de Angola (Sandwell & Smith, 2009)

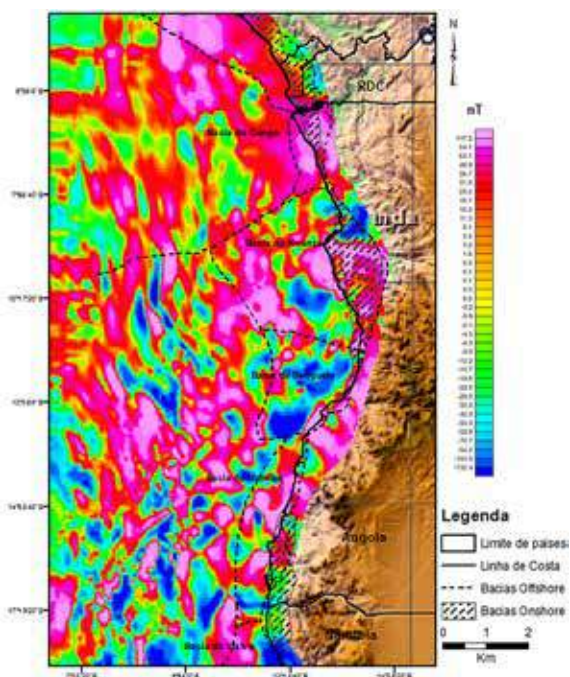


Figura 3: Campo magnético reduzido ao pólo (declinação magnética $\approx -5,9^\circ$; inclinação magnética $\approx 49,20^\circ$), bacias costeiras de Angola.

de onda k (ciclos/graus decimais)), 1.2) Bacia do Kwanza ($1/700 \approx 0.00143$ (Número de onda k (ciclos/graus decimais))), Bacia do Namibe ($1/900 \approx 0.0011$ (Número de onda k (ciclos/graus decimais))); 2) campo magnético reduzido ao polo (Maus, 2009) (Figura 3), 2.1) Bacia do Congo ($1/800 \approx 0.00125$ (Número de onda k (ciclos/graus decimais))), 2.2) Bacia do Kwanza ($1/1800 \approx 0.00056$ (Número de onda k (ciclos/graus decimais))), 2.3) Bacia do Namibe ($1/1000 \approx 0.001$ (Número de onda k (ciclos/graus decimais))).

O filtro passa-baixa foi utilizado para minimizar os efeitos de fontes rasas, próximas à superfície, permitindo realçar o efeito das fontes profundas, provenientes do soco subjacente à coluna sedimentar, no qual foi aplicado aos dados gravimétricos (Figura 4) e magnéticos (Figura 5).

O gradiente horizontal total foi usado para melhorar a identificação de bordaduras de corpos anómalos, em dados de

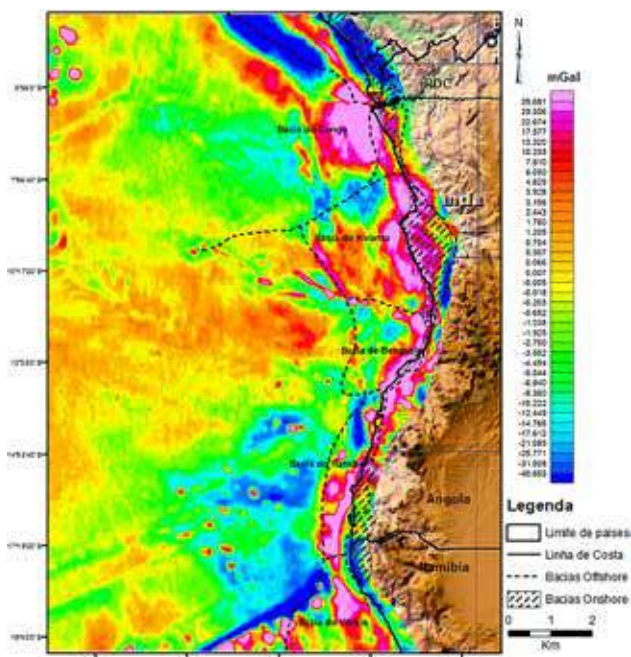


Figura 4: Campo gravimétrico corrigido de ar-livre, filtro passa baixa ($1/866,6 \approx 0,0011$ (número de onda k (ciclos/graus decimais))); interpolação por krigagem. Efeito do filtro mercado a círculos pretos, bacias costeiras de Angola.

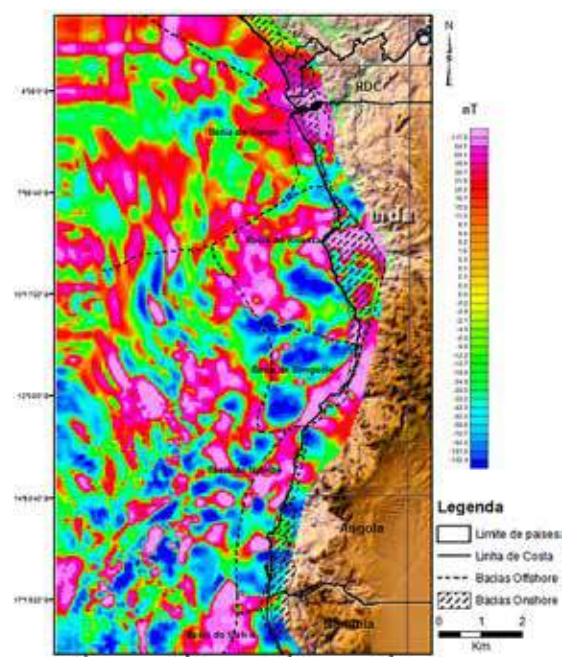


Figura 5: Campo magnético reduzido ao pólo (declinação magnética $\approx -5,9^\circ$; inclinação magnética $\approx 49,20^\circ$), filtro passa baixa ($1/1200 \approx 0,00083$ (número de onda k (ciclos/graus decimais))), interpolação por krigagem, bacias costeiras de Angola.

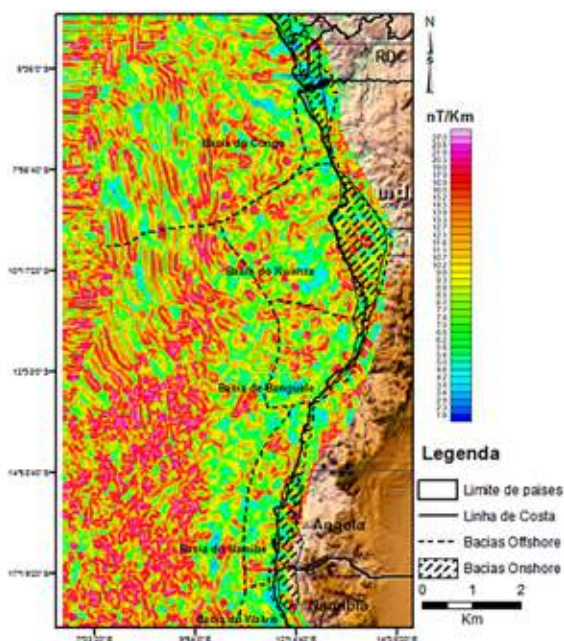


Figura 6: Campo magnético, reduzido ao polo (declinação magnética $\approx -5,9^\circ$; inclinação magnética $\approx 49,20^\circ$), filtro gradiente horizontal, bacias costeiras de Angola.

campo potencial (Cooper e Cowan, 2008). Assim sendo, quando o gradiente horizontal de uma anomalia é medido avaliam-se as mudanças abruptas das propriedades físicas, as quais variam lateralmente (Figura 6).

A inclinação do sinal analítico (Miller & Singh, 1994) baseia-se na razão entre a derivada vertical (VDR) e a derivada horizontal total (THDR). Este método tem como objectivo normalizar a primeira derivada em relação à

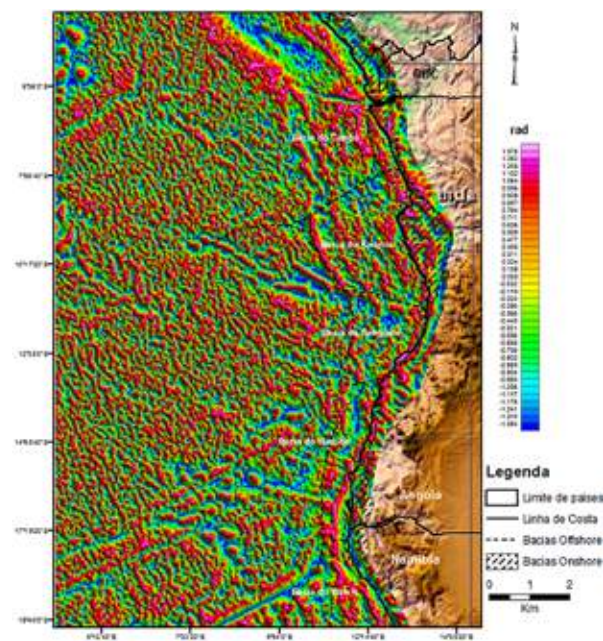


Figura 7: Inclinação do sinal analítico, aplicada ao campo gravimétrico corrigido de ar-livre, bacias costeiras de Angola.

segunda derivada dos dados de campo potências, reduzindo para zero (0) o valor do campo sobre as proximidades dos limites dos corpos (Figuras 7 e 8).

A interpolação permite determinar o valor de um ponto não amostrado, a partir de valores de pontos amostrados, sendo por isso utilizado com o objectivo de transformar dados discretos, com cobertura em pontos aleatórios, em uma malha mais regular, a partir da qual se pode com-

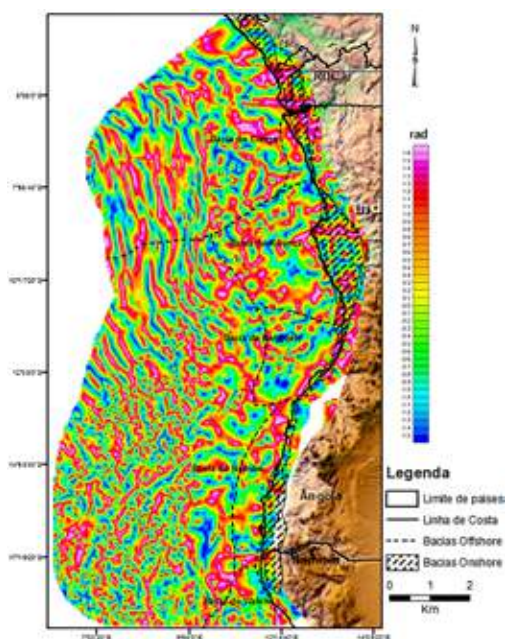


Figura 8: Inclinação do sinal analítico, aplicada ao campo magnético reduzido ao polo, bacias costeiras de Angola.

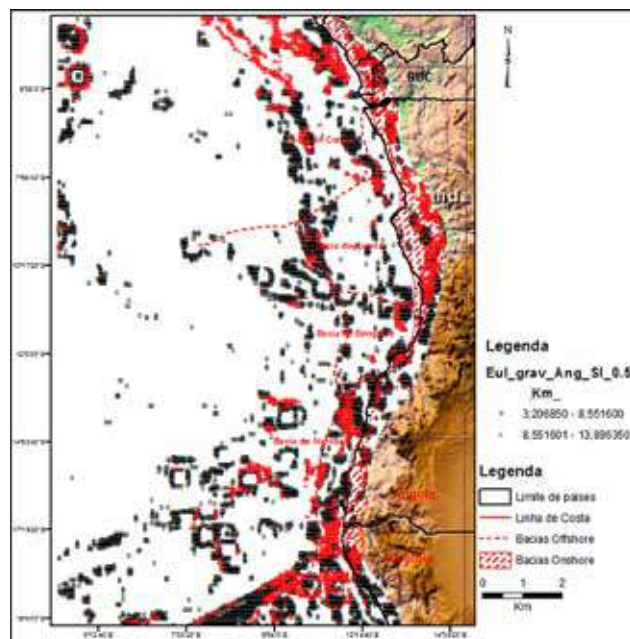
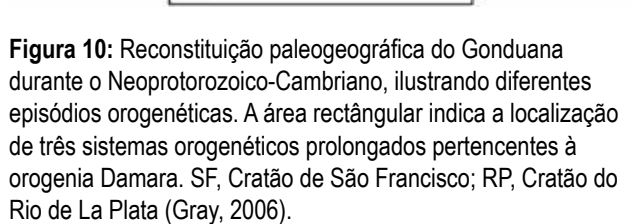
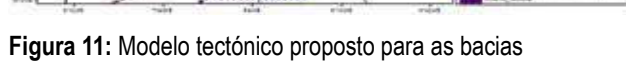


Figura 9: Estimativas de profundidade aplicadas ao campo gravimétrico corrigido de ar-livre, soluções de Euler (índice estrutural = 0,5, que realça os diques), bacias costeiras de Angola.

RESULTADOS E DISCUSSÃO



Assim sendo, foi possível estabelecer os principais episó-



Adicionalmente, e tendo como suporte as correntes

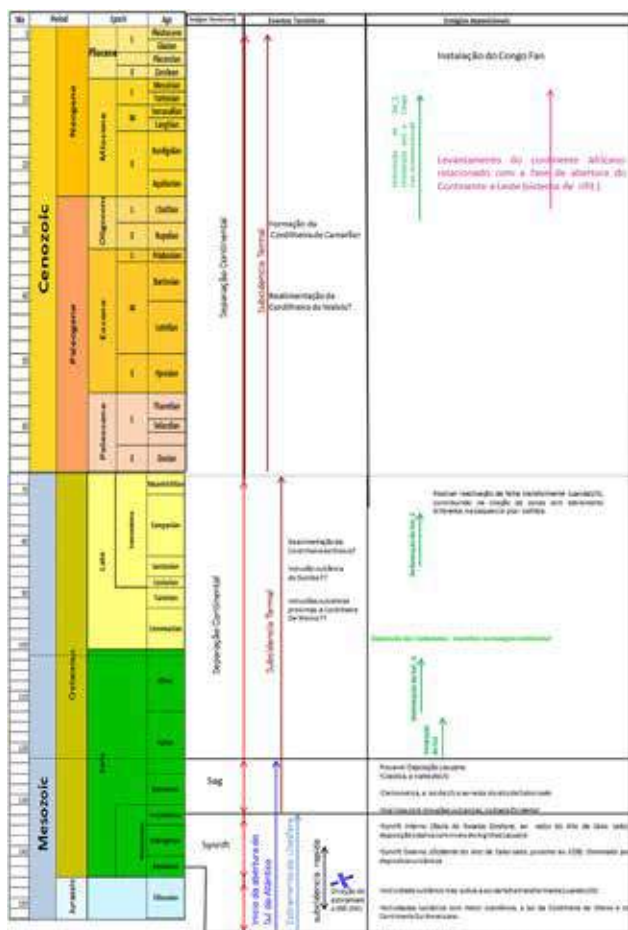


Figura 12: Modelo tectónico-estratigráfico proposto para as bacias costeiras de Angola.

criação de horts, grabens e lagos pouco profundos; 2) sin-rifte (Berriasiano - final do Valangiano), o qual é caracterizado pelo aumento do estiramento da litosfera marcado pela subsidência rápida das bacias, e depositando-se preferencialmente rochas clásticas e vulcânicas; 3) fase sag (Hauteriviano - início do Aptiano), momento em que o estiramento atingiu o seu limite elástico, provocando a ruptura da litosfera causando, consequentemente, a subsidência térmica da astenosfera, verificando-se deposição lacustrina com predominância de rochas clásticas, carbonatadas e argilas; 4) separação continental (Aptiano - Pleistocénico), tendo sido identificado os seguintes fenómenos geológicos: formação do Sal (Aptiano), relaxamento térmico da astenosfera (correspondente à fase transgressiva) permitindo a deposição dos carbonatos marinhos (final do Albiano), possível reativação de falhas (final do Cretácico), uplift em terra e afundamento em mar provavelmente influenciado pelo sistema de rift no Leste de África (final do Oligocénico).

CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu atingir uma série de conclusões nomeadamente:

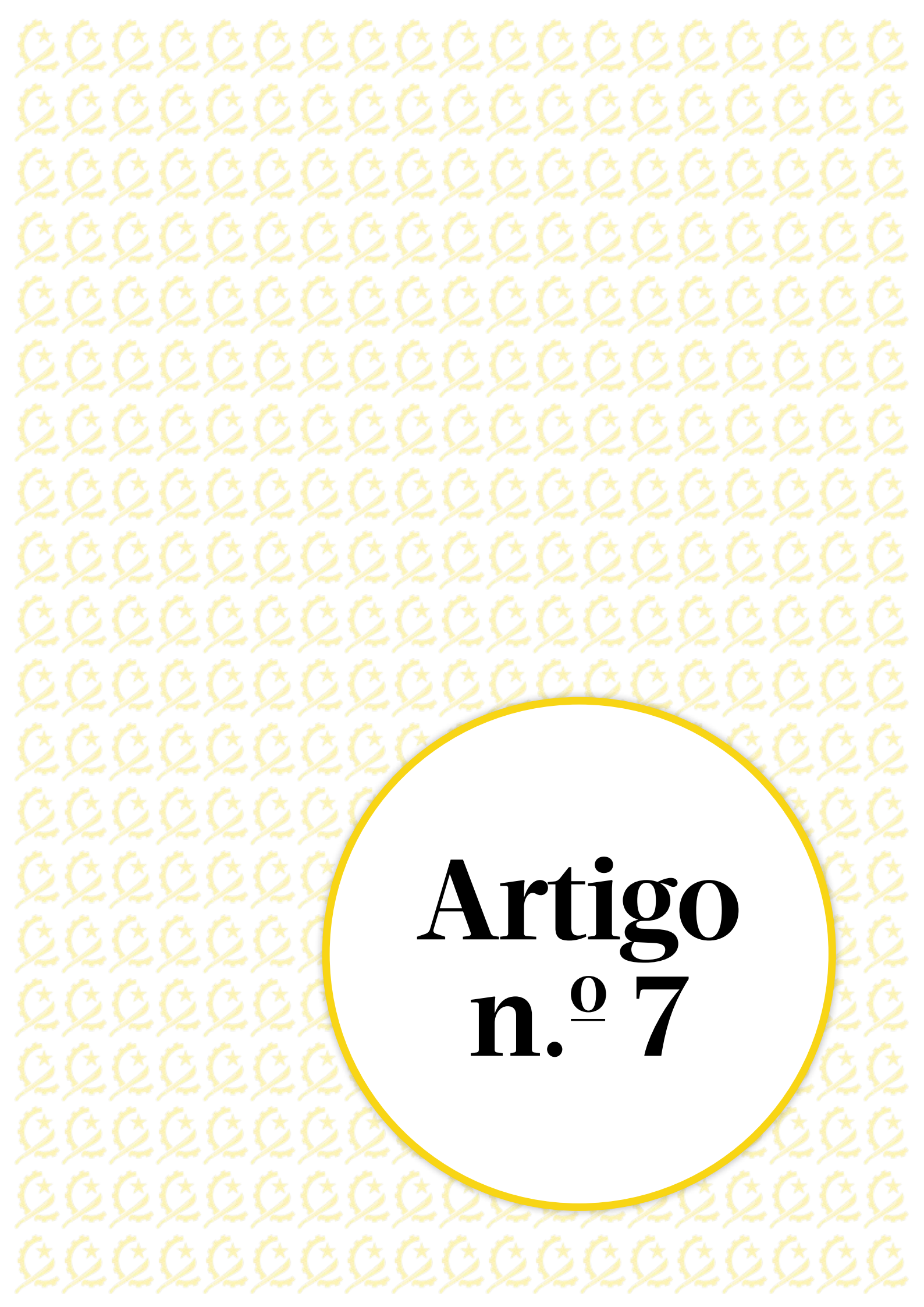
- A interrupção do adelgaçamento da Crosta, devido à mudança do epicentro de tensão (stress), face à competência e composição do material, levou ao aparecimento de falhas transformantes de direcção NNE-SSW, bem como de três margens, a saber: passiva, transição e super-transformante.

- As mudanças nos tipos de bacias e nos ambientes de sedimentação, do Jurássico tardio ao Terciário, foram controladas principalmente pelos diferentes regimes e intensidades tectónicas, subsidências, bem como pelas flutuações do nível do mar. De facto, os movimentos tectónicos que ocorreram no interior dessas bacias, embora acentuadamente arrefecidas em relação ao Cretácico e Terciário, ainda continuam activos.

- O basculamento mais intenso ocorrido ao nível do Continente Africano verificado durante o final do Oligocénico início do Miocénico, encontra-se provavelmente, relacionado com a fase de abertura do Continente Africano a Leste (sistema de rifte), resultando no desenvolvimento de processos de uplift em terra que coadjuvado pela carga sedimentar levou ao afundamento em mar, na zona Oeste de África.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Anka, Z., Seranne, M., Lopez, M., Scheck-Wenderoth, M., Savoye, B. *The long-term evolution of the Congo deep-sea fan: a basin-wide view of the interaction between a giant submarine fan and a mature passive margin (ZaiAngo project)*. *Tectonophysics* 470 (1-2), 42-56. 2009
- [2] Brownfield, M. E. and Charpentier, R.R. *Geology and Total Petroleum Systems of The West-central Coastal Province (7203), West Africa*. U.S. Geological Survey Bulletin 2207-B, 1-52. 2006.
- [3] Cooper, G. R. J., Cowan, D. R. *Edge enhancement of potential field data using normalized statistics*. *Geophysics*. vol. 73, no. 3, H1-H4. 2008
- [4] Miller, H. G., Singh, V. *Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources*. *Journal of Applied Geophysics*. 32(2-3): 213-217. 1994
- [5] Sandwell. T., W. Smith. *Marine gravity anomaly from Geosat and ERS-1 satellite altimetry*, *J. Geophys. Res.*, 102, 10,039– 10,054
- [6] Spector, A., Grant. F.S. *Statistical models for interpreting aeromagnetic data*, *Geophysics*, 35, 293-302. 1997
- [7] Maus, S., Barckhausen. U., Bournas. N. *Emag2: a 2-arc min resolution earth magnetic anomaly grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements*.
- [8] Gray, D. R., D. A. Foster, B. Goscombe, C. W. Passchier, and R. A. J. Trouw, 2006. *⁴⁰Ar/³⁹Ar thermochronology of the Pan-African Damara Orogen, Namibia, with implications for tectono-thermal and geodynamic evolution*. *Precambrian Research* 150, p 49-72.



Artigo n.º 7

Identificação das unidades litoestratigráficas da Bacia Hidrográfica do Cuvelai com apoio em imagens do Satélite Landsat 8

Caso de estudo - município de Ombadja - Cunene

Identification of the lithostratigraphic units of the Cuvelai River Basin supported by images from the Landsat Satellite 8

Case study - Ombadja municipality – Cunene

Américo da Mata Lourenço Victorino¹

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Departamento de Geologia, Avenida 4 Fevereiro, n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: amevictorino@yahoo.com.br.

CITAR COMO:

Victorino, A. D. M. L.
Identificação das unidades litoestratigráficas da Bacia Hidrográfica do Cuvelai com apoio em imagens do Satélite Landsat 8. Caso de Estudo - Município de Ombadja - Cunene. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 70-76

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 29/04/2020

Aceito: 12/06/2020

*Autor correspondente:

Américo da Mata Lourenço Victorino (e-mail: amevictorino@yahoo.com.br)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

O autor declara que não há conflitos de interesses

Resumo: O presente artigo é parte integrante do projecto de doutoramento a ser realizado no município de Ombadja, que ocupa uma superfície de aproximadamente 12.370 Km² da província do Cunene o qual está integrado na bacia hidrográfica do Cunene e do Cuvelai. O objectivo é o de determinar as unidades lito-estruturais presentes no município de Ombadja. A metodologia utilizada obedeceu o pré-processamento, processamento, a álgebra de imagens (criação de rácios e índices) das imagens de satélite. A combinação R7G5B3, foi a mais utilizada para a identificação e descrição das unidades geológicas e como resultado foram reconhecidas e um total de vinte e oito (35) unidades geológicas destacando-se a presença das areia de tonalidades amarelo-ocre do Calaári superior ocupando 28,15% (4638,64 km²) e as areias finas com lentículas de pequenos seixos, silte e argila do sistema paleo-Cunene com quase 50% da área total (7380,65 km²) respectivamente.

Palavras-chave: Geologia, teledetecção, combinação de bandas, álgebra de mapas, Ombadja.

ABSTRACT: This article is an integral part of the doctoral project to be carried out in the municipality of Ombadja, which occupies an area of approximately 12,370 km² in the province of Cunene which is integrated in the hydrographic basin of Cunene and Cuvelai. The objective is to determine the litho-structural units present in the municipality of Ombadja. The methodology used followed the pre-processing, processing, image algebra (creation of ratios and indices) of satellite images. The combination R7G5B3, was the most used for the identification and description of the geological units and, as a result, a total of twenty-eight (35) geological units were recognized, highlighting the presence of yellow-ocher sand from the upper Calaári occupying 28, 15% (4638.64 km²) and fine sands with small pebble lentils, silt and clay from the paleo-Cunene system with almost 50% of the total area (7380.65 km²) respectively.

Keywords: Geology, remote sensing, band combination, map algebra, Ombadja.

Tabela 1. Descrição geológica das Folhas Sul E-33/C e I - IGEO – 2019 (RGB 6/7, 6/5, 4/2)

Nº	Caracterização geológica das unidades geológicas presentes na área de estudo
1	Um conjunto de rochas metamórficas de idade Paleoproterozóica constituído pelos ortognaisses quartzo-feldspáticos de Ruacanã, pertencentes ao Complexo de Epupa.
2	Um conjunto de rochas ígneas granitoides Paleoproterozóicas intrusivas no Complexo anterior, que com base na sua composição geoquímica e nas relações com a deformação Eburneana agrupam-se em sin-, tardi- e pós-tectónicas.
3	Um conjunto de rochas gabbroicas e anortositicas Mesoproterozóicas do Complexo Gabro Anortositico do Cunene, com o qual estão temporalmente relacionadas com um conjunto de rochas graníticas.
4	Metassedimentos supracorticais Mesoproterozóicos da Formação Cahama-Otchinjau
5	Os arenitos da Formação Nabis do Grupo Nosib do Supergrupo de Damara de idade Neoproterozóica.
6	Depósitos glaciogénicos da Formação Dwyka do Supergrupo Karroo de idade Pérmica inferior.
7	As rochas sedimentares siliciclásticas continentais do Grupo Calaári de idade Cenozóica.
8	Depósitos relacionados com os sistemas fluvio-deltaicos dos rios Cunene, Cubango e Cuvelai.

ESTRATIGRAFIA

Os trabalhos de cartografia geológica na região de estudo acima mencionados permitiram distinguir oito conjuntos litológicos principais (Tabela 1) apresentados do mais antigo ao mais recente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Metodologia de tratamento, interpretação e classificação das imagens de satélite da área de estudo (Tabela 1) objectivou a extração de informações relativas aos objectos geológicos e estruturais identificáveis na imagem tais como: contactos, falhas, zonas de cisalhamento, formações geológicas, zonas de alteração, etc. A Figura 3 apresenta o fluxograma simplificado da metodologia adoptada para esta pesquisa:



Figura 3: Fluxograma metodológico simplificado



Figura 4: Aquisição de imagens Landsat.

Fonte: <https://libra.developmentseed.org/>

Os equipamentos e programas utilizados foram: Estação de trabalho HP Z1, imagens do sensor LANDSAT-8 (Tabela 1) e os Softwares de teledeteccção remota e de código aberto, nomeadamente o QGIS (Plug-in de classificação semi-automática) e ao SAGA-GIS.

As imagens do sensor LANDSAT-8 utilizadas constam de 8 cenas (tabela 1 e Tabela 2), encontram-se no formato GeoTIFF. As referidas imagens correspondem a órbita 219, pontos 72, 73, 76 e 78, com data de passagem em 19 de Junho de 2019. Para tal, na área geográfica de estudo foram utilizadas 4 cenas (Figura 4 e Tabela 2), adquiridas pelo sensor Operational

Land Imager (OLI) do satélite Landsat 8 (Tabela 3). As imagens Landsat 8 estão corrigidas geometricamente (Nível 1 T- Correccção de Terreno) e foram obtidas, com a menor percentagem possível de nuvens entre (0,00% e 0,15%) durante a estação seca.

Para o registo das referidas imagens e extracção das informações básicas como rede viária e rede de drenagem foram utilizadas como base de apoio as cartas topográficas do IGCA – Instituto Geográfico e Cadastral de Angola, escala 1:100.000, Folhas números 400, 401, 402, 421, 422, 423, 444, 445 e 446 (Angola, 1956).

Tabela 2. Descrição das cenas Landsat OLI utilizadas.

Faixa-Linha	Data de aquisição	Cobertura de nuvens %	Qualidade da imagem (em 10) OLI	Elevação do Sol
181-71	21/07/2013	0	9	43,1
181-72	21/07/2013	0,1	9	41,87
180-71	14/07/2013	0	9	42,27
180-72	14/07/2013	0,01	9	41,02
179-71	23/07/2013	0	9	43,39
179-72	23/07/2013	0	9	42,16
178-71	16/07/2013	0,01	9	42,48
178-72	16/07/2013	0	9	41,23

Tabela 3. Landsat 8 – Bandas espectrais ópticas (OLI, 1 a 9) e térmicas (TIRS, 10 e 11)

Bandas Espectrais	Características	Extensão de banda (µm)	Resolução espacial (m)
Banda 1	Costeira/Aerosol (Coastal/Aerosol)	0,435 - 0,451	30
Banda 2	Azul (Blue)	0,452 - 0,512	30
Banda 3	Verde (Green)	0,533 - 0,590 30	30
Banda 4	Vermelho (Red)	0,636 - 0,673	30
Banda 5	IVP (NIR)	0,851 - 0,879 30	30
Banda 6	IVOC1 (SWIR1)	1,555 - 1,651	30
Banda 7	IVOC2 (SWIR2)	2,107 - 2,294 30	30
Banda 8	Pan	0,503 - 0,676	15
Banda 9	Cirrus	1,363 - 1,384 30	30
Banda 10	IVT1 (TIRS1)	10,60 - 11,19	100
Banda 11	IVT2 (TIRS2)	11,50 - 12,51 100	100

RESULTADOS

Para calcular a reflectividade da superfície, estimou-se a transmissividade da atmosfera (descendente e ascendente), a irradiância difusa e a radiância atmosférica devida à dispersão. O efeito da atmosfera não é constante na imagem, mas determinadas zonas podem ter sido mais afectadas, em função da presença de aerossóis e vapor de água.

As correcções atmosféricas foram calculadas pelo método de correcção para dados multiespectrais e hiperespectrais que apresentaram óptimos resultados no visível, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta (Figura 5). Determi-

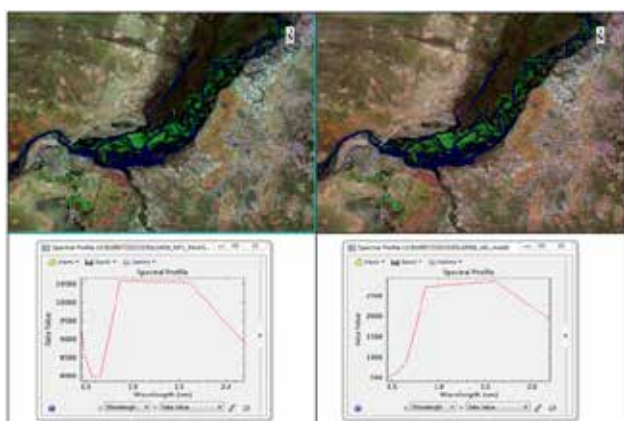


Figura 5: Cena original sem correcções atmosféricas (esquerda) e corrigida (direita) em composição colorida RGB

naram-se os parâmetros de correcção directamente do pixel observado na cena, sem informação auxiliar. Foram recolhidas amostras estatisticamente representativas de no mínimo 10 materiais diferentes numa cena.

Para extracção de informação relativa à presença de água em imagens multiespectrais existem vários índices disponíveis baseados no comprimento de onda que permitem evidenciar a água visível. No presente caso de estudo foi testado o Modified Normalised Difference Water Index (MNDWI) por Xu (2006):

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

Onde: Green (Verde) corresponde à banda 3 e SWIR (Infravermelho médio de onda curta) à banda 6.

O MNDWI resultante varia entre valores de -1 e 1, tipicamente os valores superiores a zero indicam a presença de água. Este índice foi calculado por cena Landsat 8. As imagens resultantes variam entre valores de -1 e 1, onde tipicamente os valores superiores a zero indicam a presença de água (Figura 6). A validação dos corpos de água foi realizada com base nas composições coloridas das bandas, RGB:543, que diferenciam a água em:

- Zonas de água limpa, representadas com tons azuis-escuros a preto;
- Zonas de água rasa ou com sedimentos, representadas a azul claro.

O Índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) evidenciou valores altos na parte norte do município e na proximidade das linhas de água, onde a vegetação apresenta-se vigorosa. A maior parte do município apresenta valores médios densidade vegetal na ordem de (-1 a -0,3) correspondendo a solos com ausência de vegetação (Figura 7).

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) que é uma medida da vegetação verde saudável:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

No sensor OLI do Landsat 8, corresponde à banda 5 (NIR) e à banda 4 (Red).

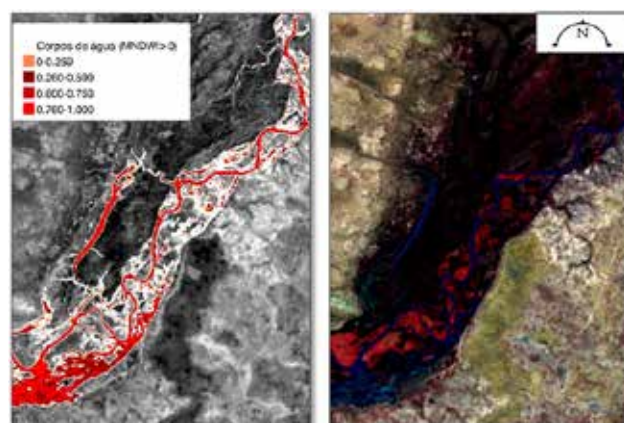


Figura 6: Sector inferior do Rio Cunene – Lado Esquerdo – Corpos de água identificados pelo algoritmo MNDWI. lado Direito – Composição colorida das bandas OLI 543.

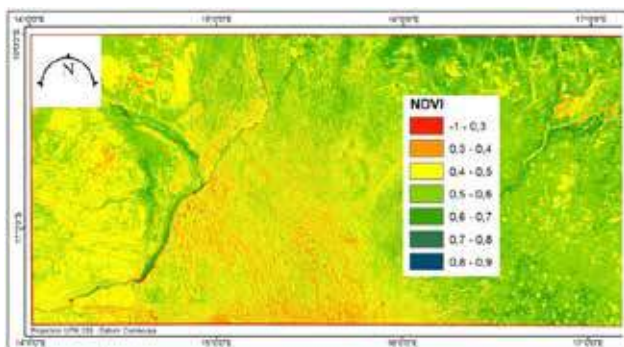


Figura 7: Índice de Vegetação Normalizado (NDVI) convertido em escala de cor – (Américo Victorino, 2020)

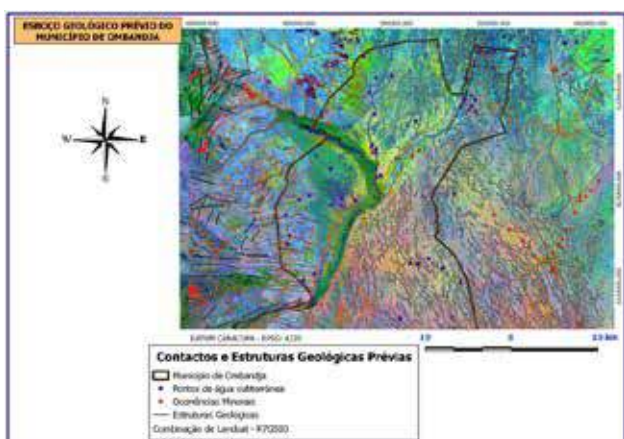


Figura 8: Segmentação dos raios (RGB 6/7, 6/5, 4/2) – (Américo Victorino, 2020)

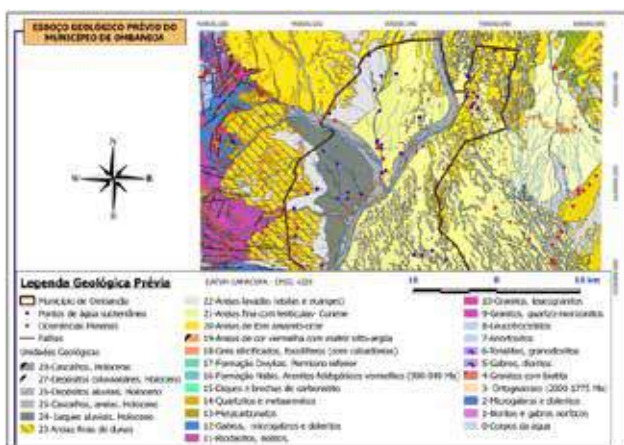


Figura 9: Mapa final – Descrição prévia da Litologias presente na área de estudo – (Américo Victorino, 2020)

O NDVI varia entre valores de -1 e 1; com o limiar crítico para coberturas vegetais em torno de 0,2- 0,3 e para a vegetação > 0,6. Aplicando uma escala de cor ao índice NDVI (Figura 8.12 e Figura 8.13), evidenciam-se valores altos (em cor verde) no bordo N, na metade oriental do bloco e na proximidade da existência de linhas de água, onde a vegetação pode ser significativamente vigorosa. Valores médios a baixos de vigor vegetal ou com pouca densidade estão representados em tons amarelo-alaranjados, onde os valores mais baixos (-1

a - 0,3, a vermelho) correspondem a solos descobertos (sem vegetação) ou a água.

A combinação dos raios (RGB 6/7, 6/5, 4/2) destacaram-se na área os tons avermelhados coincidentes com zonas de vegetação densa, os tons verdes brilhantes e finalmente as areias do calahari identificadas com os tons amarelo-rosados (Figura 4). Na cena Landsat 180-071 correspondendo as folhas com números 400, 421, 422, 444 e 445, foram reconhecidas vinte e oito (28) unidades geológicas particularizadas da seguinte forma: a unidade de Areia de tom amarelo-ocre do Calaári superior com 28,15% da área total da carta e equivalente a 4638,64 km², seguidamente a unidade areia fina com lenticulas de pequenos seixos, silte e argila do sistema paleo-Cunene do Calaári remobilizado com 19,79% da área total da carta 3261,32 km² e a unidade depósitos de cobertura areno-argilosos com 12,56% da área total da carta 2070,11 km². Já na cena Landsat 180-072 correspondendo as folhas com números 401, 402, 423 e 446, foram identificadas nove (9) unidades geológicas, sendo de maior extensão as unidades sedimentares associadas ao ciclo do Calahari remobilizado sendo elas: a unidade areia fina com lenticulas de pequenos seixos, silte e argila do sistema paleo-Cunene com quase 50% da área total da folha (7380,65 km²), seguida da unidade areias e argilas do delta do Cuvelai com 14,63% (2402,03 km²) tal como se verifica na (Figura 5).

DISCUSSÕES

Pré-processamento das Imagens de Satélite

Nesta fase corrigiram-se os valores de calibração do sensor para cada banda, fiada e ângulo zenital solar, bem como os modelos atmosféricos correspondentes;

Correcção radiométrica

Foram feitas correções matemáticas para a obtenção de magnitudes física e atmosfera dos dados (Adler-Golden, 2006). Esta variável é a reflectividade aparente. Define-se reflectividade como a relação entre a energia reflectida e a incidente, e esta varia entre valores de 0 e 1, onde os valores 0 correspondem a superfícies totalmente absorventes, e os valores 1 a superfícies perfeitamente reflectoras.

Correcção atmosférica

Para calcular a reflectividade da superfície, é necessário estimar a transmissividade da atmosfera (descendente e ascendente), a irradiância difusa e a radiância atmosférica devida à dispersão (Bernstein, 2005). Os procedimentos para abordar estas correções com exactidão são trabalhosos e requerem dados sobre as condições da atmosfera no momento da aquisição da imagem, que é difícil estarem disponíveis. O efeito da atmosfera não é constante na imagem, mas determinadas zonas podem ter sido mais afectadas, em função da presença de aerossóis e vapor de água.

Composições coloridas

No presente estudo prévio da geologia da área, foi utilizado o mosaico de uma série de combinações de “falsa cor” (Engesat) as quais citam-se: A composição R7G5B3 apresentou óptimos resultados, permitiu a identificação com o detalhe necessário

e suficiente para diferenciação da vegetação e dos principais contactos litológicos presentes na região.

Rácios e índices de bandas espectrais

As diferentes bandas quando combinamos algebricamente entre si permitiram a determinação dos minerais de argila, ferro, óxidos de ferro (Drury, 1987) e as zonas que se verificam os índices de água, pelo que são descritos a seguir:

Minerais de Argila

O rácio de minerais de argila destacou na área de estudo as rochas alteradas hidrotermalmente que confinam minerais de argila e alunite. Este rácio resulta da equação 1:

$$\text{Relação de minerais de argila} = \frac{(\text{SWIR1 banda 6})}{(\text{SWIR2 banda 7})}$$

Equação 1 - rácio de minerais de argila

Onde: — Infravermelho médio de onda curta 1

(SWIR1): 1,55-1,75 μm

— Infravermelho médio de onda curta 2

(SWIR2): 2,08-2,35 μm

Minerais de ferro

Este rácio de minerais ferrosos realçou as rochas que apresentaram na sua composição mineralógica elevadas percentagens de ferro. Ele resulta da equação 2:

$$\text{Ferrous Minerals Ratio} = \frac{(\text{SWIR bandas 6})}{(\text{NIR bandas 5})}$$

Equação 2 - rácio de minerais ferrosos

Onde: — Infravermelho próximo (NIR)

— Infravermelho médio de onda (SWIR)

Índice de água com diferença normalizada (NDWI)

Para a identificação dos locais com presença de água foi utilizado o índice NDWI de (Pereira, 2018) baseado no comprimento de onda o qual permite que se evidencie na região a água existente e distribuída espacialmente de forma aleatória na superfície da região em estudo. Para tal foi utilizada equação seguinte:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Verde (bandas 3)} - \text{SWIR bandas 6}}{\text{Verde (bandas 3)} + \text{SWIR bandas 6}}$$

Equação 3 - Rácio para extracção de relativa à presença de água

Onde: — Infravermelho próximo (NIR)

— Infravermelho médio de onda (SWIR)

Referindo-se à escala comparativa dos valores do NDWI quando enquadrados na escala de <0,3→Sem água e >0,3→Água (McFeeters, 2013) e tendo sido obtidos a partir da equação 4, os valores obtido da área de estudo variam entre de -1 e 1, permitindo desta forma classificarem-se as áreas com presença de água.

Índice de vegetação (Normalized difference vegetation index)

O (NDVI) visando realizar o mapeamento das zonas

que possuem a vegetação saudável e por correlação os locais com elevada possibilidade de acumulação de água (Santoro, 2020):

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR banda 5}) - (\text{Vermelho (banda 4)})}{(\text{NIR banda 5}) + (\text{Vermelho (banda 4)})}$$

Equação 4 – Índice Normalizado de Vegetação (NDVI)

Onde: — Infravermelho próximo (NIR)

CONCLUSÕES

Por este facto o autor tem a destacar enumerando as principais conclusões do presente trabalho:

O Escudo do Congo Sudoeste, que foi um domínio Arcaico-Paleoproterozóico sujeito aos processos tectono-metamórficos relacionados com o episódio Eburneano. Uma vez estabilizado, o Escudo de Angola a ~1800-1750 Ma com a cessação da orogenia Eburneana, durante o Mesoproterozóico ocorreu um evento tectono-magmático intraplaca no qual se localizaram de forma coetânea magmas bimodais a ~1.375 Ma sob um regime extensional (Tack et al., 2010).

As rochas sedimentares siliciclásticas do Grupo Calaári e os depósitos terrígenos fluviais recentes dos conjuntos foram sedimentados no Cenozóico, como parte do preenchimento da Bacia intracratónica do Calaári, também denominada regionalmente como do Congo foram convenientemente identificadas e mapeadas a partir da metodologia proposta.

A utilização das imagens Landsat (banda R7G5B3) resultou apropriada para o reconhecimento das unidades sedimentares da área de estudo e permitiu que se atingissem os objectivos propostos.

Relativamente ao estudo do cálculo do índice NDWI (índice diferencial de água normalizado) foi possível identificar na zona noroeste (NW) da região de Ombadja as massas de água e zonas de elevada saturação de humidade. Este facto permitirá a execução prioritária de trabalhos prospectivos futuros nesta zona visando a elaboração de um modelo numérico de fluxo de água subterrânea.

Nesse sentido, a utilização das imagens do sensor Landsat 8 permitiu a realização do presente trabalho de forma mais rápida e eficiente. Melhorando além disso, a base bibliográfica para a planificação de trabalhos hidrogeológicos futuros no município de Ombadja.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me ter dado saúde e força para superar as dificuldades. À Universidade e aos meus orientadores, pelo suporte no pouco tempo que lhes coube. À minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado e à todos que directa ou indirectamente contribuíram para a realização do presente trabalho, o meu muito obrigado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Adler-Golden, R. L. (2006). *Improved Reflectance Retrieval from Hyper - and Multispectral imagery without Prior Scene or Sensor Information*.
- [2] Angola, S. G. (1956). *Carta Topográfica de Angola 1:100 000. Carta de Angola 1:100 000 (Cartograma)*. Luanda.
- [3] Araújo, A. e. (1992). *Geologia de Angola. Notícia explicativa 1:1000000*. Luanda.
- [4] Bernstein, L. S.-G. (2005). *Validation of the Quick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm VNIR-SWIR multi-and hyperspectral imagery*.
- [5] Carvalho, H. C. (1987). *The Kibarian Cycle in the SW Angola and its extensions to NE*. 22.
- [6] Carvalho, H. d. (1990). *Gabbro-anorthosite complex of SW Angola/NW Namíbia. Série Ciências da Terra Comunicacoes 2, Instituto de Investigacao Cientifica Tropical, Departamento Ciências da Terra, Lisboa*.
- [7] Drüpel, K. L. (2007). *Petrology and isotopic geochemistry of the Mesoproterozoic anorthosite and related rocks of the Cunene Intrusive Complex, NW Namíbia. Precambrian Research*.
- [8] Drury, S. (1987). *Image Interpretation in Geology. Clay ratios*. London: Allen and Unwin.
- [9] Engesat. (s.d.). <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>. Obtido em 15 de Abril de 2020, de <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>
- [10] Ernst, R. P.-D. (2013). *Mesoproterozoic intraplate magmatic 'barcode' record of the Angola portion of the Congo craton: newly dated magmatic events at 1500 and 1110 Ma and implications for Columbia (Nuna) supercontinent reconstructions. Precambrian Research*.
- [11] McFeeters, S. K. (2013). *Uso do Índice de Água da Diferença Normalizada (NDWI) dentro de um sistema de informação geográfica para detectar piscinas para abatimento de mosquitos: uma abordagem prática. Califórnia Fresno: Remote Sensing*.
- [12] Miller, R. M. (1983). *The Pan-African Damara Orogen of Namíbia. Special Publications of the Geological Society of South Africa, 11, pp. 431-515*.
- [13] Pereira, L. E. (2018). *Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*.
- [14] Rosante, K. (2013). *Evolução termocronológica do Sudoeste do Angola e correlação com o sudeste brasileiro: termocronologia por traços de fissão em apatita. Estado de São Paulo: Univ. Est. Paulista*.
- [15] Santoro, M. A. (17 de Janeiro de 2020). <https://blog.aegro.com.br/indice-de-vegetacao/>. Obtido em 15 de Abril de 2020, de <https://blog.aegro.com.br/indice-de-vegetacao/>
- [16] Sessa, J. C. (2013). *Paleoenvironmental and paleobiogeographical implications of a middle Pleistocene mollusc assemblage from the marine terraces of Baía das Pipas, SouthWest Angola. J. Paleontol.*



Foto: DR



Artigo n.º 8

Construção de secções estratigráficas no litoral de Luanda - Bacia do Kwanza

Construction of stratigraphic sections on the coast of Luanda - Kwanza Basin

João Constantino¹, Horácio Mega Fontes², Simão Vunda³, Cirilo Cauxeiro⁴

¹Geoscientist, Energy Research Resources, Avenida 4 de Fevereiro 71 Luanda, Angola, email: jctino12@hotmail.com and joao.constantino@sonangol.co.ao.

²Master in Geology, Department of Geology Agostinho Neto University (UAN) Avenida 4 de Fevereiro 71 Luanda, Angola, email: megacito@hotmail.com.

³Geophysicist, email: simao.vunda@eni.com.

⁴Department of Geosciences, Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC), Avenida Luanda Sul, Rua Lateral, S10, Talatona, Luanda, Angola, email: circauxeiro@gmail.com.

CITAR COMO:

Constantino, J., H. M. Fontes, S. Vunda e C. Cauxeiro. Construção de secções estratigráficas no litoral de Luanda - Bacia do Kwanza. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 78-87

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 17/5/2020

Aceite: 12/6/2020

***Autor correspondente:**

João Constantino
(e-mail: joao.constantino@sonangol.co.ao)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflictos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: A análise detalhada das Secções Estratigráficas das zonas costeiras nas margens passivas, constitui uma ferramenta ou metodologia importante na interpretação da geologia, dos dados geofísicos, para inferir e calibrar os marcadores geológicos estratigráficos nos trabalhos de prospecção de recursos minerais. Este processo resulta numa primeira fase de um levantamento que permitirá a análise dos reais registos minerais em subsuperfície (hidrocarbonetos, minerais sólidos) e na engenharia geotécnica.

A interpretação das secções estratigráficas construídas nos afloramentos da Fortaleza de São Miguel (actualmente conhecido como Museu das Forças Armadas) e da Zona da Boa Vista em Luanda, foram objecto da correlação local e a sua interpretação permitiu caracterizar a complexa Formação Luanda, composta de múltiplas variações de fácies, sendo o produto de um claro paleo-ambiente entre processos costeiros e plataforma até talude. Estas séries representam o intervalo estratigráfico do Miocénio Superior-Plioceno, na Bacia do Kwanza. Estas Unidades estratigráficas são mapeáveis sismicamente na extensão marítima da zona de estudo e são cobertas pela Formação Quelo do Quaternário-Pleistocénico marcada por uma discordância basal erosiva.

Palavras-chave: Secções Estratigráficas, Afloramentos da Fortaleza de São Miguel e da Boa Vista, Bacia Sedimentar do Kwanza, Estratigrafia do Plioceno, Extensão Offshore.

Abstract: The detailed analysis of the Stratigraphic Sections of the coastal zones in the passive margins, constitutes an important tool or methodology in the interpretation of the geology, of the geophysical data, to infer and to calibrate the stratigraphic geological markers in the prospecting works of mineral resources. This process results in a first phase of a survey that will allow the analysis of the real mineral records in subsurface (hydrocarbons, solid minerals) and in geotechnical engineering).

The interpretation of the stratigraphic sections built in the outcrops of the Fortaleza de São Miguel (currently known as the Armed Forces Museum) and the Boa Vista Zone in Luanda, were the object of local correlation and their interpretation allowed to characterize the Luanda Formation complexity composed of multiple variations of facies, being the product of a clear paleo-environment between coastal processes and continental shelf to the slope.

These series represent the Upper Miocene to Pliocene stratigraphic interval, in the Kwanza Basin. These stratigraphic units are seismically mapped in the offshore extension at the study area and are covered by Quaternary Upper Pleistocene Quelo Formation marked by a basal erosion unconformity.

Keywords: Stratigraphic Sections, Outcrops of the Fortress of São Miguel and Boa Vista, Kwanza Sedimentary Basin, Pliocene stratigraphy, Offshore Extension

INTRODUÇÃO

A Bacia sedimentar do Kwanza é uma das bacias da orla litoral angolana que deverá servir de objecto de estudo nos vários sector que necessitam do seu conhecimento geológico para apresentar soluções a problemas científico e de engenharia geológica, pois ela apresenta ainda varias incertezas sobre as formações geológicas que a constituem, suas variações de fácies, extensão ou continuidade para o Offshore. Por outro lado esta bacia apresenta excelentes expectativas nos trabalhos de pesquisas de recursos naturais, tanto em terra como no mar assim como em trabalhos de geotecnia com objectivo de investigar os locais para assentar infraestruturas, (determinando zonas com sedimentos instáveis, fluxos de sedimentação recente entre outros aspectos da caracterização geológica e geotécnica). Assim o levantamento das secções estratigráficas locais ao longo dos afloramentos presentes na sua faixa litoral podem servir de ferramentas importantes para o suporte nos trabalhos de interpretação geológica nos dados geofísicos que facilitará numa melhor interpretação sísmica e de dados de sonagens.

Nos trabalhos de interpretação sísmica para a exploração de recursos por exemplo é frequente a necessidade de calibrar os marcadores sísmicos aos marcadores geológicos, assim há a necessidade de representar os marcadores a escala das Unidades Cronostratigráficas, como se exemplifica na figura nº1. Isso permite ter, experiências apuradas nas analogias, entre os dados de sondagens, afloramentos e sísmica para representar as litologias antes das sondagens ou perfurações de poços. Este trabalho combinado com a boa pla-

nificação e integração de dados reduz o grau de incertezas e consequentemente a redução de custos, o que é determinante o conhecimento da geologia da bacia. Nas várias áreas da bacia do Kwanza estas incertezas tem sido observado no rastreamento do Plioceno, no entanto está presente nos afloramentos da orla costeira em particular na Fortaleza de São Miguel e da zona da Boa Vista à norte.

As secções estratigráficas construídas mostram representações da Formação Luanda complexa por lhe ser atribuída numerosas variações de fácies sedimentares. A extensão bem como a complexidade das arquitecturas estratigráficas desta Formação geológica é bem visível nas secções sísmicas no Offshore desta zona da bacia; estes todos aspectos, a metodologia apresentada assentam nos objectivos deste trabalho de um caracter científico e académico que debruça-se aos estudos litostratigraficos realizados em dois afloramentos da cidade de Luanda nomeadamente Fortaleza São Miguel (actual Museu das Forças Armadas) e na zona da Boa Vista, na qual foram levantadas as suas secções estratigráficas locais, com objectivos de:

1- Caracterizar e interpretar os fácies sedimentares que constituem as falésias, de modo a estabelecer as suas as relações temporais e correlacioná-los as unidades litostratigráficas da bacia do Kwanza.

2- Correlacionar do ponto de vista de sismoestratigrafia as unidades litostratigráficas aflorantes com os principais marcadores sísmicos mapeados no offshore da bacia do Kwanza, de modo aferir a sua continuidade.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se ao longo do litoral da cidade de Luanda (figura-2) desde a Fortaleza de São Miguel no afloramento de coordenadas (Y = 9022525 m; X = 307500 m) até a zona da Boa Vista com os afloramentos de coordenadas (Y = 9028775 m; X = 313750 m) e (Y = 9028752 m; X = 313970 m) e arredores da sua extensão marítima, conforme é representado no mapa da figura n.º 2 que representa os pontos dos afloramentos estudados.

GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo é parte integrante da unidade tectónico-estrutural denominada bacia do Kwanza geneticamente ligada a abertura a Centro-Sul do Oceano Atlântico durante o Cretácico inferior. Esta Bacia representa a porção segmentada de uma margem controlada particularmente pelo movimento do sal (Brice et al., (1982), Teisserenc & Villemain (1989), Guiraud & Maurin, (1992), Karner & Driscoll (1998)).

Durante o período cenozóico, a parte oriental da bacia foi submetida a uma elevação diferencial global para o sul que levou a erosão de parte dos afloramento actuais ao longo

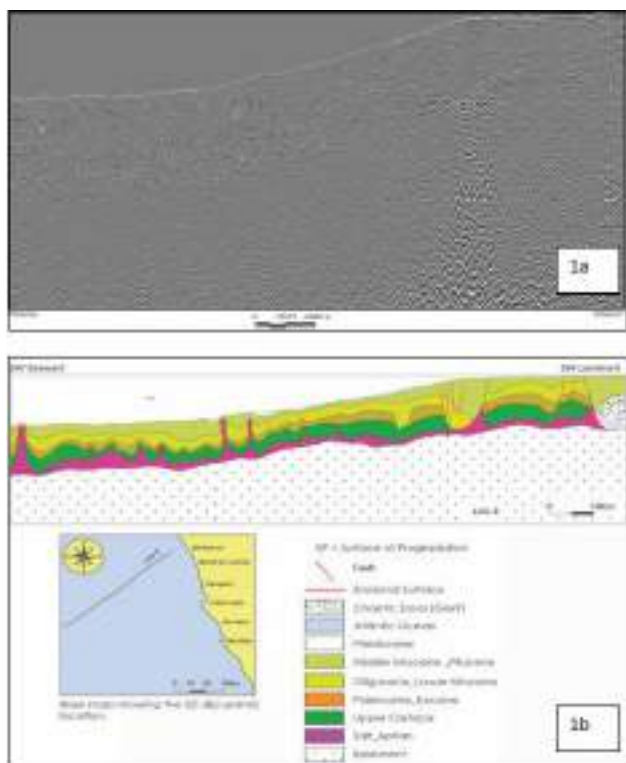


Figura 1: Acima a Secção sísmica 2D no domínio de tempo (PSTM) e em baixo a sua interpretação ilustrando a arquitectura estratigráfica bem como o marcador do Plioceno na porção marítima da Bacia do Kwanza. J.Constantino e C.Caxeiro, Modificado de Caxeiro et al., 2018.

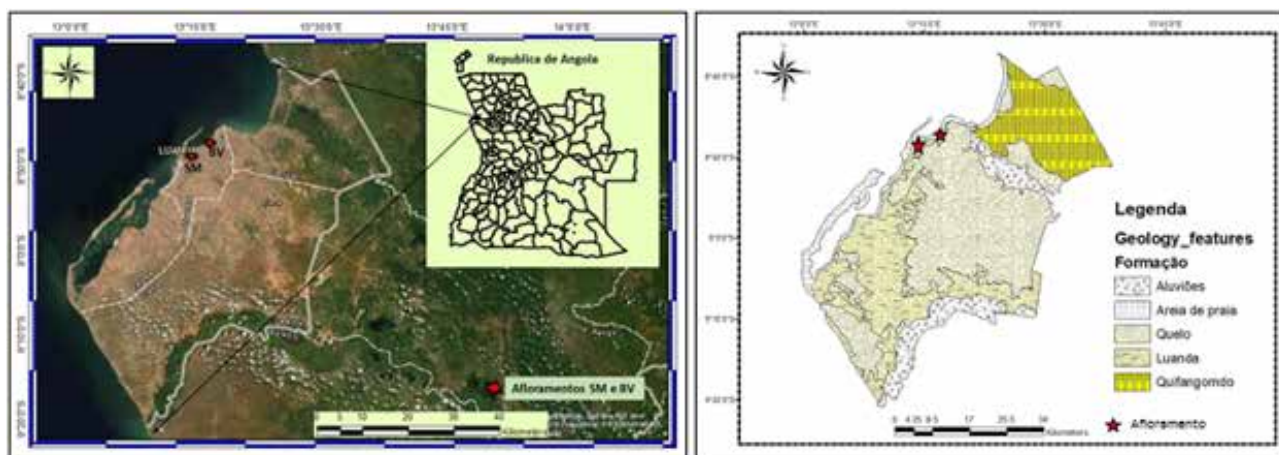


Figura 2: Localização da área de estudo

da zona costeira. Este artigo enfoca as condições para a importância do estudo do Pliocénico na zona norte da Bacia kwanza na base do levantamento de secções estratigráficas locais normalizadas.

Apesar da excelente qualidade dos afloramentos, poucos estudos de campo foram realizados nas áreas de Luanda (C. Cauxeiro et al., 2014; Castellano et al., 2000; Duarte-Morais e Sgross, 1998; Morais et al., 2000; Gabriel, 2006), e, em particular, a idade da série ainda permanece questionável. Além disso, existem alguns dados sísmicos que podem ser interpretados nessa área e ajudaram a definir com precisão a arquitectura global da plataforma continental bem como a geo-história dos diferentes segmentos próximos ao domínio costeiro (Hudec and Jackson, 2002, 2004; Broucke, 2004; Cramez and Jackson, 2000).

LITOLOGIA REGIONAL

Inúmeros trabalhos da caracterização das litologias da Bacia do Kwanza foram publicados dos quais citou-se, a Coluna litostrostratigráfica apresentada pela Comissão de estratigrafia de 1991 o trabalho da Schlumberger Avaliação das Formações

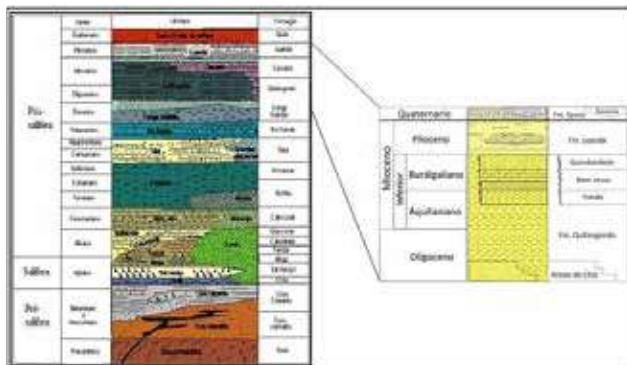


Figura 3: Estratigrafia da Bacia do Kwanza ,Apresentada na conferência internacional GeoLuanda 2000, por M.L. Duarte Morais & I.Sgross editado por M.L.Puntigano, Modificada, J.Constantino e H.M.Fontes, sintetiza a litologia das formações geológicas da bacia do Kwanza.

(WEC, 1991) e a estratigrafia da Bacia do Kwanza apresentado na conferência internacional Geoluanda 2000 no período de 21 e 24 de Maio, por M.L. Duarte Morais & I. Sgross, editado por Maria Luisa Putignano, nesta a apesar de necessitar actualização as unidades litoestratigráficas aparecem nitidamente representadas como se vê na figura nº3.

ASPECTOS DO RELEVO

Os afloramentos estudados (Fortaleza de São Miguel e da área da Boa Vista) localizados na franja litoral de Luanda caracterizados por escarpas que atingem duas dezenas de metros de altura é composta por rochas sedimentares atribuídas as formações geológicas de Luanda e Quelo. O relevo é cortado por pequenos vales com pendentes relativamente suave e abrupta (Boa Vista), escavados por incisões de linhas de água que desaguam no oceano Atlântico.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho do levantamento das secções estratigráficas nos afloramentos de São Miguel e da zona da Boa Vista obedeceu as seguintes etapas :

1ª Percorreu-se a zona estudada para seleccionar as melhores secções estratigráficas que cumpram e caracterizam os seguintes critérios para a selecção de uma zona a investigar:

- Que existam bons afloramentos;
- Que a secção seja a mais completa (contínua) possível;
- Preferencialmente as secções que contenham os limites do intervalo que se vai estudar ou investigar;
- Quando num percurso se observa que há mudanças de fácies devem ser seleccionadas tantas secções que sejam necessárias.

2ª Escolher a escala que se vai usar no levantamento da secção estratigráfica:

- Ter em conta a espessura total do intervalo a representar. Se o intervalo apresenta grandes espessuras (Km) usa-se uma escala grande (1:1000);
- Atender a Uniformidade dos Cortes. Se o Corte observa-se em todos sentidos (uniformemente na vertical e na horizontal) usa-se uma escala de detalhe (1:100 ou 1:500).

- Uma vez seleccionada a escala, então procede-se ao levantamento da secção tomando dois intervalos de acordo com a escala, é recomendável que se tenha uma régua de madeira graduada de um metro (1m).

- Uma vez seleccionado o intervalo, procede-se a caracterização da geologia do intervalo descrevendo:

- a) Litologia
- b) Espessura
- c) Contacto entre as camadas
- d) Texturas observada
- e) Se for necessário tiram-se fotografias

3ª Recolha de amostras ou realizar a amostragem.

A amostragem foi realizada com ajuda de martelo de geólogo, para facilitar a retirada das amostras, embora se trate de rochas a friáveis, essencialmente arenitos, siltitos e argilitos e em alguns casos passagem de argilitos e calcários fossilíferos. Adoptou-se o intervalo de recolha de um metro (1m) para se obter melhor representatividade e com a ajuda da régua graduada com dimensão de um metro se determinou os pontos de amostragem partindo da base ao topo. Os pontos que coincidiram a intervalos com cobertura vegetal, foram designados de em branco ou seja afloramento nulo, como ilustra as secções estratigráficas nas figuras nº 4 e 5.

TRABALHO DE CAMPO

As secções foram organizadas de forma temporal (da base ao topo) representando as unidades estratigráficas diferenciadas composta pelas unidades cronoestratigráficas e as unidades litoestratigráficas aflorantes na área. No centro desta representação gráfica foi colocada os dados de campo num conjunto de elementos que integram a escala vertical, pontos de amostragem, a coluna litológica construída, estrutura de ordenamento interno, a textura, distinção de outros aspectos como os tipos fósseis presentes. A secção é complementada com a interpretação dos ambientes de sedimentação.

DESCRIÇÃO DA SECÇÃO ESTRATIGRÁFICA DA FORTALEZA DE SÃO MIGUEL

Secção S.M.1

(Base ao topo) **De 0-1m:** Areias de cor cinzenta de granulometria fina, encontrando-se oxidadas (limonite) bioturbada. Isto da base ao topo. A 55 cm encontra-se uma descontinuidade erosional ferruginosa. Entre 35-50cm, verifica-se um preenchimento de calcário conquífero (fez efervescência rápida com o ácido clorídrico – HCL). Moldes de bivalves foram encontrados no calcário.

Estrutura: maciça

De 1-2m: Arenitos, pouco consolidados, de cor cinzenta de granulometria fina a grosseira bandeadas com limonite e bioturbadas. No topo encontram-se limitadas por uma descontinuidade erosional ferruginosa.

Estrutura: maciça

De 2-3m: Arenitos, pouco consolidados, de cor cinzenta de granulometria fina com pequenos conglomerados (da base

ao topo). A 55 cm verifica-se uma discordância ferruginosa. A cima dela, encontram-se calcários fossilíferos com 45 cm de espessura.

Estrutura: maciça

De 3-4m: Em branco (não observado) devido a vegetação

De 4-5m: Bancos de calcários fossilíferos com areia (calcarenitos fossilíferos)

De 5-6m: Em branco (não observado) devido a vegetação

De 6-7m: Arenitos, pouco consolidado, compostos por areias de praia de cor cinzentas de granulometria fina a grosseira com níveis de limonite bioturbadas.

Estrutura: maciça

De 7-8m: Arenitos, pouco consolidado, de cor amarela da presença de limonite de granulometria fina a grosseira bioturbadas.

Estrutura: maciça

De 8-9m: Em branco devido a vegetação

De 9-10m: Em branco devido a vegetação

De 10-11m: Calcário fossilífero com 20 cm de espessura (na base), seguidos de arenitos, pouco consolidado, compostos por areias de praia de cor cinzenta com níveis de limonite com matéria orgânica recente.

Estrutura: maciça

De 11-12m: Arenitos, pouco consolidado, compostos por areias de praia de cor cinzenta clara de granulometria muito fina, com níveis de limonite bioturbadas.

Estrutura: maciça

De 12-13m: Arenitos, pouco consolidado, de cor amarelada devido a limonite com nódulos carbonatados e coloração escura indicando a presença de matéria orgânica.

Estrutura: maciça

De 13-14m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta e amarelada devido a limonite de granulometria fina bioturbada.

Estrutura: laminar

De 14-15m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta e amarelada devido a limonite de granulometria fina.

Estrutura: maciça

De 15-16m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta e amarelada devido a limonite de granulometria fina com carbonatos

Estrutura: maciça

De 16-17m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta na base, amarelada no meio e no topo amarela avermelhada, de granulometria fina com calcários.

Estrutura: maciça

De 17-18m: Arenitos, pouco consolidado, avermelhado da formação Quelo com 90 cm de espessura.

A figura nº 4 representa a secção estratigráfica local construída no afloramento 1 na zona da Fortaleza de São Miguel.

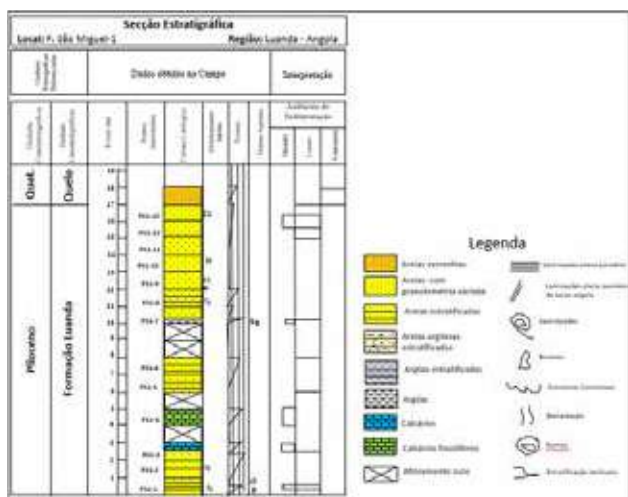


Figura 4: Secção estratigráfica local da fortaleza São Miguel – 1 construída.

Secção S.M. 2

De 0-1m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta clara, amarelada devido a limonite de granulometria fina a grosseira com 65 cm na base. No topo calcário fossilífero 35 cm. A passagem das arenitos, cinzentos a calcário é marcada por uma descontinuidade. As areias possuem bioturbação.
Estrutura: maciça

De 1-2m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta amarelada na base de granulometria fina a grosseira e bioturbada.
Estrutura: maciça

De 2-3m: Calcoarenito fossilífero com conchas de bivalves.
Estrutura: maciça

De 3-4m: Em branco devido a vegetação

De 4-5m: Em branco devido a vegetação

De 5-6m: Em branco devido a vegetação

De 6-7m: Em branco devido a vegetação

De 7-8m: Arenitos, pouco consolidado, de cor castanha amarelada com granulometria fina a grosseira.
Estrutura: maciça

De 8-9m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta clara amarelada devido a limonite de granulometria fina a grosseira.
Estrutura: maciça

De 9-10m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta, granulometria fina a grosseira (com alguns microconglomerados), grãos arredondados e achatados com limonite.
Estrutura: maciça

De 10-11m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta amarelada de granulometria fina a grosseira com 10 cm de espessura na base. No topo microconglomerados calcário fossilífero separada da areias por uma descontinuidade ferruginosa.
Estrutura: maciça

De 11-12m: Arenitos, pouco consolidado, compostos por areias de praia de granulometria fina com níveis de limonite

bioturbada na base e no topo microconglomerados com nódulos ferruginosos (limonite).

Estrutura: maciça

De 12-13m: Arenitos, pouco consolidado, composto por areias de praia de granulometria fina (mais que no ponto anterior), na base e no topo nódulos ferruginosos (limonite).
Estrutura: maciça

De 13-14m: Arenitos, pouco consolidado, cinzento amarelado (limonite) de granulometria fina a grosseira com 75 cm de espessura, com concreções de limonite na base. Uma descontinuidade erosional ferruginosa separa as areias do calcário fossilífero microconglomerados no topo.
Estrutura: maciça

De 14-15m: Calcário conquífero microconglomerático
Estrutura: maciça

De 15-16m: Calcário conquífero microconglomerático
Estrutura: maciça

De 16-17m: Arenitos, pouco consolidado, de cor castanha e amarelada de granulometria fina com carbonatos e limonite bioturbadas.
Estrutura: maciça

De 17-18m: Arenitos, pouco consolidado, castanho amarelado de granulometria fina a grosseira com presença de carbonatos.
Estrutura: maciça

De 18 m em diante apresenta arenitos, pouco consolidado, de cor vermelha, da formação Quelo de aproximadamente 3-4 metros. A figura n.º 5 representa a secção estratigráfica local construída no afloramento 2 na zona da Fortaleza de São Miguel.

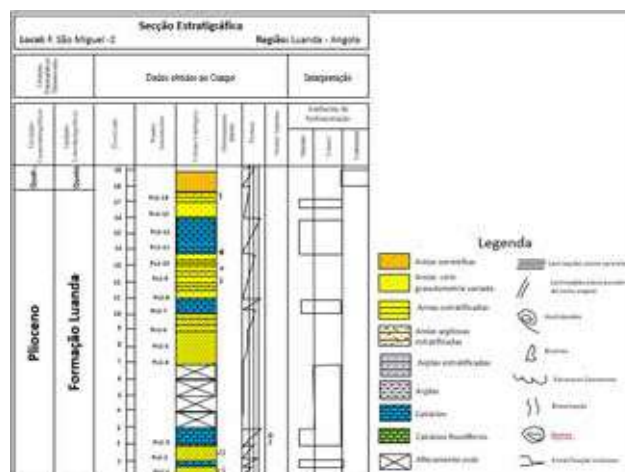


Figura 5: Secção Estratigráfica local da Fortaleza São Miguel-2 construída

A figura n.º 6 corresponde a uma fotografia tirada durante o trabalho no afloramento da Fortaleza de São Miguel representa claramente a presença de níveis com arenitos com a presença do mineral limonite, caracterizado pela sua tonalidade e cloração avermelhada e acima observa-se uma descontinuidade de camada ferruginosas.

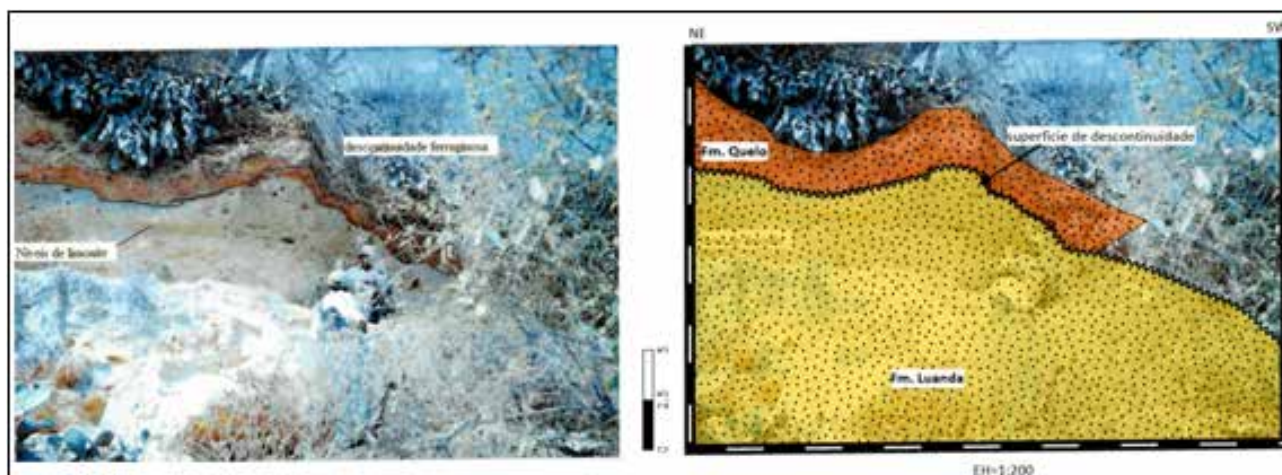


Figura 6: Afloramento da Fortaleza de São Miguel, Fotografia de campo e representação geológica.

DESCRIÇÃO DA SECÇÃO ESTRATIGRÁFICA DA BOA VISTA

Secção B.V-A

De 0-1m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta clara de granulometria média com intercalações de material ferruginosa. Estrutura: laminar plano paralela (na ordem de mm).

De 1-2m: Em branco (afloramento coberto pelo lixo).

De 2-3m: Arenitos, pouco consolidado, compostos por areias de praia de cor cinzenta clara com argilas, tendo no topo limonite e 1cm abaixo com hematite. Arenitos com a espessura variada de 15 cm.

Estrutura: estrutura laminar na ordem de mm, slumps e estruturas convolutas.

De 3-4m: Arenitos, pouco consolidado, compostos por areias de praia de cor cinzenta de granulometria fina com espessura aproximada de 15cm (na base) e argilitos, claros com intercalações de arenitos e de limonite.

Estrutura: laminar plano paralela (na ordem de mm)

De 4-5m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta, de granulometria fina de 14cm de espessura, intercalda com argilas fissuradas. Verifica-se um incremento da espessura de areias em diferenciação ao topo com limonite com espessura 2-4 cm bioturbadas.

Estrutura: laminar (na ordem de mm para argilitos)

De 5-6m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta clara, de granulometria fina com níveis de limonites.

Estrutura: laminar e flaser

De 6-7m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta clara, de granulometria fina com níveis de limonite.

Estrutura: laminar

Secção B.V-B

De 0-1m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta clara, de granulometria média com intercalações de material ferruginosa. Estrutura: laminar plano paralela (na ordem de mm).

De 1-2m: Em branco (afloramento coberto pelo lixo).

De 2-3m: Arenitos, pouco consolidado, composto por areias de praia, de cor cinzenta clara com argilas, tendo no topo limonite de 1 cm abaixo com hematite. Arenitos com a espessura variada de 15 cm.

Estrutura: Estrutura: laminar plano paralela (na ordem de mm)

De 4-5m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta de granulometria fina de 14cm de espessura, intercaladas com argilas fissuradas. Verifica-se um incremento da espessura de areias em diferenciação ao topo com limonite com espessura 2-4 cm bioturbadas .

Estrutura: laminar (na ordem de mm para argilas)

De 5-6m: Arenitos, pouco consolidado, cinzentos de granulometria fina, com espessura de 5 -10 cm, com intercalações de limonite na espessura de mm, bioturbadas.

Estrutura: laminar

De 6-7m: Arenitos, pouco consolidado, constituído por areias de praia com espessura de 5 cm com intercalações de limonite, entre 1-1,5cm.

Estrutura: laminar

De 7-8m: Arenitos, pouco consolidado, de cor cinzenta clara, de granulometria fina na base aproximadamente de 15 cm e argilas com intercalações de limonite de 5 cm de espessura no topo.

Estrutura: laminar

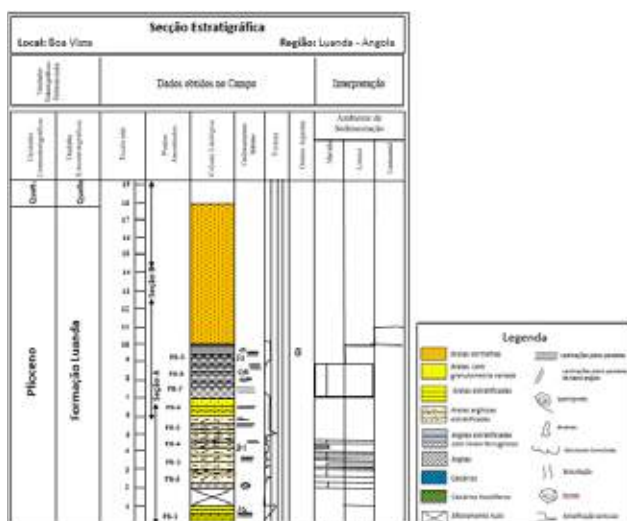
De 8-9m: Argilitos, fissurados com direcção SW, com níveis de limonite, faz efervescência rápida com ácido clorídrico (HCL).

Estrutura: laminar

De 8-9m: Arenitos, pouco consolidado, composto por areias de praia, com intercalações de limonites bioturbadas e com nódulos de preenchimentos.

Estrutura: laminar

Observação: Nos pontos 7-9 verifica-se um incremento nas laminações de limonite em direcção ao topo.



De 10 m em diante arenitos vermelhos (Formação Quelo) com espessura de 8 metros). A figura n.º 7 representa a secção estratigráfica local construída no afloramento na zona da Boa Vista.

Durante o trabalho de campo foram realizadas secções fotográficas nos afloramentos para evidenciar as características geológicas marcantes. Assim é mostrado os planos de desli-



Figura 8: Afloramento da Boa Vista A, observando-se um plano de deslizamento na formação Luanda.

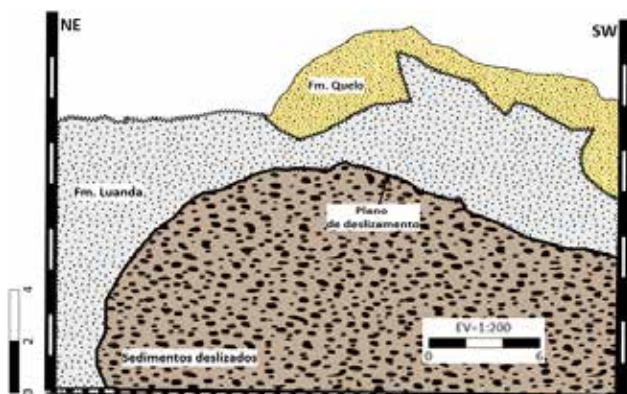


Figura 9: Afloramento da Boa Vista A, observando-se um plano de deslizamento na formação Luanda

zamentos nas figuras nº8 e 9. Estes Planos de deslizamentos presentes na Formação Luanda com descontinuidade que se move no mesmo sentido da vertente, se houver concentração de água com diminuição da força de atrito a massa rochosa sobrejacente pode utilizar o plano e deslizar para a base da vertente constituindo um risco geológico muito comum no tempo chuvoso que coloca em perigo para as populações do arredor.



Figura 10: Parte média do afloramento da Boa Vista A, Estrutura de carga (Slumping) e níveis de oxidação

Para além dos planos de deslizamentos foi possível notar a presença de estruturas sedimentar de carga classificada do tipo Slumping como se pode ver na figura n.º 10.

O contacto brusco entre as formações Luanda e Quelo foi também uma característica notável, como se pode ver nas figuras nº11 e 12.



Figura 11: Parte média do afloramento da Boa Vista B, contacto brusco entre as formações Luanda e Quelo.

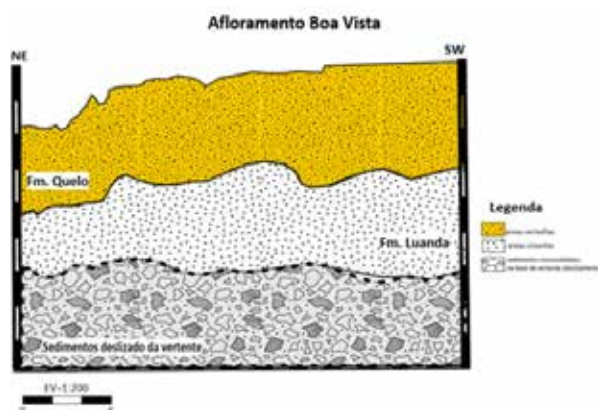


Figura 12: Representação da parte média do afloramento da Boa Vista B, contacto brusco entre as formações Luanda e Quelo.

INTERPRETAÇÃO (LITOLOGIA)

No trabalho de campo reasalizado e das amostras retiradas nestes afloramentos constatou-se:

A Formação Luanda é a mais complexa de ser descrita pelas numerosas variações de fácies que apresenta. A principal litofácies presente na área observadas são as seguinte:

a) Alternância milimétrica e centimétrica de siltitos e arenito de granulometria fina esbranquiçada e amarelada de espessuras variáveis centimétrica (Secção da Boa Vista). Os afloramentos apresentam-se como corpos arenosos contínuos, indicadores de processos de tracção e decantação em ambiente continental lacustre presentes numa planície aluvionar. As areias de praia correspondem as litofácies litorais.

b) Areias médias ou fina com laminação horizontal, predominantemente plano paralelo tabular. A superfície de erosão que separa os sets, são evidenciadas por níveis oxidados de ferro onde se encontram vestígios de bioturbação predominantemente verticais. As estruturas sedimentares descritas correspondem a um modelo de praia associada a barras arenosas de inter-marés com energia de onda relativamente forte, portanto indicadoras de ambiente de praia emersa (Secção Boa Vista). Os níveis oxidados correspondem a períodos de exposição, como consequências de recuos ou avanços da linha de costa.

c) Areias médias grosseiras com raros seixos subarredondados em estratos com espessuras compreendidas entre 40 – 100 centímetros bem cimentados com fósseis marinhos quer em fragmentos ou inteiros, particularmente frequentes em bivalves. Estes corpos arenosos frequentemente tem estrutura maciça, contacto basal e erosivo, suavemente inclinados para o mar que poderá ser posto em relação pela pouca evidência de laminação oblíqua a baixo ângulo (Secção da Fortaleza de São Miguel). A Formação Luanda é produto de um claro ambiente de transição, no qual se encontram associadas fácies indicadoras de areias lagunares, cordões litorais e áreas costeiras protegidas. Na área da Boa Vista é clara a passagem lateral e vertical da argila lagunar a sedimentos de planície aluvionar, dado a presença de sedimentos fluviais do tipo stream flow. Em particular na Fortaleza de São Miguel é dominante fácies de praia inter-tidal (litofácies) que se intercalam a depósitos aluvionares do tipo debris flow. Tal associação de litofácies poderá representar um ambiente não protegido.

CORRELAÇÃO DAS SECÇÕES ESTRATIGRÁFICA

A correlação Litoestratigráfica e Cronoestratigráfica das secções locais, mostram a continuidade das fácies da Formação Luanda nos afloramentos litorais devendo esta continuidade para a extensão da Bacia na porção marítima, ser um assunto de discussão, devido ao Uplift, que ocorreu no (Cenozóico\Neogénico\Miocénico tardio) e o basculamento para NW (devido a carga sedimentar) e subsidência regional que ocorreu na Bacia do Kwanza no Oligocénico ao Holocénico. Tendo parte desta For-

mação erodida (~2 km) e os sedimentos retrabalhados e depositados no offshore. A determinação destes sedimentos tem sido um desafio na utilização desta Formação como um marcador a levantar na interpretação das secções sísmicas quando o intérprete (geólogo ou geofísico) pretende calibrar o Pliocénico.

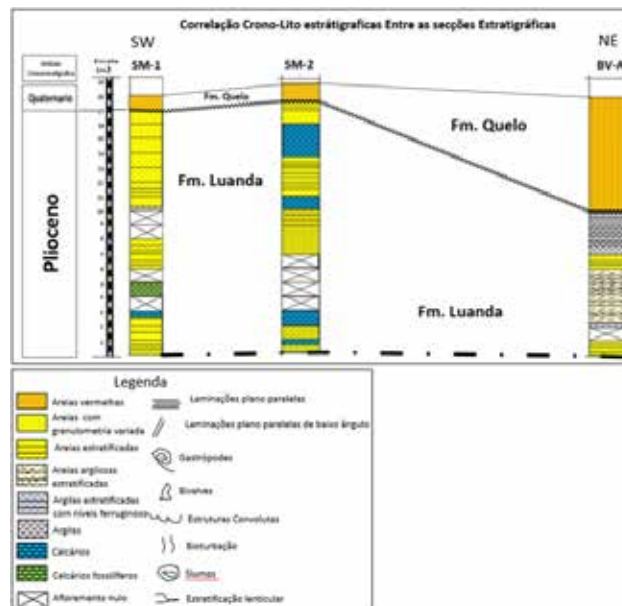


Figura 13: Correlação do plioceno lito-cronoestratigrafica das secções São Miguel e Boa Vista.

DETERMINAÇÃO DO PLIOCÉNICO NA PORÇÃO OFFSHORE

A problemática da determinação do Pliocénico (5M.a) na extensão marítima da Bacia do Kwanza constitui um desafio na sua utilização como um marcador a levantar na interpretação das secções sísmicas quando o intérprete (geólogo ou geofísico) pretende calibrar as formações interceptadas pela respectiva prospecção tanto em trabalho da prospecção petrolífera quanto em levantamentos geotécnicos com o objectivo do estudo da sedimentação rasa. A calibração com marcadores geológicos determinados através da amostragem de poço seria determinante, mas a reconstrução de secções estratigráficas nos afloramentos costeiros é de facto um bom indicador do que será os sedimentos do Pliocénico e a distinção de sedimentos mais recente. A figura n.º 14 representa a interpretação de marcadores sísmicos equivalentes aos marcadores geológicos na porção marítima da Bacia do Kwanza, adjacente aos afloramentos estudados, onde podemos observar dentre os distintos marcadores o Pliocénico equivalente a Formação Luanda.

A Caracterização geológica - geotécnica, das formações geológicas rasas (0-dezenas á centenas de metros), são estudadas no offshore para a interpretação e delimitação das diferentes litologias rasas, nos fundos marinhos e condições de subsuperfície próximo ao substrato marinho que podem trazer adversidades de impactos de instabilidade (geohazards) nos assentamentos de infraestruturas ou nas operações de perfuração de poços

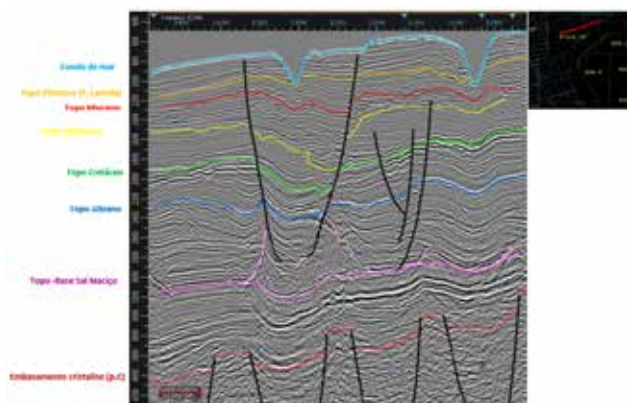


Figura 14: Secção sísmica 2D em profundidade ilustrando o marcador sísmico equivalente ao Plioceno (Formação Luanda) na porção marítima da Bacia do Kwanza adjacente aos afloramentos estudados.

acautelando os riscos de haver erupções ou blow-out devido ao shallow gas. Estes estudos são realizados usando a sísmica rasa (2D ou 3D) de alta frequência (150 - 300Hz) de alta resolução com limite de separabilidade de 1-3 metros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Trabalhos anteriores como o da Schlumberger Wec 1991-Avaliação de Formações de Angola (pag.1-73) enquadra a Formação Luanda no Bugadigaliano constituído por depósitos com carácter euxínico (anaeróbico) prosseguem-se no Bugadigaliano com a Formação de Luanda ($\geq 800\text{m}$). Depósitos litorais carbonatados (Formação Cacuaco) e deltáicos argilo-arenosos (Formação Quenguela) entrelaçam-se na Formação Luanda, anunciando a emersão final da Bacia do Kwanza. Maria Luisa Morais (2007), ao descrever o Neogénico na Bacia do Kwanza enquadra a Formação Luanda nas formações Miocénicas (Bom Jesus, Cacuaco e Luanda) descrevendo que a Formação Luanda é desenvolvida ao longo do litoral e em grande parte do Plateau de Luanda e é a mais difusa na região. A Formação Luanda é constituída por diferentes litologias sendo a litologia mais difusa a argilosa, que normalmente se apresenta homogénea ou mais raramente com lentes arenosas isoladas, podendo apresentar-se alternada com corpos arenosos contínuos, por intercalações de bancadas carbonáticas. Estes depósitos assentam com passagem fortemente erosional sobre a Formação Cacuaco. Já a Coluna Estratigráfica apresentado na Conferência Internacional GeoLuanda 2000 por M.L.Duarte Morais & I. Sgrosso enquadra a Formação Luanda representada no Pliocénico litologicamente composta essencialmente por argilitos.

M. Brandão: Bacias Sedimentares Angolanas 2008 páginas (8, 19, 20 e 21); refere que a subsidência Regional (do Oligocénico ao Holocénico), caracterizado essencialmente por basculamento (tilting) das bacias para Oeste ou Sudoeste, devido a sobrecarga sedimentar (overburden) da plataforma levando à deposição, nos tempos Oligo-Miocénicos, de uma espessa sequência clástica regressiva

repousando discordantemente sobre antiga plataforma. Tem lugar a instalação de uma série de pistas prográdantes (High stand tracks), aqui e ali interrompidas no tempo por pequenas variações do nível do mar no Oligocénico superior, Miocénico e Pliocénico (Rel. Inédito. Total C.A.P, 1990, ob cit.). As variações eustáticas do nível do mar foram responsáveis pela ausência de depósitos, na costa angolana, de parte de série Terciário (Eocénico pro parte, Oligocénico inferior e por vezes parte do Oligocénico médio e parte do Miocénico superior e do Pliocénico) erodida ou não depositada.

M.G. Mascarenhas Neto; o sedimentar costeiro de Angola, algumas notas sobre o seu conhecimento 1964, admitia a possibilidade de sedimentos do Pliocénico nas proximidades imediatas de Luanda.

Neste trabalho nas secções estratigráficas normalizadas da Fortaleza de São Miguel e da Boa Vista e com base na descrição dos autores (M.L.Duarte Morais & I. Sgrosso, 1999) notamos que a Formação Luanda enquadra-se no Pliocénico, litologicamente caracterizada por litologias variadas de argilitos, arenitos e carbonatos, sugerindo a sua continuidade para a extensão marítima da bacia. Do ponto de vista das interpretações sísmicas o Pliocénico é comumente equadrado nos pacotes sedimentar do Terciário (marcador sísmico) em algumas áreas não mesmo notáveis por resolução baixa ou não existe devido a grande erosão ou não deposição e devido ao uplift, basculamento da bacia para SW e as variações eustáticas do nível do mar no Oligocénico, Miocénico e Pliocénico. A Formação Luanda lhe é atribuída numerosas variações de fácies, convém ter-se sempre presente que a Geologia é uma disciplina dinâmica e que qualquer modelo geológico, por muito sentido que possa fazer, é sempre passível de discussão e de revisão.

CONCLUSÕES

O levantamento das secções Estratigráficas locais e normalizadas nos afloramentos da Fortaleza de São Miguel (actual Museu das Forças Armadas) e nos afloramentos da Zona da Boa Vista permitiu a caracterização da Formação Luanda como Unidade Estratigráfica do Pliocénico e assim comprova a continuidade desta Formação pela correlação Litoestratigráfica e Cronoestratigráfica. Os sedimentos do Pliocénico podem ser cartografados sísmicamente na extensão marítima da bacia do Kwanza. O estudo do Pliocénico e em particular a caracterização da Formação Luanda é importante e destina-se a vários objectivos desde a pesquisa de recursos minerais no caso da prospecção petrolífera, estuda-se as formações rasas para a calibração dos marcadores sísmicos aos marcadores geológicos, na cartografia dos shallows hazards, nos assentamentos de infraestruturas, na distinção dos fluxos de sedimentos recentes e formações, na datação, na geotecnia e ambiente em trabalhos para a contenção das erosões de taludes, prospecção de aquíferos, implantação de aterros sanitários para descarte de resíduos sólidos entre outros fins.

AGRADECIMENTOS

- Felix Quintas Estratigrafico e Sedimentológico e Geólogo de Campo; Professor Catedrático Universidade Agostinho Neto em 2003-2005 e Pinar del Rio Habana Cuba
- Os autores agradecem o DEI-Geologia, o departamento de ensino e investigação de Geologia e todas entidades os responsáveis pela edição da revista de Geociências de Angola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Antunes, M.T. (1964); *O Neocretácico e o Cenozóico do Litoral de Angola*. Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa, 212p.
- [2] Broucke, O. (2004); *Sedimentological models of the Oligocene and Miocene Malembo Formation in offshore Angola (Lower Congo and Kwanza basin west Africa*.
- [3] Brandão, M. (2003); *Bacias Sedimentares Angolanas; Curso de Geologia do Petróleo*.
- [4] Brice, S.E., Cochran, M.D., Pardo, C., Edwards, A.D., (1982); *Tectonics and sedimentation of South Atlantic rift sequence: Cabinda, Angola*. In: Watkins, J.S., Drake, C.L. (Eds.), *Studies in Continental Margin Geology*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, pp. 5–18
- [5] Cauxeiro, C. C., Durand, J. & Lopeza, M. (2014); *Stratigraphic architecture and forcing processes of the late Neogene Miradouro da Lua sedimentary prism, Cuanza Basin, Angola*.
- [6] Castellano M.C., Duarte-Morais, M.L., Putignano M.L. & Sgrossso, I. (2000); *High-density turbidite facies in the Miocenic deposits cropping out around Cabo Ledo (Kwanza Basin – Angola)*, paper presented at Geoluanda 2000 International Conference, Angolan Assoc. of Geol., Luanda, Angola
- [7] Comissão Estratigrafica Para as Bacias Sedimentares Angolanas (1991); *Actas das Reuniões da 1ª Comissão*.
- [8] •Cramez, C. & Jackson, M.P.A. (2000); *Superposed deformations traddling the continental-oceanic transition in deep-water Angola*. *Marine Petrol. Geol.* 17 (1095–1109), 91.
- [9] Duarte Morais M.L., Putignano M.L. & Sgrossso I. GeoLuanda (2000); *Kwanza basin stratigraphic, Guide book post-Congress Luanda –Benguela-Dombe Grande*.
- [10] Duval, B., Cramez, C., Jackson & M.P.A. Jackson (1991); *Rafts Tectonics in the Kwanza Basin, Angola ; Marine and Petroleum Geology*. Bureu of Economic Geology of the Texas University, Austin
- [11] Gabriel L.M., (2006); *Mapa Hidrogeológico de Luanda y arredores*. Tese de Doutoramento. Departamento de Geologia – Universidade de Alcalá, Espanha.
- [12] Guiraud, R., Buta-Neto, A & Quesne, D. (2010); *Marine and Petroleum Geology – Segmentation and Differential Post-Rift Uplift at yhe Angolan Margin as Recorded by the Transform-Rifted Benguela and Oblique-to-Orthogonal-Rifted Kwanza Basins*. *Journal homepage: www.elsevier.com/located/marpetgeo*.
- [13] Guiraud, R. & Maurin, J.C. (1992); *Early Cretaceous rifts of western and central Africa: an overview*. *Tectonophysics* 213, 153–168
- [14] George P.B. & Georges R. V. (1966); *Oil and Geology in Cuanza Basin of Angola*. AAPGbulletin ; Brussels, Belgium.
- [15] Hudec, M. R. & Jackson, M. P. A (2002); *Structural segmentation, inversion, and salt tectonics on a passive margin: evolution of the Inner Kwanza Basin*.
- [16] Karner, G.D. & Driscoll N.W. (1998) *Petroleum Geoscience of the west Africa – Salt tectonics and sedimentation in the Kwanza basin Angola (a), Rheology of deformation of the lithosphere at the continental margins (b), Tectonic setting of the Marnes-Noires/Falcão source rocks of the Congo and Angolan continental margins [abs.]*. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 82, 1928 (c).
- [17] Morais, M. L. (2007); *Bacias Angolanas, Curso de Geociências do Petróleo, Universidade Agostinho Neto*.
- [18] Mascarenhas, N.M.G. (1964); *O Sedimentar Costeiro de Angola, Algumas Notas Sobre o seu Conhecimento*.
- [19] Schlumberger WEC (1991); *Avaliação de Formações de Angola*. Well Evaluation Conference.
- [20] Teisserenc P. & Villemain J., 1989. *Sedimentary basins of Gabon—geology and oil systems*. In: Edwards, J.D., Santogrossi, P.A., (Eds.), *Divergent/passive margin basins: American Association of Petroleum Geologists Memoir* 48, pp. 117–199.



Foto: DR



Artigo **n.º 9**

Litoestratigrafia e modelo sedimentar da bacia do Kwanza (NW de Angola)

Lithostratigraphy and sedimentary model of Kwanza basin (NW of Angola)

Hortênsio Bondo¹, Ary Pinto de Jesus¹, Cristina Rodrigues²

¹Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Rua do Campo Alegre, (4169-007, Porto, Portugal, email: hortbondo@gmail.com, adelmar@fc.up.pt).

²Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro, n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: cfrdrig@gmail.com.

CITAR COMO:

Bondo, H., A. P. D. Jesus y C. Rodrigues. Litoestratigrafia e Modelo Sedimentar da Bacia do Cuanza (NW de Angola). Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 89-98.

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 19/5/2020

Aceite: 12/6/2020

***Autor correspondente:**

Hortênsio Bondo (e-mail: hortbondo@gmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: No presente trabalho apresenta um modelo sedimentar genético e evolutivo para a bacia interior do Cuanza (Cretácico Inferior-Plistocénico) localizada no NW de Angola. Os trabalhos de campo incidiram sobre afloramentos na área de Cabo Ledo. Dos estudos efectuados concluiu-se que as Formações presentes são: Tuenza Dolomítico, Quissonde, Cabo Ledo, Itombe, Teba, Quifangondo, Luanda e Cacucaco. A correlação sedimentológica/estratigráfica dos afloramentos, poços e sondagens existentes na área, permitiu reconhecer a arquitectura litoestratigráfica bem como proceder à construção de colunas litoestratigráficas reconstituídas (padrão). Os estudos efectuados permitiram concluir que a região apresenta uma evolução sedimentar marcada por transgressão marinha desde o Aptiano até ao Maastrichtiano. Assim, sobre as litologias de fácies continental da Formação do Cuvo (Barremiano), a transgressão marinha surge marcada por ambientes de playa na base passando a ambientes lagunares e progradando até litofácies de mar aberto de baixa profundidade (plataforma mista) para topo. Foi registado a lacuna generalizada do Paleocénico provavelmente relacionada com regressão forçada. Durante o Eocénico e o Oligocénico até ao Pliocénico houve retoma transgressiva com controlo eustático variável provocando a alternância entre ambientes litorais e de plataforma. Para topo o momento é claramente regressivo terminando no Plistocénico com sedimentação continental detrítica sub-aérea.

Palavras-chave: Bacia do Cuanza, Cabo Ledo, litoestratigrafia, correlação estratigráfica, sistema deposicional.

Abstract: In this work we present a genetic and evolutionary sedimentary model for the inner basin of Cuanza (Lower Cretaceous-Pliocene) located in the NW of Angola. Fieldwork was carried out on outcrops in Cabo Ledo area. From the studies we concluded that in this region the present formations are: Tuenza Dolomítico, Quissonde, Cabo Ledo, Itombe, Teba, Quifangondo and Luanda Cacucaco. The sedimentological/stratigraphical correlation of outcrops, wells and boreholes in the area, made possible to recognize the lithostratigraphic architecture as well as the construction of reconstituted lithostratigraphic columns for onshore and offshore. The studies also allowed to conclude that the studied region presents a sedimentary evolution marked by marine transgression from Aptian to Maastrichtian. Thus, on the continental facies lithologies of the Cuvo Formation (Barremian), the marine transgression appears marked by playa environments at the bottom, passing to the top to lagoon environments and prograding to open sea lithofacies of mixed platform. It was noted the Paleocene gap probably related to forced regression. During Eocene-Oligocene till the Pliocene there is a transgressive recovery with variable eustatic control, causing the alternation of coastal and platform marine environments. Upwards a regressive episode is very clear, the Pliocene ending in sub-aerial detritic continental sedimentation.

Keywords: Cuanza Basin, Cabo Ledo, lithostratigraphy, stratigraphic correlation, depositional system.

INTRODUÇÃO

O principal objectivo deste trabalho foi o de rever a litoestratigrafia e propor um modelo geológico-estrutural para a bacia do Cuanza. Com esse objectivo, discutiram-se e foram integrados os resultados obtidos a partir da amostragem que se efectuou, em afloramentos reconhecidos no terreno, e, também, os obtidos pela análise do registo sedimentológico de colunas estratigráficas de poços e sondagens. Neste contexto, traçaram-se os seguintes objectivos específicos:

- a) Efectuar a cartografia geológica na área de Cabo Ledo;
- b) Estudar petrográfica e petrologicamente a amostragem;
- c) Construir colunas de sondagens e as respectivas secções;
- d) Proceder as correlações litoestratigráficas;
- e) Interpretar, em termos de evolução sedimentar, os ambientes deposicionais em que se formaram as fácies litológicas da Bacia do Cuanza.

Os trabalhos de campo foram realizados com o objectivo de atribuir e validar as Formações presentes na área de estudo (Figura 1) tendo como base a Carta Geológica da Bacia do Cuanza (Total & Sonangol, 1972). Assim, o mesmo baseou-se no reconhecimento e estudo de dados de campo a partir da análise e interpretação de alguns afloramentos situados ao longo da margem costeira da zona de Cabo Ledo e outros mais para o interior da bacia. A área em estudo localiza-se em Angola, em Luanda, no município da Quissama, mais concretamente ao longo da margem costeira da comuna de Cabo Ledo, embora também tenham sido efectuados levantamentos geológicos em alguns afloramentos localizados no interior da zona em estudo.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

De acordo com Tavares (2000), os enchimentos sedimentares no litoral de Angola estão subdivididos em cinco (5) sectores, os quais se resumem a três bacias costeiras, nomeadamente a bacia do Congo à Norte, ao Centro da bacia do Cuanza e da bacia de Benguela e, à Sul, a Bacia do Namibe, as quais se encontram delimitadas a Leste pelo soco cristalino e, à Oeste, pelo oceano Atlântico, tal como representado na Figura 2.

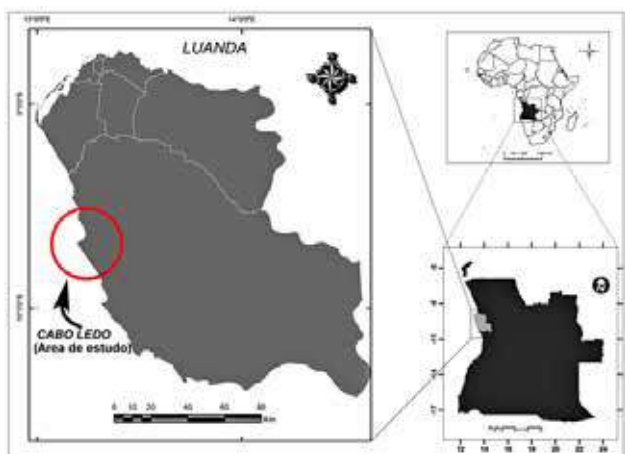


Figura 1: Localização da área de estudo (Diva Gis, 2013).

A Região de Cabo Ledo situa-se dentro dos limites geográficos da bacia do Cuanza, estando as Formações da área de estudo (Cabo Ledo), inseridas nas Formações da Bacia do Cuanza. Esta, por sua vez, está relacionada com um fenómeno de importância global, a evolução da margem continental angolana, controlada pela abertura do Oceano Atlântico. Neste contexto, torna-se relevante apresentar uma breve síntese da evolução da margem angolana, a fim de melhor compreender e enquadrar, no espaço e no tempo, os processos geológicos-estruturais que aí ocorreram. Com base nos conceitos da tectónica de placas e da migração das placas continentais, e de acordo com o estilo estrutural e características litológicas presentes, vários autores (e.g. Baptista (1991), Brice et al. (1982), definiram diferentes eventos para as bacias sedimentares costeiras e da plataforma continental que reflectem as diversas fases de evolução das bacias que compõem a margem angolana.

Estratigrafia da Bacia do Cuanza

Depositadas em descontinuidade sobre o soco cristalino, as Formações da Bacia do Cuanza são constituídas por sedimentos do Cretácico Inferior ao Quaternário. Pese embora a estratigrafia definida pela GeoLuanda 2000, aqui apresentada na Figura 3, e tendo a mesma como base, os trabalhos registaram ligeiras diferenças. Assim, da base para o topo:

1 - Formação Cuvo: Onde pode-se distinguir:

A) Cuvo Inferior ou vermelho: (Neocomiano a Barremiano) formado por conglomerados, que apresentam fragmentos de rochas gnáissicas e outras metamórficas do soco cristalino, bem como arenitos de cor avermelhada, resultante de deposição sub-aérea, provavelmente pela edificação de leques aluviais.

B) Cuvo Superior ou cinzento: (ante-Apciano, provavelmente Barremiano) constituído por arenitos (grosseiros ou finos) com intercalações de calcários coníferos normalmente ricos em ostracodos, depositados em ambiente lagunar com uma evolução para fácies marinhas. Tem potencial enquanto rocha reservatório do pré-sal;

2 - Formação Sal Maciço: (Aptiano) constituída por dolomito, anidrite dolomítica, e anidrite ou Halite. Pelas lito-

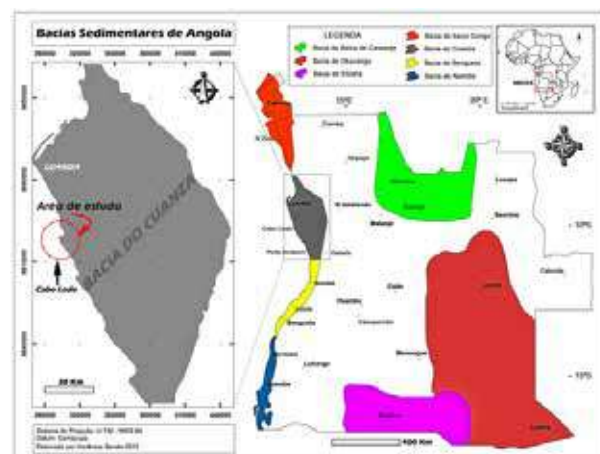


Figura 2: Bacias sedimentares de Angola, com destaque da bacia do Cuanza (WEC 1991).

fácies, esta sequência foi depositada num ambiente litoral marcado por sedimentação lagunar;

3 - Formação Binga: (Apciano-Albiano) formada por calcários oolíticos e bioclastos, calcários sublitográficos com dolomite microcristalina e anidrite, depositada num ambiente marinho na plataforma continental com oscilações eustáticas migrando entre a sedimentação lagunar e a de mar aberto;

4 - Formação Tuenza: (Albiano) representada por dolomitos com ocorrência de anidrite por vezes com intercalações de outros evaporitos. Esta formação depositada num ambiente lagunar de com lâmina de água pouco profunda;

5 - Formação Catumbela: (Albiano Superior) composta por calcarenitos e calcários de fácies marinha com algas e corais, bioclastos, pisólitos, fragmentos arredondados de calcarenitos conquíferos, depositada num ambiente marinho pouco profundo em zona de plataforma;

6 - Formação Quissonde: (Albiano a Cenomaniano) Depositada num ambiente de plataforma mista com pequenas oscilações eustáticas gerando, ocasionalmente, zonas lagunares, é constituída por calcários margosos com fragmentos de conchas;

7 - Formação Cabo Ledo: (Cenomaniano) Caracteriza-se pela predominância das margas sobre os calcários conquíferos. Depositada num ambiente marinho de plataforma mista pouco profunda;

8 - Formação Itombe: (Turoniano) constituída por margas calcárias com amonites e intercalações arenosas. Esta formação foi depositada num ambiente de mar aberto pouco profundo;

9 - Formação N'golome: (Turoniano-Campaniano) é constituída por margas pelágicas caracterizada pelo seu conteúdo com microfósseis de Globotruncana, sugerindo um ambiente sedimentar de plataforma;

10 - Formação Teba: (Maastrichtiano) é constituída por margas com calcários lumachélicos e restos de Inoceramus com níveis fosfatados. Depositou-se num ambiente de plataforma mista com lâmina de água profunda;

11 - Formação Cunha-Gratidão: (Eocénico) constituída por margas gresosas com lenticulas e concreções calcárias, bem como por calcários silicificados. Pese embora a predominância da sedimentação marinha, o aumento da sedimentação detrítica sugere uma lâmina de água pouco profunda. Os calcários silicificados poderão representar a alteração das formações cársicas subjacentes, isto é, o não se ter reconhecido terrenos do Paleocénico, leva a admitir que o mesmo pode corresponder a uma lacuna estratigráfica generalizada;

12 - Formação Quifangondo: (Oligocénico-Miocénico) representada por argilas com intercalações siltosas, cal-

cários gresosos lumachélicos; e ricas em foraminíferos, depositada em ambientes de plataforma mista;

13 - Formação Cacucaco: (Oligocénico) constituída por calcários com algas, equinodermes e bivalves, com calcarenitos; depositados num ambiente litoral a circo litoral;

14 - Formação Luanda: (Pliocénico) composta por margas castanhas com foraminíferos, areias litorais e grés com conchas, depositada num ambiente litoral;

15 - Formação Areias Cinzentas: (Plistocénico) São sedimentos constituídos por areias com espessura heterométrica, com textura matriz-suportada marcada por abundante matriz silto-arenosa, no seio da qual se encontram imensos seixos subarredondados de dimensão centimétrica. Este conjunto litológico, apresenta uma posição estratigráfica e características litológicas bem definidas e uma extensão superficial significativa, foi designada por Formação Areias Cinzentas.

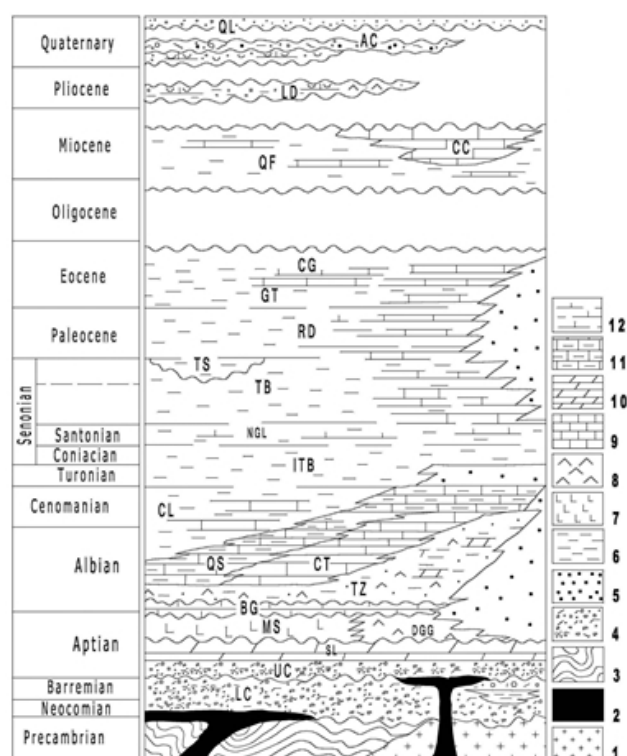


Figura 3: Estratigrafia da bacia do Cuanza: 1) Rochas intrusivas, granito - 2) rochas efusivas, basalto - 3) rochas metamórficas - 4) conglomerados - 5) areias - 6) shales - 7) evaporitos - 8) gesso - 9) carbonatos - 10) carbonatos e dolomites silicificados - 11) Calcilitutos - 12) marls. LC Formação Cuvo Inferior - UC Formação Cuvo Superior - SL Formação Chela - MS Formação sal maciço - DGG Formação Dombe Grande - TZ Formação Tuenza - CT Formação Catumbela - QS Formação Quissonde - CL Formação Cabo Ledo - ITB Formação Itombe - NGL Formação N' Golome - TB Formação Teba - TS Tchipupa Shales - RD Formação Rio Dande - GT Formação Gratidão - CG Formação Cunha – QF Formação Quifangondo - CC Formação Cacucaco - LD Formação Luanda - AC Formação Areia Cinzentas - QL Formação Quelo (GeoLuanda, 2000).

Pela presença de fragmentos de quartzo e de calhaus de outras litologias trabalhados pelo homem, tal formação poderá ser considerada como de idade Plistocénica (Andrade et al., 1998).

16 - Formação Quelo: (Plio-Plistocénico) constituída por areias ferruginosas e grés de cor vermelha. Depositou-se num ambiente continental oxidante.

Enquadramento Geológico Local

Segundo a carta geológica da bacia do Cuanza (Total e Sonangol/1968 – 1972) a área de estudo, caracteriza-se pelas seguintes Formações da base ao topo (Figura 4):

- **Formação Tuenza:** Dolomites, anidrites, halites e argilas (Albiano).
- **Formação Cabo Ledo:** Margas com intercalações de dolomites (Cenomaniano).
- **Formação Itombe:** Margas, calcários fossilíferos, grés à cimento calcário (Turoniano – Coniaciano).
- **Formação Teba:** Calcários fossilíferos, margas, calcários (Campaniano).
- **Formação Quifangondo:** Margas e argila com nódulos (Oligocénico).
- **Formação Luanda - Cacucaco:** Margas, argilas, calcário e grés (Miocénico – Pliocénico).
- **Formação Quelo:** Areias vermelhas (Quaternário).

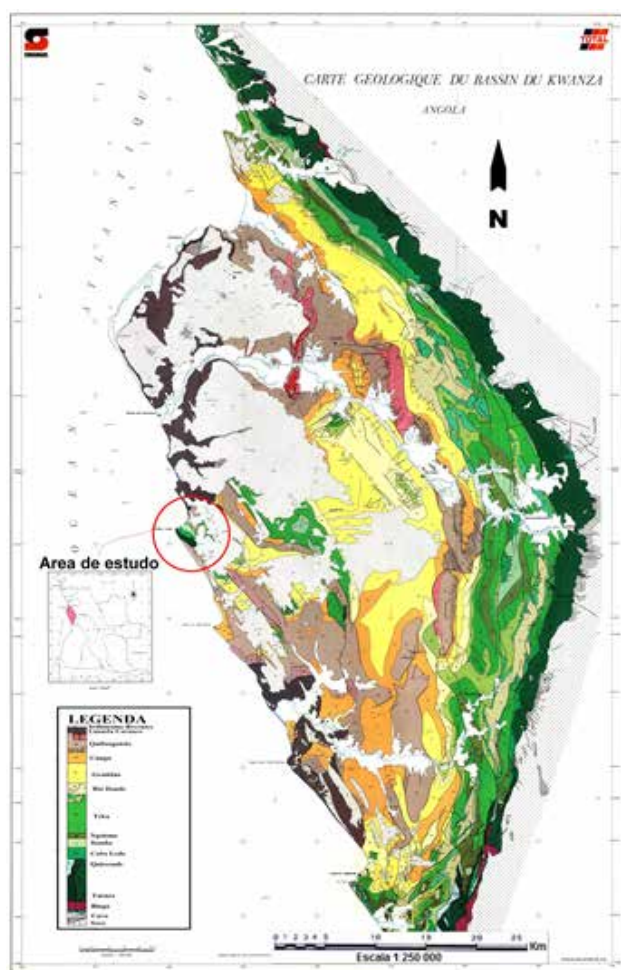


Figura 4: Carta geológica da bacia do Cuanza (Total e Sonangol/1968 – 1972).

MATERIAIS E MÉTODOS

A preparação do trabalho de campo envolveu a análise dos mapas geológicos e do mapa topográfico à escala de 1:100000 (IGCA, 1981). Foram ainda realizadas interpretações de imagens aéreas através do Google Earth, obtendo informações de alinhamentos estruturais, unidades geológicas e respectivas geometrias.

Foi utilizado também a informação geológica resultante dos poços e das sondagens realizadas na bacia interior do Cuanza pela FINA PETRÓLEOS de Angola para fins de prospecção e exploração de hidrocarbonetos, pese embora algumas terem sido realizadas com o objectivo de exploração de águas subterrâneas.

TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo basearam-se na observação *in situ* dos principais afloramentos existentes na área de estudo tendo em conta as principais fácies litoestratigráficas, estruturais, suas geometrias assim como se procedeu à colheita de amostras georreferenciadas. Tendo em conta as litofácies do ponto de vista geológico, os afloramentos serão detalhadamente localizados por projecção em imagens do Google Earth. Alguns dos afloramentos alvo de estudo localizam-se ao longo da zona de praia na área de Cabo Ledo, outros na parte interior da referida zona, e outros ao longo da estrada nacional nº 100 entre Luanda e o Sumbe.

Porém, foi efectuada amostragem em 23 afloramentos sobre a qual incidiram estudos e análise petrológica e sedimentológica, tendo os resultados obtidos sido correlacionados com as informações geológicas presentes na carta geológica da Bacia do Cuanza (Total, Sonangol, 1972).



Figura 5: Mapa de amostragem dos afloramentos da zona de estudo (base Google Earth, 2014).

Descrição dos Afloramentos

A descrição dos afloramentos foi feita com base nas características litoestratigráficas e estruturais identificadas *in situ*, e posterior correlação com as formações presentes na carta geológica da Bacia do Cuanza (Total e Sonangol, 1972).

Afloramento HB4

Afloramento com orientação NE-SW, é constituído por duas

unidades litoestratigráficas, nomeadamente areias vermelhas com uma espessura de 2m e conglomerados de base. O mesmo encontra-se ao longo de um vale. Pelas características das litofácies, é atribuído à Formação Quelo (Plistocénico).



Figura 6: Afloramento HB4; Quaternário.

Afloramento HB7

Afloramento com orientação NW-SE e com espessura aproximada de 15m, sendo constituído por duas unidades litológicas, de diferentes colorações, nomeadamente, argilitos de cor cinza (a) e calcários fortemente bioturbados (b) cujo contacto é marcado por uma provável falha lítrica, no topo identificaram-se lâminas de gesso. A atitude dos estratos é de N72°;20°SE. Pelo conjunto das litofácies, consideramos como pertencente à Formação Teba (Campaniano).



Figura 7: Afloramento HB7; Campaniano. a) argilitos, b) calcários. F-falha normal(14).

Afloramento HB25

Afloramento com orientação NE-SW, localiza-se ao longo da estrada nacional número 100 que liga a cidade de Luanda à cidade do Sumbe, o mesmo é constituído por duas unidades litoestratigráficas nomeadamente calcários alternantes com siltes argilosos atribuídos à formação Cabo Ledo (Cenomaniano) (a) cuja estratificação é N120°;81°SW e calcários com alternância de margas atribuídos à Formação Quissonde (Albiano) (b) cuja estratificação é N100°;50°W, separadas por uma possível falha cuja atitude é N140°;70°NE. Tendo em conta que as camadas deslizam sobre a falha ou pela superfície da falha, possivelmente trata-se de um rollover.



Figura 8: Afloramento HB25 a) Formação Cabo Ledo b) Formação Quissonde

Afloramento HB3

Afloramento de orientação NW-SE localizado na Ponta Feixe, de espessura aproximada de 10m é constituído por três unidades litoestratigráficas, nomeadamente arenito conglomerático com níveis ferruginosos e caulinição, intercalados por areia com microconglomerados (A), argila siltosa a arenosa (B), bancadas de calcário com atitude N151°;22°SW com alternâncias de margas (C). O pacote B está separado do C por uma discordância angular. De acordo com as litofácies, este conjunto é atribuído à Formação Teba (Campaniano).



Figura 9: Afloramento HB3

Afloramento HB16

Afloramento com orientação W-E e espessura aproximada de 17m apresenta uma estratificação maciça, e é constituído por uma única unidade litológica, nomeadamente, calcário fortemente dolomitizado e brechificado pertencente as fácies da Formação Tuenza dolomítico (Albiano).



Figura 10: Afloramento HB16. (A) Detalhe da base do afloramento (forte bioturbação).

Afloramento HB15

Afloramento de orientação SE-NW e espessura aproximada de 14m é constituído por duas unidades litoestratigráficas nomeadamente margas brancas e bancadas de calcário bioturbado com atitude N60°; 20°NW, o mesmo apresenta laminações de gesso. Pelas características das litofácies é atribuído à Formação Quifangondo (Oligocénico).



Figura 11: Afloramento HB15

Afloramento HB19

Afloramento com uma espessura aproximada de 11m é constituído por duas unidades litoestratigráficas, nomeadamente, alternância de margas argilosas e calcários cuja atitude é N140°; 10° NE. Pelas características das litofácies, é atribuído à Formação Itombe (Turoniano-Coniaciano).

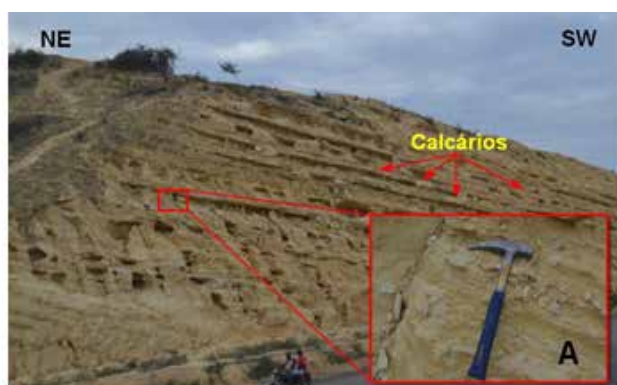


Figura 12: Afloramento HB15. (A) Detalhe do afloramento.

Afloramento HB12

Afloramento de orientação N-S e espessura aproximada de 15m localiza-se na pedreira de Cabo Ledo, é constituído por duas unidades litológicas: a) calcário maciço; b) calcário com intercalações de argilas e laminações de gesso. Este conjunto de fácies pertence ao Albiano Inferior, onde o calcário maciço (a) é atribuído à Formação Tuenza, e o calcário com intercalação de argila atribuído à Formação Quissonde (A).

O contacto entre as duas unidades é marcado por uma falha cuja atitude é N92°; 46°SW. De acordo com a geometria do afloramento, poderá tratar-se de um rollover.



Figura 13: Afloramento HB12. (A) Detalhe da base do afloramento.

Afloramento HB 26

Afloramento de orientação SW-NE localiza-se por trás do Morro dos Petróleos é constituído por duas unidades litoestratigráficas, nomeadamente, calcários alternantes com margas, cuja atitude é N72°; 20°NE. O mesmo apresenta veios de quartzo sem uma orientação preferencial; o conjunto é atribuído à Formação Cabo Ledo (Cenomaniano).



Figura 14: Afloramento HB26 evidenciando uma falha normal.

Afloramento HB2

Afloramento com orientação W-E é constituído por três unidades litológicas nomeadamente argilas cinzentas com intercalações de gesso, margas silteosas, e areias vermelhas no topo. A estratificação que se pode ver tem atitude N20°; 20°SE. Pelas litofácies, é atribuído à Formação Luan-da-Cacuaco (Miocénico-Pliocénico).

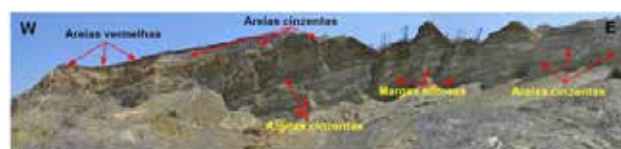


Figura 15: Afloramento HB 2

Mapa de amostragem

Para efeitos de correlação, foi utilizado também a informação proveniente de poços distribuídos ao longo da Bacia do Cuanza, dos quais 5 do offshore e 7 do onshore. A distribuição espacial, obtida pela construção de perfis estratigráficos por correlação das secções estratigráficas permitiu reconhecer a arquitectura das principais unidades litoestratigráficas existentes na bacia. Ainda com base na análise da informação resultante efectuou-se a construção de duas colunas litoestratigráficas reconstituídas (padrão), uma para a bacia interior (onshore) e outra para a bacia exterior (offshore). Observa a figura 16.

Dados de Poços e de Sondagens

Houve grandes dificuldades em obter dados sísmicos e dos poços, tendo sido possível ter acesso a dados de 12 poços, dos quais 5 se localizam na bacia exterior do Cuanza (offshore), e os restantes 7 se localizam na bacia interior do Cuanza (onshore). Brognon e Verrier (1966) numa abordagem geral sobre a Bacia do Cuanza, afirmam que a sedimentação é controlada pela tectónica, e que estudos efectuados na referida bacia indicam a pre-

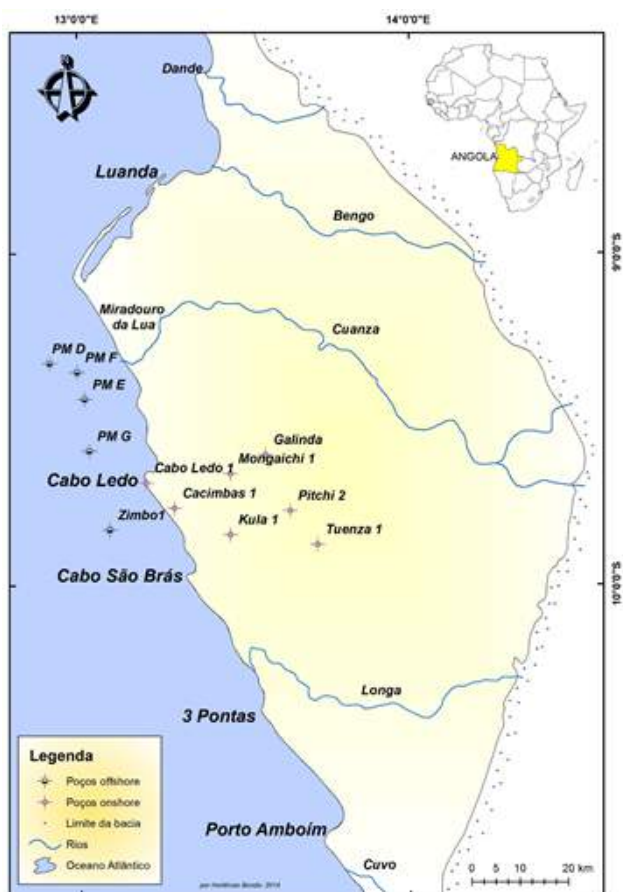


Figura 16: Mapa de amostragem dos poços na bacia do Cuanza (DivaGis, 2014).

sença de domos anticlinais e falhas relacionadas com o movimento e deformação do sal maciço. Estes autores fazem ainda referência à Formação Tuenza, afirmando que a mesma está dividida em três membros, nomeadamente, a) Tuenza salífero b) Tuenza anidrítrico c) Tuenza dolomítico. Wohlhuter e Carnet, (1986) através do relatório final da sondagem Tuenza 1, cujo objetivo foi o de reconhecer estratigraficamente o compartimento “Este” da estrutura do Tuenza, descrevem litologicamente o registo sedimentológico do poço, afirmando que há algumas estruturas na Bacia do Cuanza marcados por acidentes salíferos, tomando como referência o diapiro do Tuenza e Pichi.

As rochas do Sin-Rifte da bacia interior do Cuanza estão separadas pela Formação Cuvo Inferior e Infra Cuvo Maculungo, (Brognon e Verrier, 1966; Burwood, 1999). Estes autores afirmam ainda que o Infra Cuvo e Maculungo de idade Neocomaniana são de origem lacustre, e consistem em lutitos quase puros, lutitos orgânicos e evaporitos. A Formação Cuvo Inferior do Barremiano consiste em conglomerados, areias vermelhas, argilas com intercalação de cinzas vulcânicas (Brognon e Verrier, 1966).

As rochas do Pos-Rifte da bacia interior do Cuanza cobrem a maior parte das Formações da referida bacia, ou seja, estão separadas desde o Albiano Inferior ao

Burdigaliano. Com base nestas informações, fez-se uma abordagem geológica da área de Cabo Ledo correlacionando as informações dos diferentes poços, a fim de os enquadrar no contexto geológico-estrutural.

Representação dos Poços

Os poços estão distribuídos na região NW e SW da Bacia do Cuanza, entre os quais 7 poços estão localizados na bacia interior do Cuanza nomeadamente Cabo Ledo 1, Cacimbas 1, Kula 1, Tuenza 1, Pitchi 2, Mongaichi 1, e Galinda. Os restantes 5 poços estão localizados na bacia exterior do Cuanza nomeadamente PM D, PM F, PM E, PM G e Zimbo 1.

Os perfis de poço foram elaborados a partir de relatórios de sondagens tendo como base de apoio a coluna litoestratigráfica geral modificada por Brognon e Verrier (1966) e por Burwood (1999). Deste modo, dos 12 poços que constituíram o banco de dados dos trabalhos realizados, o poço Zimbo 1 foi seleccionado como poço de referência relativamente elaboração do registo estratigráfico para posterior análise da correlação estratigráfica.

Perfis Sedimentológicos dos Poços

De um modo geral as colunas estratigráficas das figuras que se seguem indicam as litologias atravessadas pelos poços, os quais vão desde rochas do soco granítico e gnáissico, até rochas carbonatadas e siliciclásticas.

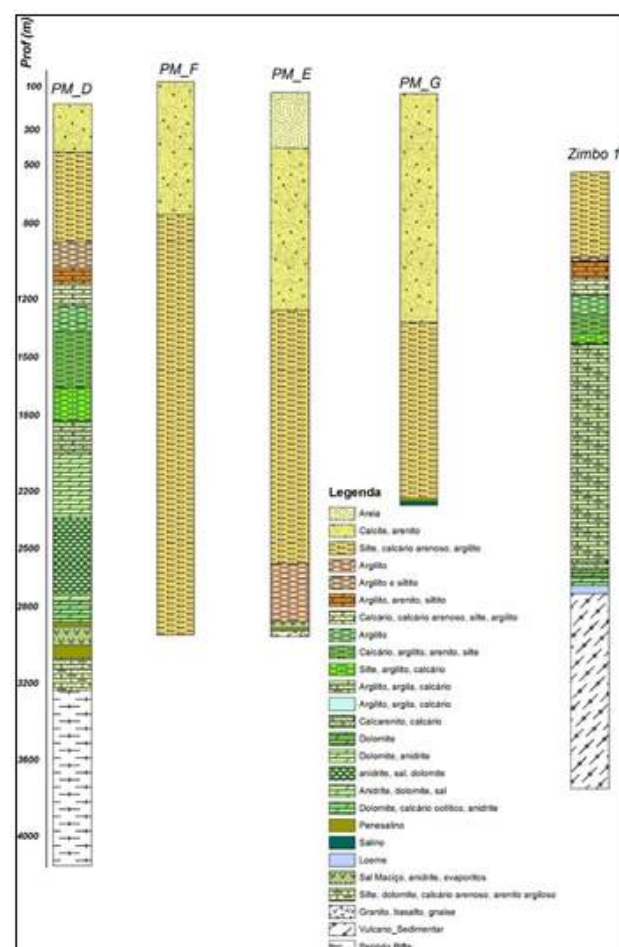


Figura 17: Perfis sedimentológicos dos poços offshore.

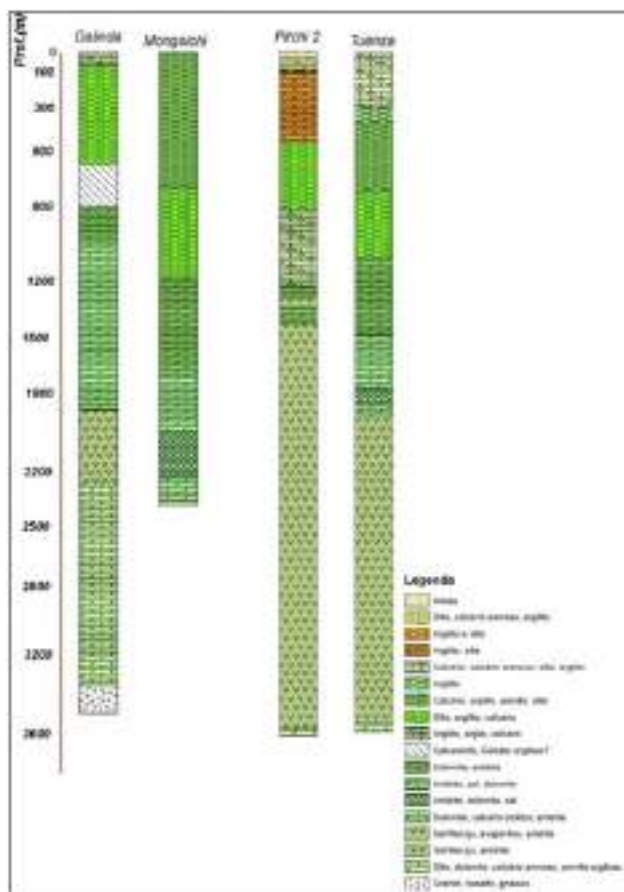


Figura 18: Perfis sedimentológicos dos poços Galinda, Mongaichi, Pitch 2 e Tuenza.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os trabalhos de campo basearam-se na observação in situ dos principais afloramentos existentes na área de estudo tendo em conta as principais fácies litoestratigráficas, estruturais, suas geometrias assim como se procedeu à colheita de amostras georreferenciadas. Assim, foram observados e analisados 23 afloramentos, dos quais 10 são apresentados neste trabalho.

A caracterização dos ambientes sedimentares e respectivas fácies foram feitas, para além dos resultados de trabalho de campo, também tendo em conta critérios litológicos, sedimentológicos e mineralógicos. A migração dos ambientes sedimentares cujas litofácies e litoestratigrafia constam deste trabalho indica passagem de ambientes evaporíticos de sabkha a ambientes litorais geralmente de baixa energia hidrodinâmica (lagunas sensu latum) em que ocorreu a precipitação de dolomite e anidrite. A passagem lateral de litofácies e dos respectivos ambientes sedimentares indicam o forte aumento da componente detrítica, sugerindo uma relação com movimento regressivo, formando um ambiente marinho de baixa profundidade (plataforma mista) no qual vão predominar siltitos, lutitos e alguns calcários no topo, os quais aparecem interestratificados. A sequência da parte superior sugere o acentuar do referido movimento

regressivo em que as litofácies são caracterizadas, para além da componente detrítica pela ocorrência de gesso (lago efêmero tipo playa?).

Perfis Estratigráficos

Para análise da arquitectura estratigráfica da Bacia do Cuanza foram elaborados, ao longo dos 12 poços distribuídos na Bacia do Cuanza (interior e exterior), 3 perfis estratigráficos, nomeadamente, offshore, Z-onshore (Figura 19) e Z-G (Figura 20), onde G se refere ao perfil do poço Galinda.

O perfil estratigráfico Z- onshore compreende as colunas do poço Zimbo 1 e das restantes colunas dos poços distribuídos no onshore.

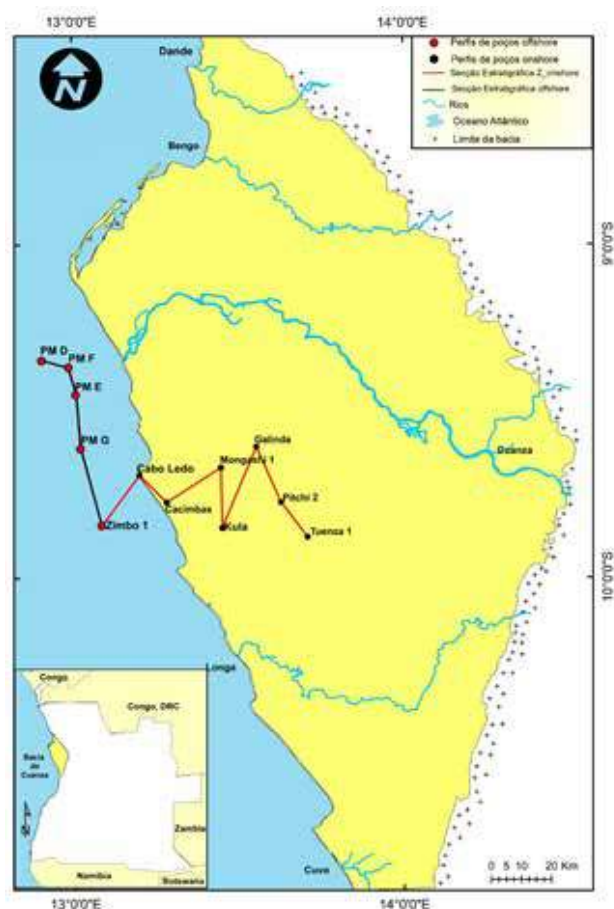


Figura 19: Representação das secções estratigráficas offshore e Z-onshore.

De realçar que os perfis estratigráficos Z-G offshore e Z-onshore partilham o registo sedimentológico e estratigráfico obtido no poço Zimbo 1. A secção estratigráfica offshore, tal como o nome indica, compreende todos os perfis de poço localizados na bacia exterior do Cuanza (offshore). A secção estratigráfica Z-G compreende os perfis de poços Zimbo 1, Cacimbas 1, Mongaichi 1, e Galinda. Todavia, estas secções estratigráficas foram elaboradas no sentido de se estabelecer uma correlação litoestratigráfica mais ampla entre os respectivos perfis de poços.

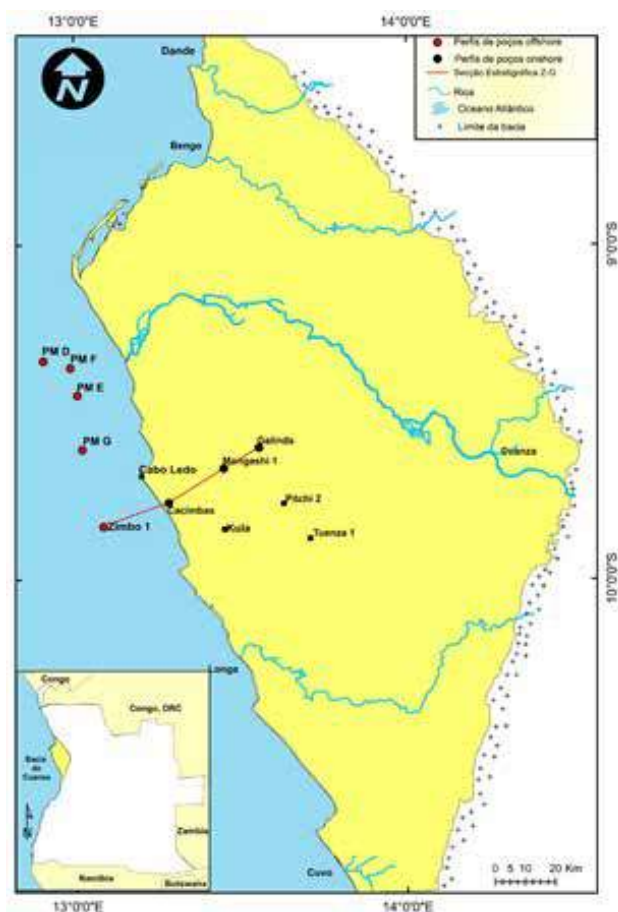


Figura 20: Representação das secções estratigráficas Z-G.

Correlação Litoestratigráfica

A correlação litoestratigráfica consistiu na identificação, delimitação e interpretação de cada unidade litoestratigráfica de modo a se obter a correspondência entre o registo estratigráfico dos diferentes perfis de poço. Uma vez estabelecidas as secções estratigráficas de diferentes áreas e a respetiva equivalência dos estratos, pretende-se construir um quadro da arquitetura da Bacia do Cuanza com a finalidade de se compreender o comportamento da sequência estratigráfica regional.

Assim, efectuaram-se correlações litoestratigráficas entre os 12 perfis de poços a partir das secções estratigráficas referenciadas anteriormente. A correlação litoestratigráfica efectuada (Figura 21) indica que a unidade litoestratigráfica Cabo Ledo é a que apresenta maior equivalência lateral ao longo da referida secção. Todavia, de um modo geral e com base na geometria dos estratos, ou a partir da geometria do tecto e do muro, a secção completa apresenta estratos lenticulares e estratos em forma de cunha, visto que são limitados por superfícies planas não paralelas entre si, e que terminam lateralmente por perda progressiva de espessura.

A correlação litoestratigráfica efectuada indica que os perfis de poço Zimbo 1 e PM D apresentam unidades litoestratigráficas que apresentam uma boa continuidade lateral.

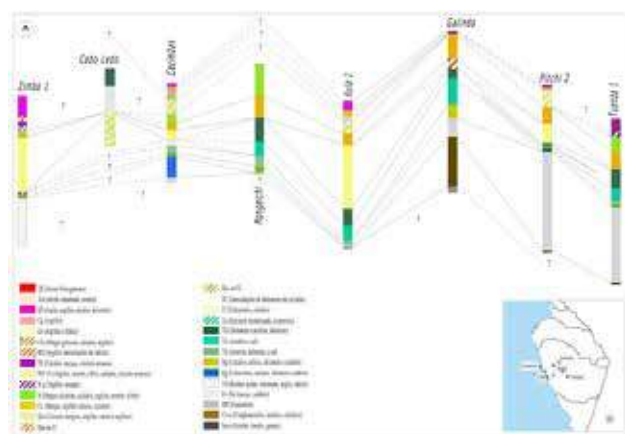


Figura 21: Representação da correlação litoestratigráfica referente a secção estratigráfica Z-onshore.

Entre estes perfis de poço, nota-se que os perfis de poço PM G, PM E e PM F, apresentam poucas unidades litoestratigráficas apesar de terem espessuras consideráveis (Figura 22). A unidade litoestratigráfica Quifangondo é a que apresenta maior equivalência lateral ao longo de toda secção.

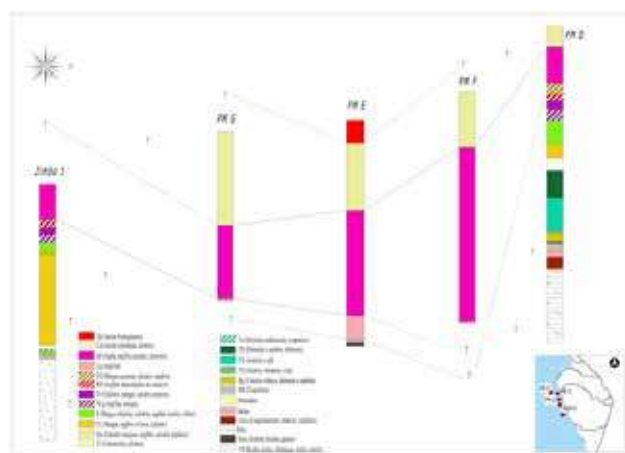


Figura 22: Representação da correlação litoestratigráfica referente a secção estratigráfica offshore

Coluna Litoestratigráfica Reconstituída e Modelo Esquemático

Com base nos registos estratigráficos de cada poço foram elaboradas colunas litoestratigráficas, nomeadamente, coluna litoestratigráfica reconstituída a partir dos poços localizados no offshore com uma espessura total de 9133,3m e coluna litoestratigráfica reconstituída a partir dos poços localizados no onshore cuja espessura total é de 9100m. Estas duas colunas 1 e 2 foram elaboradas tendo em conta a espessura máxima das unidades litoestratigráficas de cada poço. A partir desta informação, verificou-se que as máximas espessuras das litofácies para os poços localizados no offshore estão presentes no perfil de poço PMD. Para os poços localizados no onshore as litofácies com espessuras máximas estão presentes no perfil do poço Galinda.

A reconstituição litoestratigráfica, tanto na bacia interior como na bacia exterior, permitiram correlacionar ambas as colunas reconstituídas e obter assim um modelo litoestratigráfico global para a área de estudo. O referido modelo possibilita compreen-

der a evolução da arquitetura estratigráfica e a geometria da disposição dos pacotes sedimentares. É de registar que, na base as espessuras das litofácies variam no sentido da bacia exterior para a bacia interior do Cuanza, e no topo ocorre o oposto, ou seja, as litofácies das Formações Luanda-Cacuaco e Quifangondo apresentam maiores espessuras no offshore, assim como as fácies do período rifte e a fase vulcano-sedimentar.

As fácies das Formações Cunga, Gratidão, Teba, Itombe, Cabo Ledo, Tuenza Salíferos, Binga, Quianga, Sal Maciço e Cuco apresentam maiores espessuras no onshore. As fácies das Formações Quissonde, Catumbela, Tuenza Dolomítico, e Tuenza Anidritico apresentam uma equivalência em termos de espessura, tanto no offshore como no onshore. Pese embora não se ter um registo geofísico de apoio a correlação entre as colunas estratigráficas reconstituídas (Figura 23) indicam claramente que a acomodação sedimentar se deu, de uma forma geral, da parte continental para a zona marinha.

Em conjugação com as litofácies e respectiva migração, a qual se deu no mesmo sentido que o acima indicado, o registo global evidencia sedimentação em relação com movimento regressivo atingindo o máximo por regressão forçada durante o Paleocénico, caracterizado por lacuna generalizada. Para além desta lacuna, pela análise dos registos estratigráficos, aponta-se como muito prováveis outras rupturas sedimentares, à escala do hiato, que tenham ocorrido no topo da Formação de Sal Maciço e, mais tarde, entre o topo da Formação Cunga e a base da Formação Quifangondo. Assim, a arquitetura estratigráfica obtida, sugere fortemente um clinoforme de baixo nível. A análise da correlação entre as colunas reconstituídas leva a considerar que as unidades litoestratigráficas são mais espessas na zona de onshore relativamente às da zona de offshore, havendo também a registar uma provável ruptura sedimentar abaixo da Formação Quifangondo.

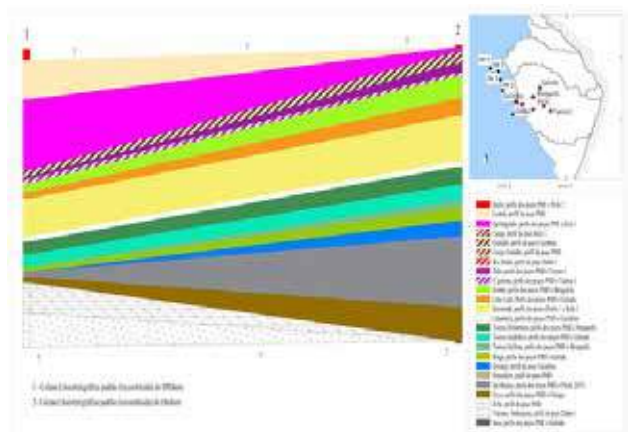


Figura 23: Modelo litoestratigráfico esquemático.

CONCLUSÕES

Para além das conclusões e das considerações que fomos retirando e tecendo ao longo do presente trabalho, realçamos as que abaixo se seguem:

A migração dos ambientes sedimentares a partir do Cretácico Inferior decorreu sem grandes interrupções (lacunas ou hiatos) até ao Cenozóico Superior, excepção feita à lacuna do Paleocénico em que se deu a carsificação de Formações

subjacentes e também o dismantelamento dessas estruturas tal como o atesta a ocorrência de calcários silicificados. Durante o Eocénico e o Oligocénico até ao Pliocénico há uma retoma transgressiva com controlo eustático variável, marcado por alguns hiatos estratigráficos, provocando a alternância de ambientes marinhos litorais e ambientes marinhos de plataforma. No Plistocénico o momento passa a ser claramente regressivo terminando em sedimentação continental detrítica sub-aérea. O sistema petrolífero foi inteiramente formado na etapa pos-rifte da Bacia do Cuanza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Andrade, H., Duarte Morais, M.L. & Sgrosso, I. The "Areias Cinzentas": a new continental formation of the Kwanza Basin (Angola). 15th Internacional Sedimentological Congress (IAS). Alicante (Spain), April 12-17. Abstracts: 284-285, 1998.
- [2] Baptista, C. Orla Sedimentar Angolana. DEI Geologia, Faculdade de Ciências (UAN), Luanda – Angola. Trabalho não publicado, 1991.
- [3] Bondo, Hortêncio. F. F. Litoestratigrafia e Modelo Sedimentar da Bacia do Cuanza (NW de Angola) Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Porto – Portugal, 2014.
- [4] Brice, S. E., Cochran, M. D., Pardo, G. and Edwards, A. D. Tectonics and sedimentation of the South Atlantic rift sequence: Cabinda, Angola. In: *Studies in Continental Margin Geology* (Eds J. S. Watkins and C. L. Drake), Am. Assoc. Petrol Geol. Mem. No. 34, pp. 5-18, 1982.
- [5] Brognon, G.P., e Verrier, G.R. Oil and geology in cuanza basin of Angola. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. Vol50, nº1 (January, 1966), p 108-158, 36. Cap.17, 1966.
- [6] Burwood, R. Source rock control for Lower Congo Coastal and Kwanza Basin petroleum systems, in Cameron, N.R., Bate, R.H., and Clure, V.S., eds., *The oil and gas habitats of the South Atlantic: Geological Society [London] Special Publication 153*, p. 181 – 194, 1999.
- [7] Diva – Gis, free, simple & effective. *Spatial Data Download*. 2013.
- [8] Fina Petróleos de Angola. Relatório de poço da bacia do Cuanza. *Análise da amostragem dos cuttings das operações de perfuração*, 1970.
- [9] Geoluanda. Int. Conf., *Guide Book Luanda, Benguela, Dombe Grande*, 2000.
- [10] IGCA. Mapa topográfico de Cabo Ledo, E.1:100.000, folha nº 125. Ministério da Defesa. Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola, 1981.
- [11] Schlumberger. *Avaliações De Formações de Angola W.E.C., Paris: 1-95*, 1991.
- [12] Sonangol-Total. Carte geologique du bassin du Kwanza, Angola. Echelle 1:250.000. *Synthèse basée sur des missions de terrain, effectuées entre 1968 et 1972 par Total et C.A.P. TEP/DE/DIR-CONS, Octobre 1987, N° 58*, 1987.
- [13] Wohlhuter & Carnet, A. Tuenza I. Extrait du rapport geologique de fin de sondage. *Angola bassin de cuanza*, 1986. Tavares, T.S. Amonites de Angola, Sua Ocorrência no Mesozóico das Bacias Sedimentares de Angola. *Estratigrafia e Sistemática, Trabalho de fim de curso de Licenciatura, DEI de Geologia, Faculdade de Ciências (UAN)*, 2000.



Artigo n.º 10

Incentivo à conservação do património geológico de Angola

Encouraging conservation of the Angolan geological heritage

Nair Bernardo de Oliveira Fortunato de Sousa¹

¹Consultoria Privada, Rua Cmdt Bula BL20 R/C N°2, email: nairdsousa@gmail.com

CITAR COMO:

Fortunato de Sousa, N. B.
O. Incentivo à Conservação do Património Geológico de Angola. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 100-110

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 10/04/2020

Aceite: 29/06/2020

*Autor correspondente:

Nair Bernardo de Oliveira
Fortunato de Sousa (e-mail:
airdsousa@gmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de
Investigação em Ciências
Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

A autora declara que não
há conflitos de interesses

Resumo: O objectivo deste artigo é de incentivar a administração pública angolana e a academia nacional a trabalharem de forma integrada para a realização urgente de um inventário do património geológico nacional. Ao ser conhecida a magnitude do património geológico angolano, esta será certamente um grande incremento para fins científicos e educacionais, uma vez que geocientistas, investigadores e académicos podem juntos aplicar os seus conhecimentos obtidos para enfatizar o seu papel na sociedade de modos a preservar a Geodiversidade. É também uma forma estratégica de diversificar a economia angolana, exaltando o potencial turístico de Angola e consequentemente a sua publicação em organizações internacionais. A metodologia utilizada neste artigo é, em primeiro lugar, a recolha e processamento de dados existentes, relativamente as estratégias nacionais de conservação, bem como os geossítios angolanos existentes que já foram anteriormente descritos. Em segundo lugar, este artigo faz uma breve consideração sobre até que ponto a geoconservação tem sido actualmente aplicada em Angola, sugerindo estratégias de implementação de inventários, conservação, valorização, bem como de divulgação e monitorização do património geológico angolano. Com isso, os resultados mostram as enormes vantagens de se investir na conservação do património geológico nacional, uma vez que este investimento poderá, se bem aplicado, dar lugar ao desenvolvimento sustentável local. Assim, criam-se oportunidades para fins educacionais, potenciais oportunidades de investigação com benefícios económicos obtidos pelo investimento no geoturismo, bem como investir na construção de comunidades sustentáveis, onde a educação combinada é a base para alcançar soluções para quaisquer questões que a sociedade angolana possa eventualmente encontrar.

Palavras-chave: Geossítio, Geodiversidade, Geoconservação, Património Geológico, Geoturismo, Angola

Abstract: The purpose of this paper is to encourage the Angolan public administration and the national academy to work in an integrated manner for the urgent implementation of an inventory of the national geological heritage. Once the magnitude of the Angolan geological heritage is known, this will certainly be a great increase for scientific and educational purposes, since geoscientists, researchers and academics can together apply their knowledge obtained to emphasize their role in society in ways to preserve Geodiversity. It is also a strategic way to diversify the Angolan economy, exalting Angola's tourism potential and consequently its publication in international organizations. The methodology used in this article is primarily the collection and processing of existing data, regarding national geoconservation strategies, as well as existing Angolan geosites that have previously been described. Secondly, this article briefly considers the extent to which geoconservation has been currently applied in Angola, suggesting strategies for the implementation of inventories, conservation, valorization, as well as dissemination and monitoring of the Angolan geological heritage. The results show the enormous advantages of investing in the conservation of the national geological heritage, since this investment may, if well applied, give way to local sustainable development. Thus, opportunities are created for educational purposes, potential research opportunities with economic benefits obtained by investing in geotourism, as well as investing in the construction of sustainable communities, where combined education is the basis for reaching solutions to any issues that Angolan society may eventually encounter.

Keywords: Geosite, Geodiversity, Geoconservation, Geological Heritage, Geotourism, Angola

INTRODUÇÃO

Desde aproximadamente quatro décadas, a ideia de conservar o património geológico tem sido implícita, mas recebida por muitos profissionais com muitas reservas. Pesquisas intensivas sobre diferentes formas de conservação e exploração da geodiversidade têm sido feitas em todo o mundo e a primeira iniciativa foi aprovada pela Convenção da UNESCO para a Proteção do Património Mundial Cultural e Natural, em Paris, 1972. Cerca de 180 geossítios foram catalogados de acordo com as suas características geológicas na Lista do Património Mundial. Também a União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS) criou o Projecto Global de Geossítios com o objetivo de inventariar geossítios populares internacionalmente com significado científico, mas este projecto, infelizmente, não teve sucesso. Em 1992, com esforço, a Associação Europeia para a Conservação do Património Geológico (Pro-GEO) levantou o Projecto Geossítios Globais e organizou uma comissão para os países europeus. Por este motivo em particular, a Europa é conhecida como o continente com mais avanços na implementação de inventários e o Reino Unido, seguido da Espanha são considerados como os países mais desenvolvidos com geossítios inventariados e registados sob protecção legal (Lima, 2010). Assim, este artigo examinará até que ponto Angola de facto tem estado a trabalhar na implementação de estratégias de geoconservação, relatando geossítios anteriormente descritos. Em segundo lugar, irá sugerir estratégias para a conservação da geodiversidade que podem ser utilizadas pelas administrações públicas nacionais e tomadores de decisão política em cooperação com geocientistas, conservacionistas, especialistas em turismo, planeadores, académicos e a sociedade em geral. Finalmente, culminará com recomendações urgentes e muito importantes.

O termo Geodiversidade é definido como uma diversidade de processos geológicos que geram a ocorrência de paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que suportam a vida na terra, segundo Murray Gray (2004), membro da Royal Society for Nature Conservation no Reino Unido. Deste modo, em virtude de ser um suporte à natureza, deve-se ser atribuído um valor aos elementos da geodiversidade sendo estes contemplados como únicos e extraordinários. Acreditando que a geodiversidade necessita de maior observação e especial atenção em território angolano, o seu valor deve ser urgentemente reconhecido para permitir a sua conservação. Assim, Brilha (2005) define o Valor da Geodiversidade como sendo diverso, pois a mesma é comumente caracterizada nas vertentes científica, académica ou educacional, económica e cultural. Com isso, o Valor Científico da geodiversidade é atribuído quando é produzida informação geológica significativa permitindo o avanço da geociência, tanto na perspectiva nacional como mundial. Por exemplo, pode abrir portas para o conhecimento geológico e a interpretação da história da Terra, e controlar possíveis desastres naturais globais. O Valor Educacional de um geossítio é normalmente estabelecido quando o estudo de um geossítio é útil para a compreensão dos conceitos geológicos básicos que suportam as viagens de campo universitárias utilizadas para a pesquisa académica. Por sua vez, o Valor Económico é substanciado com base no potencial turístico dos geossítios. Na perspectiva cultural, um

geossítio pode ser associado a factos históricos e utilizado como sinal marcante de uma determinada região, como exemplo as Pedras Negras em Pungo Andongo, Malanje, que estão relacionadas com mitos que afirmam que as pedras estão marcadas com as pegadas da Rainha Nzinga Mbandi. Portanto, como se pode observar, a imensidão do valor da geodiversidade é óbvia. Porém, a sua protecção e conservação parecem ainda ser negligenciadas pela sociedade angolana, nomeadamente as instituições públicas, a academia e também a sociedade em geral. Assim, o acto de conservar a geodiversidade e geri-la de forma sustentável é conhecido internacionalmente como Geoconservação e toda a ocorrência geológica com valor científico, educativo, económico e cultural inquestionável é chamada de Geossítio depois de se fazer um inventário apropriado. O conjunto dessas ocorrências geológicas inventariadas reside normalmente no que tem sido internacionalmente chamado de Património Geológico.

PATRIMÓNIO GEOLÓGICO EM ANGOLA

Angola é um país que apresenta uma imensurável variedade de objectos geológicos com valor patrimonial. Infelizmente ainda não existem evidências de iniciativas de inventário efectivamente implementadas em todo o país e as autoridades competentes, tais como o Instituto Geológico administrado pelo Ministério dos Recursos Minerais, Petróleo e Gás, o Instituto Nacional de Áreas de Conservação (INBAC) sob tutela do Ministério do Ambiente, Turismo e Cultura, os Departamentos de Geologia de universidades públicas e privadas, bem como o Museu Nacional de História Natural, que deveriam ter esta responsabilidade, parecem ainda ignorar esta questão à qual pouca importância se tem dado. Como evidência disso, tem-se observado que quando se trata de Geoconservação, a legislação angolana actual é vaga e pouco clara; uma vez que esta é principalmente direccionada para a conservação da biodiversidade e do património biológico, reforçando assim os actuais equívocos da natureza, que confundem-na apenas com a sua componente biológica, esquecendo da sua componente geológica. Este é o caso específico do Decreto Presidencial Nº26/20 de 6 de Fevereiro, que demonstra que diante da comunidade internacional, Angola assumiu o compromisso de conservar a sua biodiversidade nacional ratificando a Convenção sobre a Diversidade Biológica em Abril de 1998. Com isso, foi aprovada a Estratégia Nacional da Biodiversidade 2019-2025, bem como o Plano Nacional da Biodiversidade (NBSAP) em 2007 completamente implementado em 2012. Tal estratégia teve como uma de suas metas principais evoluir de 6.6 % a 15 % o total de áreas de conservação da biodiversidade no país. Assim, no âmbito deste quadro legal Angola detém actualmente 12.58% de áreas de conservação perfazendo um total de 156.909,06 km² de superfície. Neste contexto, a legislação angolana actual falha em não prever a componente geológica correspondente a conservação da geodiversidade apesar de existir um plano de conservação da biodiversidade para os sectores de Geologia, Minas e Petróleo. Com isso, embora que as políticas, estratégias e programas de conservação existentes no país sejam muito bem articuladas estas pecam por ignorar a vertente geológica da natureza. Além do facto de ser surpreendente que a Geoconservação não seja ainda um termo bem conhecido por parte das institui-

ções públicas em Angola e que um inventário nacional ainda não tenha sido formalmente divulgado.

Uma primeira tentativa angolana de implementar uma espécie de inventário teórico nacional foi registada com a nomeação das 7 Maravilhas Nacionais de Angola, entre os anos de 2013-2014. Foi um projecto institucional organizado pelo executivo angolano, com o objectivo de promover o património natural nacional e reforçar o conhecimento do país por parte da comunidade (Tavares et al 2015). De facto, esta foi uma iniciativa brilhante que além de incentivar a conservação do património nacional demonstrou também que existe muito por ser feito apesar da pouca ou quase nenhuma interacção dos departamentos universitários de geologia existentes no país, uma falha susceptível de crítica válida.

Seria oportuno que Angola pudesse começar a utilizar a experiência de outros países, como o Brasil e a Argentina, que têm demonstrado um compromisso crescente em envolver instituições geológicas e universidades de forma oficial, com a intenção de criar Geoparques e submetê-los nas Redes Globais de Geoparques apoiadas pela UNESCO tal como menciona Medina (2012). Assim, o Decreto Presidencial N°26/20 de 6 de Fevereiro demonstra que Angola detém actualmente 9 parques nacionais, 1 parque regional e 4 reservas integrais ou parciais. Estes, infelizmente ainda não constam na lista de Geoparques da UNESCO, não se sabe ao certo se por negligência institucional ou se por falta de requisitos para tal.

De Wit and Anderson (2003) relataram que pelo menos uma pequena porção do território nacional, nomeadamente o lado sudoeste de Angola, está inserido nos Corredores Africanos Vivos, uma campanha internacional realizada pela Gondwana Symposium com o objectivo de documentar a autobiografia do continente através da ligação de geossítios exclusivos de topo. Embora que não tenha preço ter uma pequena parte de Angola envolvida num projecto desta ordem, é infeliz o facto de não haverem evidências do envolvimento formal do executivo angolano, ministérios envolventes nem dos departamentos universitários de geologia. Adicionalmente, é de aplaudir o facto de uma peça do património cultural angolano ter sido recentemente incluída na Lista do Património Internacional da UNESCO com provas da capital política e espiritual do Reino Mbanza Kongo, que inclui a residência real, a corte tradicional e os locais de sepultamento reais. Também os sítios Cuito Cuanavale, Tchtundudo Hulo e o Corredor Cuanza foram mencionados como os últimos candidatos à Lista do Património Mundial da UNESCO mas para que isso aconteça é necessário cumprir com requisitos específicos, dentre estes o pré-requisito fundamental que constitui a realização de inventários nacionais (Angop, 2019). Este facto por sua vez, demonstra a importância da implementação de inventários nacionais, não somente na perspectiva cultural mas de igual modo na perspectiva geoconservacionista. Assim, a Comissão Nacional Multisectorial para a Salvaguarda do Património Cultural Mundial estabeleceu um plano de acção a implementar

entre os anos 2018-2024. Este plano visa envolver instituições nacionais e internacionais, tais como a UNESCO, os Monumentos e Sítios, o Comité do Património Mundial e o Fundo do Património Mundial Africano, que propôs a primeira versão do Regulamento Interno do Grupo Técnico da Comissão (Sapo, 2018). Com isso, mais uma vez, os regimes jurídicos, atribuições, direitos e obrigações, estrutura, natureza, composição e competências, bem como a sua gestão administrativa e financeira estão a ser estabelecidos sem a cooperação da comunidade geocientífica do país e a necessidade de conservação da geodiversidade está mais uma vez a ser esquecida. Por isso, o esforço e as boas intenções das conhecidas tentativas de conservação do Património Histórico e Cultural Angolano são bem-vindas. No entanto, é igualmente necessário prestar mais atenção à Conservação do Património Geológico no país. O actual estado de monitorização e conservação dos geossítios tem sido deficiente e é maioritariamente desconhecido. É deplorável que os escassos geossítios inventariados em Angola, nem as administrações públicas nem a academia oficial angolana detenham a literatura existente. Dá a ideia de que qualquer pessoa tem fácil acesso aos geossítios, fazendo com eles o que quiser, quer seja para explorar cientificamente os geossítios ou mesmo para os destruir. Portanto, é satisfatória a existência de alguns casos de geossítios inventariados, ainda que seja resultado de estudos de casos isolados sem progressão. Assim, desde o ano de 2012 que a região sudoeste de Angola nas Províncias da Huíla e Namibe tem sido alvo de estudos de geoconservação. Geossítios de elevado valor paisagístico e iconográfico nacional foram inventariados de forma independente e a sua informação geológica associada foi sintetizada. São eles a Serra da Leba, Egípto-Praia, as Grutas de Sassa e as Cascatas de Binga, situadas nas províncias do Namibe, Huíla, Benguela e Kwanza Sul. Estes geossítios são formados por contextos geomorfológicos diferenciados, tendo um ponto comum registado na série carbonatos sedimentares, desde as sucessões dolomíticas do Proterozóico, do Planalto da Humpata até à série Cretácea da Bacia de Benguela (Duarte et al, 2015). A Região do Arco drenada pelo rio Curoca no Namibe é uma zona húmida de extraordinário e incrível interesse turístico (Maquina et al, 2012). Henriques et al (2012, 2013) inventariaram a Serra de Chela, localizada no Lubango e a escarpa de Tundavala, no planalto de Humpata que é definida pela bacia sedimentar do Cratão do Congo, da era Paleo-Mesoproterozóica. Domingos et al (2015) também inventariaram a Serra da Leba, em que Tavares et al (2012) abordam uma visão geral e científica do envolvimento da comunidade na Geoconservação. Portanto, estas pesquisas são bastante apreciáveis e de grande valia mas, em certa medida deixam explicitamente a ideia de que ainda há muito mais por ser feito.

PROPOSTA DE ESTRATÉGIA DE INVENTORIAÇÃO DOS GEOSSÍTIOS EM ANGOLA

Um processo de geoconservação geralmente começa com um inventário de geossítios como primeiro passo e o objetivo é identificar geossítios com relevância científica, pedagógica, económica (turística) e/ou cultural. As publicações de geocon-

servação são abundantes sob várias condições dos países hospedeiros. No entanto, nem sempre o procedimento descritivo é claro e conciso. Como Angola é uma república de 18 províncias com imensa extensão territorial, é praticamente impossível realizar um trabalho de campo sistemático. Neste caso, normalmente sugere-se como melhor método de inventário o Quadro Geológico proposto pelo ProGEO desde o Projecto Global de Geossítios da IUGS devido ao gigantesco número de geossítios com valor científico. Tal como foi referido por Lima (2010), esta metodologia consiste num conjunto de categorias geológicas que devem integrar os principais eventos geológicos com testemunhos consideráveis no território. Para cada categoria são identificados e avaliados os geossítios relevantes que devem ser agrupados de acordo com o seu valor e interesse científico. Deste modo, as categorias geológicas podem ser definidas de acordo ao valor geomorfológico, estratigráfico, tectónico e geocronológico dos geossítios. Portanto, de acordo com a realidade do país, existem vários benefícios e desvantagens na implementação desta estratégia de geoconservação; ou seja, de um inventário nacional:

A: Benefícios

É necessário adoptar meios eficazes para implementar estrategicamente os procedimentos de conservação da geodiversidade. Assim, o melhor método para inventariar geossítios com valor reconhecido é a realização de auditorias rigorosas, fazendo avaliações contínuas e critérios de selecção precisos. Um consenso entre os especialistas em geologia da área é uma garantia de um método de inventário satisfatório (Reynard e Brilha, 2018). Este é certamente um benefício, pois deve ser ideal identificar num grupo quais são os principais propósitos, o tipo de informação que se espera que seja considerada e o que fazer com ela no futuro. A definição do objectivo é parte do processo de inventariação que começa com uma revisão da literatura fiável existente na região, tais como teses, guias de visitas de campo, seguido de um levantamento dos pontos de referência tendo em conta a importância do geossítio. Deve ser definido um objectivo com tópicos e a estes um valor e uma utilização devem ser estabelecidos. O tópico é o tema geológico inventariado no qual o geossítio será classificado, como perspectivas paleontológicas ou geomorfológicas. O valor, como foi mencionado anteriormente, pode ser categorizado como científico, pedagógico, turístico, cultural, etc, e está intimamente relacionado com o uso que, na verdade, é o propósito de inventariar um geossítio. Assim, a utilização dos quadros geológicos como principal técnica de geoconservação é uma vantagem, uma vez que Angola tem um elevado número de geossítios com valor científico. E a informação geológica existente, como os mapeamentos topográficos e geológicos realizados por vários especialistas, pode ser utilizada para reduzir o esforço dos especialistas envolvidos, que são sempre demorados. Os grupos de trabalho podem ser divididos por um comité organizador que é um grupo de especialistas, incluindo geólogos, ambientalistas, académicos, gestores de projetos, funcionários da administração pública e guias turísticos responsáveis pela gestão de todas as actividades em geral, tais como o estabelecimento de cronogramas e trajetórias ou vias de acesso, finanças e logística. Outro grupo de geólogos e outros geocientistas do comité científico deve ser responsável por toda a informação

científica revisada, colectada e adequadamente armazenada durante o inventário antes e principalmente após a definição dos quadros geológicos nos quais geomorfólogos, paleontólogos, sedimentologistas, estratigrafistas podem estar mais envolvidos em geossítios muito específicos.

B: Dificuldades

Ao se abraçar a iniciativa de inventariar os geossítios é importante saber de alguns dissabores que não devem ser menosprezados. Como foi mencionado anteriormente, Angola é um país com uma vasta extensão territorial que representa aproximadamente 1,2 milhões de quilómetros quadrados em escala. Por esta razão, o quadro geológico baseado em subdivisões geológicas parece ser a técnica mais bem escolhida. A fim de controlar a questão com a extensão territorial do país, sugere-se que melhor que cada uma das 18 províncias não seja responsável pelo seu próprio inventário local devido à dificuldades políticas como a ausência de autarquias locais e a descentralização das administrações públicas que constitui uma desvantagem para a implementação de estratégias de geoconservação. Uma segunda limitação é que a geologia nacional e local ainda é largamente desconhecida, e se conhecida, os seus dados ainda não foram divulgados (Angop, 2018). Há uma falta de mapeamento geológico em grandes extensões do país. Além disso, o analfabetismo científico ligados à geoconservação e a falta de legislação apropriada são constrangimentos reais que reforçam a inexistência de um inventário nacional de geossítios. Devido ao facto de que os termos geoconservação e património geológico serem ainda conceitos praticamente novos no país, as redes de geociências em Angola, principalmente as administrações públicas e departamentos ministeriais não estão ainda conscientes e não consideram a geoconservação como um campo essencial a ser implementado nas universidades e na política interna do país.

C: Estabelecendo Estruturas Geológicas

Estabelecer estruturas geológicas é uma abordagem válida para organizar todos os dados geológicos para cada 18 províncias do país, a fim de incentivar a consequente prova reconhecível da representatividade dos geossítios em cada estrutura (Henriques, 2012). No entanto, uma das três principais abordagens na definição dos quadros geológicos é comumente estabelecida: a primeira é a abordagem geológica que classifica um geossítio em diferentes domínios geológicos como paleontologia, estratigrafia, geomorfologia, mineralogia, etc. O segundo quadro é baseado na escala temporal geológica, por exemplo, o Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico; e o terceiro, que é o mais adequado para inventariar os geossítios angolanos é baseado numa escala nacional/regional no contexto geológico. Como resultado, todos os quadros geológicos devem ser definidos de acordo com as suas subdivisões geológicas correspondentes a uma região natural independente das fronteiras administrativas, tais como exemplo os Cratões do Congo e Kalahari, Escudos do Mayombe, Aulacógeno do Congo Ocidental, etc.

D: Identificação e Caracterização do Património Nacional

Para identificar um geossítio de acordo com os quadros geológicos escolhidos, a opinião de todos os especialistas do grupo é essencial para decidir qual é o geossítio mais

representativo. Assim, todos os critérios definidos utilizados devem ter em conta o objectivo do inventário. Para a proposta angolana, onde o objectivo é distinguir geossítios com interesse científico, Renard e Brilha (2018) estabeleceram três critérios básicos para se identificar e caracterizar o património geológico. O primário critério utilizado é o Uso do geossítio, que consiste na utilidade do mesmo para fins científicos, educacional, geoturismo, recreação cultural, etc. Uma variedade de geoconservacionistas salientam a possibilidade de um único geossítio, em muitas ocasiões, se ajustar à uma combinação de usos.

O segundo critério é o Carácter de um geossítio que se relaciona com a adequação de um geossítio para delinear uma compreensão geológica significativa de acordo com a sua natureza ou forma física. Este carácter é geralmente definido pela presença de recursos geológicos disponíveis dentro do geossítio, tais como os fósseis que indicam de partida um carácter iconográfico geocronológico.

Outro critério é a Integridade de um geossítio considerando as actividades antropogénicas e os eventos naturais como as principais ameaças associadas ao grau de deterioração de um geossítio. A vulnerabilidade de um geossítio a ameaças dependerá, em grande medida, do uso do geossítio. Portanto, geossítios de carácter similar são propensos a ameaças semelhantes.

Por esta razão, a identificação do geossítio mais relevante parece ser uma tarefa complexa a realizar. Com isso, a maior parte dos geoconservacionistas sugere uma Avaliação Numérica ou uma Abordagem Quantitativa de forma a reduzir a subjectividade e obter informações mais detalhadas abordando aspectos intrínsecos dos geossítios, essenciais para a gestão dos mesmos, bem como os futuros planos de geoconservação.

No caso específico de Angola, sugere-se o Modelo Quantitativo de Conceitos, estabelecido por Pena dos Reis and Henriques (2009) que consiste num conteúdo de diferentes dados de elevada relevância e valor patrimonial, tal como ilustra a Figura 1. Assim, os geossítios a proteger poderão ser descritos tendo em conta o seu grau de relevância atribuído pelos geoconservacionistas versus o grau de percepção dos populares de modos a reflectir benefícios locais. Com isso, à todo o geossítio descrito deverá ser atribuído três diferentes tipos de relevância que são: relevância Local, quando os interesses e indícios materiais que se procuram salvaguardar são intrinsicamente ligados às comunidades; relevância Regional no caso de os geossítios demonstrarem ter capacidade documental científica fidedigna, no caso informação geológica relevante, atribuída pela comunidade geocientífica referente à eventos geológicos de escala regional que englobam eventos marcantes da geo-história. Por último, relevância Global quando envolve conteúdo iconográfico, tais como a presença de fósseis, mostrando relação directa com eventos geocronológicos de relevância global.

Neste modelo, cada base é descrita por alguns indicadores e cada indicador é pontuado com um parâmetro numérico. Por exemplo, um indicador utilizado para determinar o potencial uso científico de um geossítio é a Representatividade que

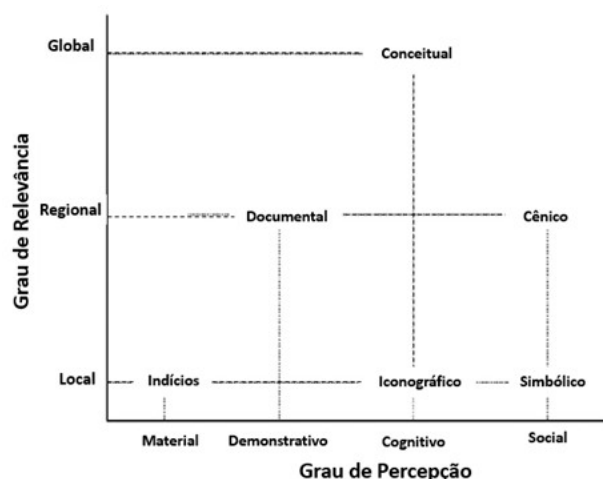


Figura 1: Modelo de Conceitos estabelecido por Pena dos Reis & Henriques (2009)

é então pontuada desde o menos representativo até ao mais representativo. Assim, a última pontuação do potencial uso do geossítio, bem como o seu risco de degradação para cada local é um conjunto ponderado de todos os critérios analisados. Portanto, o melhor número possível de geossítios a identificar para cada estrutura geológica é realmente difícil de determinar. Não pode ser um número baixo ou alto porque na hipótese remota de ser tão baixo existe o perigo de estes geossítios não estarem completamente representados na estrutura. Da mesma forma, no caso de ser demasiado elevado, será difícil lidar com o número total de estruturas geológicas. Assim, para evitar a redundância e subjectividade dos geossítios indistinguíveis, que é uma tendência muito usual para o consenso de especialistas, utiliza-se neste artigo os critérios exemplificados nas Tabelas I, II e III, modificadas a partir da Andaluzia (2012), que dão uma avaliação numérica completa e detalhada dos geossítios e da sua capacidade para suportar usos científicos, educacionais e geoturísticos/recreativos.

Tabela 1. Avaliação do potencial uso científico de um geossítio

REPRESENTATIVIDADE	Pontos
1 Aspectos Geológicos representado	1
2 Aspectos Geológicos representados	2
3 Aspectos Geológicos representados	3
4 Aspectos Geológicos representados	4
INTEGRIDADE	Pontos
Elevada exposição à ameaças	1
Média-Alta exposição à ameaças	2
Baixo-Médio exposição à ameaças	3
Sem risco de ameaças (natural/antropogénica)	4
CONHECIMENTO CIENTÍFICO	Pontos
Pouquíssima informação publicada	1
Baixo-Médio grau de informação publicada	2
Médio-Alto grau de informação publicada	3
Elevado grau de informação publicada	4
ACESSIBILIDADE	Pontos
Elevado risco de acessibilidade	1
Médio-Alto risco de acessibilidade	2
Baixo-Médio risco de acessibilidade	3
Baixo risco de acessibilidade	4

Tabela 2. Avaliação do potencial uso educacional de um geossítio

POTENCIAL DIDÁCTICO	Pontos
Informação geológica para todos os níveis de ensino	1
Informação Geológica para os níveis fundamental a médio	2
Informação Geológica de nível médio	3
Informação Geológica para o nível universitário	4
VARIEDADE DOS ASPECTOS GEOLÓGICOS	Pontos
2 aspectos geológicos sendo apenas 1 representativo	1
2 aspectos geológicos ambos representativos	2
3 aspectos geológicos só um é representativo	3
3 aspectos geológicos representativos (Stratig, etc)	4
SEGURANÇA	Pontos
Risco Elevado	1
Médio-Alto Risco	2
Baixo-Médio Risco	3
Baixo Risco	4
AMOSTRAS GEOLÓGICAS	Pontos
Fósseis impossíveis de ser recolhidos	1
Fósseis são dificilmente recolhidos	2
Fósseis recolhidos com baixa integridade	3
Fósseis são facilmente recolhidos	4

Tabela 3. Avaliação do potencial uso geoturístico de um geossítio

POTENCIAL DIDÁCTICO	Pontos
Informação geológica para todos os níveis de ensino	1
Informação Geológica para os níveis fundamental a médio	2
Informação Geológica de nível médio	3
Informação Geológica para o nível universitário	4
VARIEDADE DOS ASPECTOS GEOLÓGICOS	Pontos
2 aspectos geológicos sendo apenas 1 representativo	1
2 aspectos geológicos ambos representativos	2
3 aspectos geológicos só um é representativo	3
3 aspectos geológicos representativos (Stratig, etc)	4
SEGURANÇA	Pontos
Risco Elevado	1
Médio-Alto Risco	2
Baixo-Médio Risco	3
Baixo Risco	4
AMOSTRAS GEOLÓGICAS	Pontos
Fósseis impossíveis de ser recolhidos	1
Fósseis são dificilmente recolhidos	2
Fósseis recolhidos com baixa integridade	3
Fósseis são facilmente recolhidos	4

Contudo, para cada geossítio, uma caracterização definitiva deve contar com uma descrição geral e geológica. Como resultado, uma Descrição Geral contém informações como o nome do geossítio, sua localização, status administrativo (público ou privado), proteção legal, acessibilidade e detalhes de vulnerabilidade. Ao passo que uma Caracterização Geológica descreve cada geossítio e legitima a sua consideração no inventário. Esta última inclui informações como a estrutura geológica, considerando que um geossítio pode corresponder a mais de uma estrutura. Também contém uma descrição do geossítio com conteúdo geológico e ilustrações de excertos de mapas topográficos, geológicos e muitas outras observações.

Assim, tanto as caracterizações gerais como geológicas são suficientes para realizar o objectivo definido para o inventário de geossítios em Angola.

Depois de verificada a exactidão de toda a informação, esta deve ser transferida para uma base de dados informatizada, sendo esta a fonte de informação vital do inventário.

Uma pontuação final deve ser atribuída aos geossítios em percentagem e o cálculo deve ser ponderado de forma a medir os riscos de degradação dos geossítios podendo assim reduzir a subjectividade. Os resultados devem fazer sentido e, assim que o inventário e as últimas pontuações de todos os geossítios estejam concluídos, o comité científico que coordenou a tarefa pode transmitir os resultados aos especialistas que têm a capacidade legal para implementar estratégias nacionais de geoconservação que possibilitam os gestores e administradores de projectos turísticos definir as principais preocupações e fazer escolhas mais astutas tendo em conta a sustentabilidade e desenvolvimento local, tal como descreve Brilha (2005).

E. Plano de Conservação Eficaz do Património Geológico

Como mencionado anteriormente, o uso, o carácter e a avaliação da integridade de um geossítio desempenham um papel significativo na compreensão da sensibilidade de um geossítio a ameaças. Consequentemente, a necessidade de conservar os geossítios é estabelecida com base no potencial risco de degradação.

De acordo com a visão da maioria dos geoconservacionistas tais como Medina (2012), a necessidade de conservar um geossítio é igual à soma do seu valor mais o conjunto de ameaças que enfrenta. Assim, considera-se a equação simples que se segue:

$$\text{Necessidade de Conservação} = \text{Valor} + \text{Grau de Ameaça}$$

Uma vez que Angola é ainda considerada um recém nascido quando se trata de Estratégias de Geoconservação, a conservação dos geossítios em todo o país passa a ser uma prioridade obrigatória que sugere estratégias de geoconservação eficazes e planos claros de visão abrangente. A situação é vista desta forma porque a legislação actual em vigor referente à estratégia nacional de conservação, a pesar de existente, tem foco unicamente na vertente da biodiversidade, tal como já acima referido.

Assim, para que Angola esteja de facto preparada para atender as demais ameaças à integridade dos geossítios, é então necessário determinar práticas de desenvolvimento de longo prazo de carácter científico, nomeadamente ligadas à vertente geológica da natureza.

No entanto, é aqui sugerido um conjunto de práticas que se consideram atribuir o devido valor geológico das paisagens a fim de manter a sua acessibilidade e uso levando em consideração a vulnerabilidade à qual um geossítio está exposto.

Deste modo, a execução dessas práticas é então conhecida como Planeamento de Resposta à Ameaças, que muitas vezes depende das prioridades e circunstâncias locais. Este planeamento envolve a identificação de todos os recursos necessários

para a conservação dos geossítios, considerando os impactos da aplicação de medidas de forma sustentável.

Assim, devem ser distinguidos os diversos locais para melhoria dos geossítios, um exemplo claro é a Região do Arco do Namibe, que é um geossítio extremamente delicado devido à elevada erosão a que está exposto. Por conseguinte, as acções para mitigar o seu processo de degradação são urgentes e obrigatórias. Logo, é necessário adoptar estratégias e acções de natureza política, científica e técnica que garantam e salvaguardem os valores geodiversitários do geossítio com a intenção de promover seu desenvolvimento sustentável (Maquina et al, 2012).

Além disso, um Plano de Gestão é essencial para determinar acções e recursos que permitam controlar os potenciais riscos que possam dificultar a execução de determinado plano. Por exemplo, um bom plano de manejo a ser implementado deve envolver as comunidades locais em todos os processos de conservação, desde a implementação do inventário até a avaliação e monitoramento das áreas de conservação. Tal como referido por Tavares et al, (2015) a garantia da integridade física dos geossítios é permitir que a população local esteja completamente consciente das potenciais ameaças e procedimentos usados para protegê-los. O impacto desta medida tem um grande benefício, pois os geocientistas, em colaboração com as administrações públicas e comunidades, irão detalhar estratégias baseadas num sistema legal para o reconhecimento dos diversos geossítios e sua protecção.

Contudo, instigar parcerias entre departamentos de geologia, administrações locais, gestores de projectos turísticos e comunidades é extremamente importante para o sucesso e a continuidade dos planos, pois pode impulsionar a melhoria da legislação existente.

Portanto, o principal objectivo da conservação de um geossítio é manter sua integridade física e, ao mesmo tempo, garantir a sua acessibilidade ao público. Para isso, é necessário sensibilizar as comunidades angolanas de forma a apoiar a geoconservação e reduzir potenciais ameaças, principalmente as resultantes de actividades antropogénicas. Por exemplo, identificar os geossítios com maior risco de degradação é uma boa estratégia de conservação a ser implementada, pois muitas vezes estes são os geossítios com maior capacidade para serem amostrados cientificamente. Assim, elimina-se a possibilidade de perda da sua integridade, quer física quer científica, que devem ser considerados em estudos científicos.

Para cada acção desenvolvida, deve-se prestar atenção à presença de fósseis ou minerais em risco iminente de destruição, que são expostos por actividades antropogénicas, quando os fósseis são colectados desnecessariamente ou em eventos naturais como a erosão. Neste caso, as amostras devem então ser recolhidas, fotografadas e divulgadas em museus, facilitando o acesso a outros especialistas e ao público em geral.

Devem ser criadas barreiras físicas para evitar o contacto directo do público com o geossítio. Desta forma, é valorizado

o geossítio, seu risco de deterioração é avaliado e o conhecimento a respeito dele é divulgado. Um pequeno número de países tem aplicado plenamente esta estratégia por completo em todo o território, mas tem sido aplicada na íntegra a geossítios muito específicos, pelo menos.

Portanto, existem muitas evidências de que a inexistência de inventários estruturados pode causar uma degradação gradual e completa de geossítios relevantes.

DISCUSSÃO

Segundo Dowling (2010), a integração da geologia com paisagens naturais dá lugar ao que é conhecido como Geoturismo. Esta é então, uma iniciativa que visa pôr em evidência e valorizar de forma sustentável lugares, ou seja, geossítios de carácter paisagístico elevado no ponto de vista geo-turístico.

Assim, Angola é dotada de geossítios de elevado valor iconográfico que foram inventariados de forma independente em que a sua informação geológica representa elevado valor científico (de carácter sedimentar, estratigráfico e cartográfico) e económico (património turístico) bem como o valor histórico associado ao simbolismo das populações locais.

Assim, após estabelecidas as estruturas geológicas que permitem reconhecer a representatividade de um geossítio e identificar o seu potencial uso, carácter e integridade; bem como efectuados planos eficazes de geoconservação, os diferentes geossítios e a relevância dos seus dados devem ser formalmente divulgados.

Contudo, para demonstrar na prática todo processo de conservação de geossítios acima descrito, este artigo usa como modelo um dos patrimónios geológicos mais ricos de Angola que está localizado no Planalto da Humpata (13° 22' S; 14° 49' E) a 20Km da cidade do Lubango, província da Huíla. Este está constituído por dois geossítios iconográficos que são a Serra da Leba e as Fendas da Tundavala, separados por 55,6 Km de distância em relação um ao outro (Figura 2).



Figura 2: Área Modelo de Estudo: Planalto da Humpata (Imagens ©2020 Landsat/Copernicus)

A borda ocidental do Planalto da Humpata consiste em uma unidade morfo-estrutural do Cratão do Congo com idade Paleo-Proterozóica a Mesozóica depositada no intervalo de 1947-1810 Ma (Pereira et al., 2011). Esta compreende uma das poucas bacias intracratônicas pouco deformada, relatando registos marcantes da história da formação do Gondwana, por conseguinte, a história de formação da Terra.

Compreende a sucessão silico-clástica do Grupo Chela que possui faces bastante acidentadas com orientações alternadas entre NW-SE e NE-SW, formando polígonos pequenos a oeste e sudoeste, embora que à nordeste o seu aspecto seja dendriforme (Lopes et al., 2012). Assim, as fracturas e cânions profundos a oeste apresentam cerca de 2200 m de altura nas Fendas da Tundavala, terminando à sudoeste com falésias de cerca de 1000 m de altura que constituem a Serra da Leba em direcção à província do Namibe (Henriques et al., 2013).

Utilizando o modelo conceitual de Pena dos Reis (2009), ambos os geossítios possuem grande valor científico com carácter maioritariamente geomorfológico, apresentando também considerável interesse sedimentológico e geocronológico. Apresentam de igual modo impressionante valor cênico, não somente pela sua dimensão paisagística mas principalmente devido ao simbolismo à eles associado.

Assim, tal como relatado por Tavares et al (2015), o nome atribuído às Fendas da Tundavala vem do entendimento da população local sobre as marcas naturais da região, que

é expressado a partir do termo original do dialecto Nyhaneka "Ntandavala", que significa "a abertura, ou mesmo, o espaço entre dois lados", tal como ilustrado na Figura 3.

O termo Leba, por sua vez, deriva da palavra "Eleva" que, na língua nacional Nyhaneka, significa "caverna". Foi assim denominado atendendo ao relevo acentuado da região que comumente dificulta o acesso e movimento de visitantes. Entretanto, passou a ser chamado de Leba devido ao facto de que durante o século XIX europeus, nomeadamente portugueses assentaram-se nesta região, atraídos pelo clima agradável bem como pela fertilidade dos solos, tal como descreve Vale et al (1973). Assim, tendo alguns portugueses a tendência de pronunciar a letra "b" no lugar da letra "v", o termo eleva passou a ser eleba, dando então lugar ao que se conhece actualmente por Serra da Leba.

Esta apresenta conteúdo iconográfico de carácter paleontológico, pois possui um registo expressivo de estromatólitos. É considerado como um dos mais emblemáticos geossítios de Angola, ressaltando as reentrâncias da Estrada da Leba, uma obra de engenharia paisagística única. Apesar disso, não foi ainda submetida à medidas formais de Geoconservação Nacional, pelo que, Duarte et al (2014) consideram o conhecimento geológico deste geossítio como sendo razoável, salientando a necessidade de maior investigação científica em torno do mesmo. Assim, a partir da imagem ilustrada na Figura 4 é possível verificar que este geossítio é dotado de valor estético considerável, podendo proporcionar a expansão do geoturismo em Angola.



Figura 3: Fendas da Tundavala

Fotógrafo: Jessé Manuel



Figura 4: Serra da Leba

Fotógrafo: Jessé Manuel

Em termos estratigráficos o Planalto da Humpata é correspondente ao Grupo Chela, Formação Leba, sendo ambas as unidades estratigráficas depositadas na ampla bacia epicratónica após o episódio tectonometamórfico eburneano (Pereira et al., 2011). Dentre as bacias sedimentares proterozóicas do Cratão Congo, o Grupo Chela é das bacias relativamente pouco deformadas, permitindo a reconstrução da sua coluna estratigráfica representativa (Pedreira & Wale, 2008). Este registo está bem exposto ao longo da orla ocidental do planalto de Humpata, documentando assim os primeiros registos históricos da formação do Gondwana, destacados por Toteu et al (2010). Assim, da base ao topo o Grupo Chela apresenta a Formação Tundavala (conglomerados lenticulares e quartze-reníticos com estratificação cruzada), a Formação Humpata (rochas vulcanoclásticas com siltitos entrelaçados), a Formação Bruco (conglomerados vulcanogénicos na base, arenitos sobrepostos e sedimentos entrelaçados com níveis vulcânicos e conglomerados) e a Formação Cangalongue (alternância de argilas cinzentas, calcários e arcossarenitos vermelhos). Este grupo é então sobreposto pela Formação Leba (dolomites estromatolíticas com raras intercalações de siltitos), tal como descreve Tavares et al (2015) ilustrado na Figura 5 abaixo.

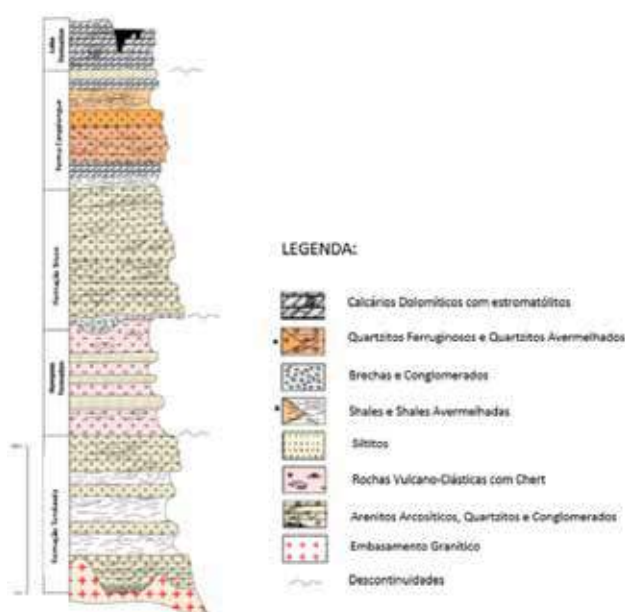


Figura 5: Coluna Estratigráfica do Grupo Chela, afloramentos da parte ocidental do Planalto da Humpata, modificado a partir de Pereira et al (2013) e Lopes et al (2012) e traduzido a partir de Tavares et al (2015).

Os resultados deste modo, demonstram que os geossítios da Tundavala e da Leba exibem valor patrimonial de relevância local e conteúdo documental de relevância regional atribuído pela comunidade geocientífica. De igual modo, ambos os geossítios apresentam conteúdo cénico marcado pelo simbolismo cultural enfatizado pelo papel social que a comunidade os atribui (Tavares et al., 2015). Assim, o modelo de geoconservação resultante, baseado na geração e gestão de conhecimentos fundamentados por geoconservacionistas e no envolvimento das comunidades, reforça as estratégias de geoconservação e consequentemente a capacidade de monitorização e revisão contínua dos geossítios.

Assim, para enfatizar todas as estratégias e planos de conservação do Património Geológico de Angola descrito neste artigo, urge a necessidade de citar a Constituição da República de Angola, em particular o seu 39º artigo que refere que:

- 1-Todo o cidadão tem o direito a viver em ambiente sadio, não poluído, tem o dever de defender e preservá-lo;
- 2-O estado adopta medidas necessárias de Protecção do ambiente, das espécies da flora e fauna em território nacional, a manutenção do equilíbrio ecológico, a exploração e uso racional de todos os recursos naturais no quadro de desenvolvimento sustentável e do respeito pelos direitos das gerações futuras e da preservação das diferentes espécies;
- 3-A Lei pune todos os actos que ponham em perigo ou lesem a preservação do ambiente.

Por conseguinte, surgem as seguintes questões: Porque razão ainda não existe na prática o envolvimento das comunidades no processo de conservação? De acordo com Tavares et al (2015) salientar o papel das comunidades locais é particularmente apropriado para alcançar os principais objectivos de progredir as teorias conservacionistas. Assim avaliação comunitária dos geossítios Tundavala e Leba deve funcionar como mais-valia na implementação de medidas de gestão que exigem acções capazes de promover o empoderamento local.

Outra questão pertinente é: Será que as actuais medidas adoptadas pelo estado têm sido as mais apropriadas quando se trata de conservação do ambiente e/ou natureza? A resposta à esta questão está bem relatada na pesquisa feita por Henriques et al (2013), que salienta que a conservação da geodiversidade, em particular, está ainda longe de ser uma preocupação política de conscientização pública em Angola. Apesar de estar patente na Constituição que por norma, o actual património geológico deve ser passado para as gerações vindouras como uma potencial oportunidade de pesquisa, tal facto ainda não é aplicado na íntegra.

Por último, levanta-se outra importante analogia que questiona a precisão da legislação angolana ao longo dos tempos, desde as mais antigas até as mais recentes. Este é o caso específico da Lei No. 14/05 de 7 Outubro de 2005 sobre o Património Nacional, que menciona os dois geossítios do Planalto da Humpata definindo-os como “as formações físicas e espécies biológicas dotadas de valor estético ou científico; formações geológicas e formações fisiográficas que constituem o habitat de plantas e espécies animais que possuem valor científico do ponto de vista conservacional considerados como lugares cénicos de elevada beleza natural”. Assim, nota-se com facilidade o quão vaga e abstrata é esta lei devido ao foco unilateral para à biodiversidade. Assim, apesar do seu valor geopatrimonial e interesse turístico, a Serra da Leba e as Fendas da Tundavala continuam fora de qualquer programa de geoconservação mesmo depois de a última ser classificada por Decreto Presidencial No. 262/12 de 21 Agosto de 2012 como uma paisagem cultural. Igualmente, o mais recente Decreto Presidencial Nº26/20 de 6 de Fevereiro de 2020, bem como a sua Estratégia Nacional da Biodiversidade 2019-2025; não prevêem a componente geológica da conservação da natureza. Deste modo, fica evidente o descaso e/ou desinformação do

executivo angolano ao longo dos anos em deixar para trás as teorias geoconservacionistas que já têm sido alvo de pesquisas fundamentadas à nível mundial.

Assim, além da revisão da legislação é necessário também aprimorar as estratégias de geoconservação, bem como a capacidade de monitorização e revisão contínua dos geossítios angolanos e parques nacionais. Actualmente, o uso de sistemas de alta resolução tais como computadores, telefones inteligentes com sensores digitais de geovisualização auxiliam na gestão e monitoramento do património geológico, tal como descrito por Cayla & Martin (2018). Estas práticas inovadoras auxiliam também a geointerpretação, registo de anomalias audio-visuais que com auxílio de GPS (Sistema Global de Posicionamento) podem facilmente ser localizadas. É verdade que todo este equipamento envolve custos, logo é de igual modo necessário que o executivo angolano reveja quanto do orçamento geral do estado está disposto a retirar para efectivamente investir em geoconservação.

CONCLUSÕES

Este artigo constitui uma análise crítica do estado actual de Angola em relação à implementação de estratégias de geoconservação no país. Com isso, várias evidências foram aqui demonstradas de que há uma urgente necessidade de se inventariar a real magnitude do património geológico em Angola de modos a atribuir o devido valor aos geossítios. Assim, fica também demonstrado que para garantir a conservação eficaz aconselha-se o esforço feito durante as auditorias e selecção dos geossítios, bem como a selecção fiável dos quadros geoconservacionistas.

Por conseguinte, as vantagens e desvantagens da realização de subdivisões geológicas; sejam estas regionais, nacionais ou locais; demonstram que esta é uma estratégia aceitável para a conservação do geo-património em Angola. Por este motivo, vale salientar que a auditoria quantitativa dos geossítios, os seus procedimentos de selecção baseados no uso, carácter e ameaças são de extrema relevância para a determinação dos planos de conservação dos geossítios.

Apesar de existirem inconveniências em relação à estratégia de implementação da geoconservação escolhida neste artigo para Angola, sugerida por Pena dos Reis & Henriques (2009), existem também benefícios suficientemente satisfatórios que favorecem a mesma. Assim, por um lado, há inconvenientes que podem dificultar o procedimento de inventariação, tais como a extensão territorial e a actual desorganização político-administrativa, a falta de mapeamento geológico de grandes extensões do país e o analfabetismo científico. Por outro lado existe a possibilidade de essas mesmas limitações serem superadas se e somente se o melhor plano de resposta às ameaças for traçado e realizado através de planos de gestão dignos de confiança.

Assim, é urgente a implementação legal de um Plano de Resposta às Ameaças aos Geossítios integrado em um possível futuro Plano Nacional de Protecção da Geodiversidade, tal e qual como prevê a Estratégia Nacional e o Plano de Acção da

Biodiversidade para os anos de 2019-2025. Pois, do mesmo modo que é urgente preservar a biodiversidade nacional, também a Geodiversidade deve ser vista como prioridade quando se trata de diversificação da economia nacional bem como o Desenvolvimento Sustentável do país, por meio do Geoturismo.

Foram então aqui apresentadas várias razões para influenciar as administrações públicas, universidades, comunidades e a sociedade em geral, para trabalhar de forma integrada na inventariação e conservação do património geológico nacional. Contudo, para que isso ocorra é necessário um esforço mais notável de sensibilização para a geodiversidade. Há necessidade de um maior envolvimento e compreensão política da comunidade em geral, a fim de encorajá-la a apoiar a conservação dos geossítios e garantir a redução das ameaças antropogénicas, que muitas vezes têm causado mais danos do que as ameaças naturais. Desta forma, estimula-se o avanço de novas políticas públicas de geoconservação no país. Portanto, é altamente recomendável a revisão da actual legislação em vigor no país.

Além disso, aconselha-se a trabalhar-se em torno da nomeação de parques nacionais para geoparques, que é também uma recomendação obrigatória, pois é urgente que Angola comece a beber da experiência de outros países para organizar e gerir de forma eficiente a rede nacional de geoparques considerando o reforço dos seus serviços, uma vez que estes são parte integrante do património geológico nacional. É necessário pesquisar activamente a magnitude do património geológico nacional e publicar artigos de boas ou más práticas com base em estudos de caso e, mais importante, registar os geossítios e geoparques nacionais a nível internacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Andalucia, J. Propuesta de Estrategia andaluza para la Proteccion de la Geodiversidad. *Consejeria de Medio Ambiente/Departamento de Estratigrafia y Paleontologia da Universidad de Granada*. pp. 105. (2002)
- [2] Brilha, J. - Património Geológico e Conservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. *Palimage Editores*. pp.33-37, 95-115, Viseu (2005)
- [3] Brilha, J., Mirao, J., Balbino, A. Methodological Proposal for a Geoconservation Strategy. *Livro de Resumos do VII Congresso Nacional de Geologia. Sociedade Geologica de Portugal. Universidade de Evora. Estremoz* (2006).
- [4] Brilha, J. O inventário de Geossítios como base para uma estratégia nacional de geoconservação. *I Simposio Argentino de Patrimnio Geologico, Geoparques y Geoturismo. III Encuentro Latinoamericano de Geoparques* (2013).
- [5] Brilha, J., Gray, M., Pereira, D., Pereira, P. Geodiversity: An integrated review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science and Police*. (2018) Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>
- [6] Cayla, N. and Martin, S. Digital Geovisualisation Technologies Applied to Geoheritage Management. In *Geoheritage: Assessment, Protection and Mana-*

gement. (eds) Emmanuel Reynard and Jose Brilha. Elsevier (2018)

- [7] Correia, H. O Grupo Chela e Formação Leba como novas unidades lito-estratigráficas resultantes da redefinição da “Formação Chela” na região do Planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Boletim da Sociedade Geológica Portuguesa*, 20, pp.65-130 (1976)
- [8] Duarte, L., Callapez, P., Kalukembe, A., Gonçalves, A., Segundo, J. Lapao, L. Bandeira, M. Cristino, A. From Proterozoic of Leba Hill (Humpata Plateau) to the Cretaceous of the Benguela Basin, Angola. *The Geology of places with high landscape value. Comunicações Geológicas*. 101, Especial III, pp.1255-1259. (2014) Accessed at: <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>
- [9] De Wit, M.J.; Anderson, J.M. Gondwana Alive Corridors: extending Gondwana research to incorporate stemming the sixth extinction. *Gondwana Research* 6(3), pp.369-408 (2003).
- [10] Dowling, R. K. Geotourism's Global Growth. *Geoheritage*, 3, pp.1-13 (2010)
- [11] Feio, M. O relevo do sudoeste de Angola. Estudo de Geomorfologia. *Memórias da Junta de Investigações Científicas do Ultramar*. Lisboa pp.326 (1981)
- [12] Gill, J. Geology and the Sustainable Development Goals. *Episodes* 40(1).pp.70-76 (2017)
- [13] Gray, M. *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. John Wiley and Sons. Chichester, England, 434. P (2004)
- [14] Henriques, M., Tavares, A., Bala, A. Geological Heritage of Tundavala, Huila, Angola - An Integrated Evaluation. *Journal of African Earth Sciences*. (2012)
- [15] Henriques, M., Pena dos Reis, R., Brilha, J., Mota, T. Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage*. Vol. 3, No 2, pp.117-128. (2011)
- [16] Lima, F. Proposta Metodológica para a Inventariação do Património Geológico Brasileiro. *Tese de Mestrado*. Universidade do Minho, Braga, Portugal. (2008)
- [17] Lima, F., Brilha, J., Salamuni, J. Inventorying Geological Heritage in Large Territories: A Methodological Proposal Applied to Brazil. Vol. 2, pp.3-4, 91-99. (2010)
- [18] Lopes, F.C., Mantas, V., Pereira, A., Mpengo, H. Caracterização Morfo-Estrutural do Bordo Ocidental do Planalto da Humpata (SW de Angola) com recurso a técnicas de detecção remota. In *Para Aprender com a Terra: Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono*, Imprensa da Universidade de Coimbra, Henriques, M.H., Andrade, A. I., Quinta-Ferreira, M., Lopes, F.C., Barata, M.T., Pena dos Reis, R., Machado, A. (Coords.), pp.49-57. (2012).
- [19] Maquina, M., Tavares, A., Henriques, M. The Natural Heritage of The Arco Region Namibe, Angola - Geological Framework and Geomorphological Evolution. (2012)
- [20] Medina, W. Propuesta Metodologica para el Inventario del Patrimonio Geologico de Argentina. *Tese de Mestrado em Patrimonio Geologico e Geoconservacao*. Universidade do Minho, Braga, Portugal. (2012)
- [21] Pena dos Reis, R., Henriques, M.H. Approaching an integrated qualification and evaluation system for geological heritage. *Geoheritage* 1 (1), pp.1-10. (2009).
- [22] Pereira, E., Tassinari, C.C.G., Rodrigues, J.F., Van-Dúnem, M.V. New data on the deposition age of the volcano-sedimentary Chela Group and its Eburnean basement: implications to post-Eburnean crustal evolution of the SW of Angola. *Comunicações Geológicas* 98, pp.29-40. (2011).
- [23] Pereira, E.; Rodrigues, J.F.; Tassinari, C.G.; Van-Dúnem, M.V. Geologia da Região de Lubango, SW Angola. *Evolução no Contexto do Cratão do Congo; Laboratório Nacional de Energia e Geologia: Lisboa, Portugal*. (2013)
- [24] Pereira, A.J.; Waele, B. Contemporaneous Evolution of the Paleoproterozoic-Mesoproterozoic Sedimentary Basins of the São Francisco-Congo Craton; Geological Society, Special Publications: London, UK; Volume 294, pp. 33-48. (2008)
- [25] Reynard, E., Brilha, J. *Geoheritage: Assessment, Protection and Management*. Elsevier. (2018)
- [26] Silva, A. A Geologia da Republica de Angola desde o Paleoarcaico ao Paleozoico Inferior. *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovacao, IP*. (2005)
- [27] Tavares, A., Henriques, M. Avaliacao Integrada do Patrimonio Geologico da Serra da Leba (Huila, Angola): *Contributo para a Geoconservacao*. (2015)
- [28] Tavares, A., Henriques, M., Domingos, A, Bala, A. Community Involvement in Geoconservation: A Conceptual Approach Based on the Geoheritage of South Angola. *Sustainability* 2015, 7, pp.4893-4918 (2015) Available at <https://doi:10.3390/su7054893>
- [29] Toteu, S.F.; Anderson, J.M.; de Wit, M. 'Africa Alive Corridors': Forging a new future for the people of Africa by the people of Africa. *J. Afr. Earth Sci.*, 58, pp.692-715. (2010)
- [30] Vale, F.S.; Gonçalves, S.V.; Simões, M.C. Carta Geológica Folha no 355, Humpata-Cainde. *Noticia Explicativa; Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas de Angola: Luanda, Angola*, (1973).

REFERÊNCIAS ELECTRÓNICAS

- [31] Angop.Plano Nacional de Geologia será concluído em 2020. Disponível em:https://www.angop.ao/angola/pt_pt/noticias/economia/2018/6/27/Planageo-sera-concluido-2020,1cd95329-2943-45be-b16261de38fb54c2.html (2018)
- [32] Angop. Inscrição do Cuito Cuanavale como Património Cultural exige inventariação. Disponível em: (https://www.angop.ao/angola/pt_pt/noticias/politica/2019/11/49/Inscricao-Cuito-Cuanavale-patrimonio-exige-inventariacao,a5d96ffc-5af2-4817-a1e0-cfcac78c9375.html) (2019)
- [33] Sapo. Cuito Cuanavale candidata-se a Património Cultural da UNESCO. Disponível em: <https://noticias.sapo.ao/sociedade/artigos/cuito-cuanavale-candidata-se-a-patrimonio-mundial-da-unesco> (2018).



Artigo n.º 11

Cantilever retaining wall design to Eurocode 7

The influence of characteristic angle of shearing resistance in design

Projecto do muro de arrimo cantilever aplicando o Eurocódigo 7

Influência do ângulo característico de resistência ao cisalhamento

Felisberto M. Queta¹

¹Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas, Universidade Agostinho Neto - Distrito da Cidade Universitária, Luanda, Angola, email: felqueta@gmail.com.

CITAR COMO:

Queta, F. M. Cantilever retaining wall design to eurocode 7. The influence of characteristic angle of shearing resistance in design. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 112-116

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 18/03/2020

Aceite: 11/07/2020

*Autor correspondente:

Felisberto M. Queta
(e-mail: felqueta@gmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

O autor declara que não há conflitos de interesses

Abstract: Eurocode 7 is the European Standard for design geotechnical structures and is currently being revised. Firstly, the vision was of encouraging free trade between European member states and the harmonisation of technical specifications. However, this new concept has resulted in several challenges for many designers particularly when and how to introduce the limit states and partial factors in some design approaches to determine a cost-effective design dimension. Nevertheless, a more economical design may lead to potential risks, particularly when factors such as the nature and size of the structure, soil parameters, topography and groundwater situations are not taken into consideration. Hence, an appropriate balance between safety, economy and methodology are relevant to avoid unnecessary risks, financial expenditure and inconvenient errors. This article intends to determine the design of a cantilever retaining wall applying the Eurocode 7 using three different design approaches in overall perspective, analysing the effect of characteristic angle of shearing resistance in the system when submitted to undrained condition. It was accomplished through the creation of a spreadsheet-based design tool focussing mainly on geotechnical failure of Ultimate Limit State (ULS). The results show that the characteristic angle of shearing resistance is intrinsically related to soil properties which the denser soil, the higher is the shear strength. Hence, the increase of its angle has increased in the overall Factor of Safety ratios. On the other hand, however, the characteristic angle of shearing resistance for bearing in cohesive soils tends to suffer a more accentuated failure than for sliding when the degree of friction is lower.

Keywords: Eurocode 7, Design Approach, Cantilever Retaining Wall, Characteristic Angle of Shearing Resistance, Undrained Condition.

Resumo: O Eurocode 7 é a norma europeia para estruturas geotécnicas de projecto e está actualmente sendo revisado. Em primeiro lugar, a visão era incentivar o livre comércio entre os estados membros europeus e a harmonização das especificações técnicas. No entanto, esse novo conceito resultou em vários desafios para muitos projectistas, especialmente quando e como introduzir os estados limites e factores parciais em algumas abordagens de design para determinar uma dimensão de design económica. No entanto, um projecto mais económico pode levar a riscos em potencial, principalmente quando factores como natureza e tamanho da estrutura, parâmetros do solo, topografia e situações de águas subterrâneas não são levados em consideração. Portanto, um equilíbrio adequado entre segurança, economia e metodologia é relevante para evitar riscos desnecessários, gastos financeiros e erros inconvenientes. Este artigo pretende determinar o projecto de um muro de arrimo em cantilever aplicando o Eurocode 7 usando três abordagens diferentes de projecto em perspectiva geral, analisando o efeito do ângulo característico de resistência ao cisalhamento no sistema quando submetido a condições não drenadas. Isso foi realizado através da criação de uma ferramenta de projeto baseada em planilha, focada principalmente na falha geotécnica do estado final do limite (ULS). Os resultados mostram que o ângulo característico da resistência ao cisalhamento está intrinsecamente relacionado às propriedades do solo. Quanto mais denso o solo, maior o fortalecimento do cisalhamento. Portanto, o aumento de seu ângulo aumentou nas taxas gerais de factor de segurança. Por outro lado, no entanto, o ângulo característico da resistência ao cisalhamento para suportar solos coesos tende a sofrer uma falha mais acentuada do que para deslizar quando o grau de atrito é menor.

Palabras chave: Eurocode 7, Abordagem de projecto, Muro de arrimo em balanço, Ângulo característico de resistência ao cisalhamento, Condição não drenada.

INTRODUCTION

Angle of shearing resistance or angle of soil friction is the angle on the graph of Mohr's Circle of the shear stress and normal effective stresses at which shear failure occurs. It is adopted to describe the friction shear resistance of soils together with the normal effective stress. Angle of friction can be determined in the laboratory by the Direct Shear test or the Triaxial Stress Test. Knowing the angle of friction resistance is possible to infer the resistance of the soil and estimate the coefficient of at rest pressure. Additionally, it is possible to predict if the soil is cohesive or not and even the behaviour of the soil under groundwater conditions. This knowledge can be applied in slope, foundations, excavations, to name a few.

This article intends to determine the influence of the characteristic angle of shearing resistance in design of a cantilever retaining wall applying the Eurocode 7 using three different design approaches for the verification of geotechnical ultimate limit states in overall perspective when the walls are submitted to undrained condition.

For achieving this target, it has been developed a spreadsheet-based design tool with reference to the specifications of Eurocode 7.

Overall, the impact of this report may result in a very symbolic contribution for understanding the design analysis of cantilever wall in categories 1 and 2 when applied the characteristic angle of shearing resistance under undrained condition. The target audience of this article is for engineers who are not necessary designers, students whoever subject is related to geotechnical issues and for those interested in this geotechnical design.

GRAVITY CANTILEVER WALL

Gravity walls are defined as walls of stone or plain or reinforced concrete having a base footing with or without a heel, ledge or buttress (BS EN 1997-1 § 9.1.2.1, 2004). They are constructed to retain (hold back) normally masses of earth (soil, rock, or backfill) and water or other loose material where there is an abrupt change in elevation that exceeds the angle of repose of soil. These walls depend on their own weight and setback to retain any of these materials and prevent these from sliding or erosion and are typically shorter.

This condition may occur due to the combination of three natural factors such as climate, topography and type of soil or due to anthropogenic activities namely execution of construction works, the drainage system obstruction, exploration of minerals, agriculture activities just to mention some, giving rise to geological hazards by increasing the risk of damage infrastructures, affecting economic activities as well as loss of human lives.

Examples of such types of structures include cantilever retaining wall having constant or variable thickness, spread footing reinforced concrete walls and buttress walls. Throu-

ghout this article, the author is going to focus mainly on cantilever retaining wall.

Ground investigation of cantilever walls

According to Figure 1, the suggested minimum depth of investigation, z_a , for excavations where the groundwater table is below formation level (excavation base), the larger value of the following conditions should be achieved:

$$\begin{aligned} z_a &\geq 0,4h \text{ and} \\ z_a &\geq (t+2,0)\text{m} \end{aligned} \quad (\text{BS EN 1997-2 § B.3.10, 2007})$$

Smith (2014) affirms that in general, the maximum excavation for a cantilever wall (H) can reach up to 6 m with a $B=0,4H$ to 0,7H m, base thickness $t_b=0,1H$ m and toe width $b_t=0,15H$ m. This base width includes any projections of the heel or toe of the wall are intended to reduce the bearing pressure between the base of the wall and the supporting soil (see Figure 1).

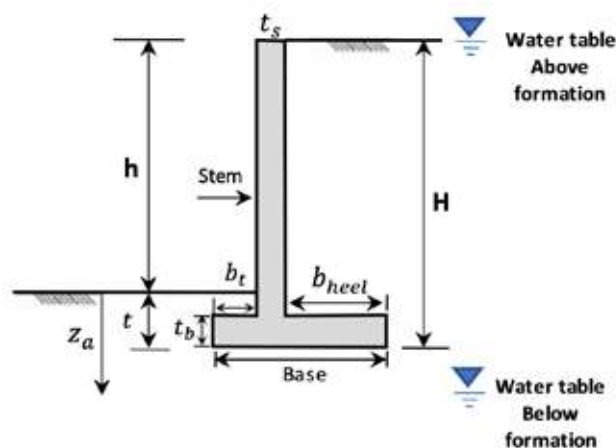


Figure 1: Example of depth of investigation points for a cantilever retaining wall and its elements (adapted from Bond & Harris § Figure 11.1, 2008).

Basis of design

Verification of strength of a retaining wall to Eurocode 7 involves checking that design effects of actions (E_d) do not exceed their corresponding design resistance (R_d) in the ground (GEO) and/or in the structure (STR). Thus, the following inequality must be satisfied:

$$E_d \leq R_d \quad (\text{BS EN 1997-1 § 2.4.7.3.1})$$

This difference can be considered a measure of over-design factor (ODF) or, conventionally, Factor of Safety (FoS) which is expressed by the following equation:

$$FoS_{STR} = FoS_{GEO} = \frac{R_d}{E_d}$$

In which the result must be more than 1 unit otherwise the system will be driven to collapse. However, the safety margin for foundations given by the typical overall safety is from 2,5 to 3,0 commonly applied in traditional designs, especially when the loading design is mostly permanent.

All relevant situations where the strength of the retaining wall is a concern should be considered. Figure 2 illustrates the limit states that can affect L- and T-shaped gravity walls: (top) toppling or overturning, sliding, and bearing failure; and (bottom) structural failure of the wall's stem and toe.

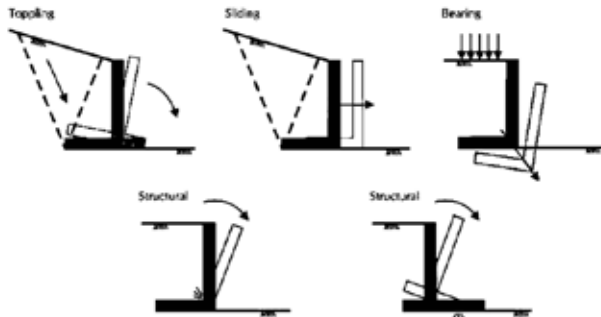


Figure 2: Examples of ultimate limit states for L- and T-shaped gravity walls (based on Bond & Harris § Figure 11.3, 2008)..

In case of gravity retaining wall the most important limit states are bearing and sliding failure of the foundation (GEO ULS) and exceedance of the structural resistance in critical sections of stem walls (STR ULS).

MATERIALS AND METHODS

Overall, the study started with data collection which was applied into computer software system by using the operating system Microsoft Office Excel to create a spreadsheet-based design tool with reference to the specifications of Eurocode 7. Some of the data obtained from the method of finding in literature study from books and articles, particularly the Rankine analysis. The worked example is presented in Figure 3 demonstrating the cantilever retaining wall design situation. To drive the system to collapse was introduced the general method focussing mainly on geo-technical failure (GEO).

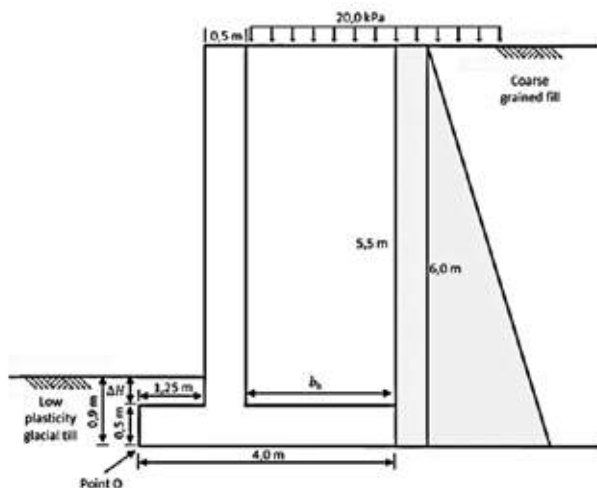


Figure 3: Design example of a cantilever retaining wall under undrained condition

Table 1 shows four (4) relevant inputs required to construct the structural design situation of the cantilever retaining wall. Firstly the design input data of the wall parameters namely its size, weight and other geometrical properties. Secondly, the design input data of the soil properties of the backfill including the characteristic undrained strength (c_u) and the angle of shearing resistance (ϕ^*). Then the design input data of the underlying soil. Finally the design inputs of the surcharge load conditions (q_k). The designer can adjust the type of retaining wall and its state when appropriate.

Table 1. Input data to construct the cantilever wall design Excel Spreadsheet

Input Data	Symbol	Unit	Value
1. Wall parameters			
Wall stem height	h	m	5,50
Wall stem thickness	t_s	m	0,50
Weight density	γ_{ck}	kNm/m	23,40
Base thickness	t_b	m	0,50
Toe width	b_t	m	1,25
Base width	B	m	4,00
Fill thickness	d	m	0,90
Width wall heel	b_h	m	2,25
Wall height and base thickness	H	m	6,40
Unplanned excavation	ΔH	m	0,55
2. Backfill soil – Coarse grained fill			
Weight density	γ	kNm/m	20,00
Angle of shearing resistance	ϕ^*	°	40
Characteristic drained strength	c_u	kPa	0,00
3. Underlying soil – Low plasticity fine grained glacial till			
Weight density	$\gamma_{f,dn}$	kNm/m	22
Characteristic undrained strength	$c_{u,f,dn}$	kPa	100
4. Surcharge condition			
Surcharge	q_k	kPa	20,00

The output data of the wall design Excel Spreadsheet is comprised of the parameters to determine the overall stability of the wall against sliding, bearing failure and overturning (Table 2).

Table 2. Output data of the wall design Excel Spreadsheet

GEO ULS Output	Symbol	DA-1 Comb. 1	DA-1 Comb. 2	DA-2	DA-3	unit
Actions						
Characteristic self-weight of wall stem	W_{stem}	69,03	69,03	69,03	69,03	kNm
Characteristic self-weight of wall base	W_{base}	46,80	46,80	46,80	46,80	kNm
Total characteristic self-weight of wall	W_{wall}	115,83	115,83	115,83	115,83	kNm
Characteristic total self-weight of fill	W_{fill}	265,50	265,50	265,50	265,50	kNm
Moment wall stem	M_{stem}	103,55	103,55	103,55	103,55	kNm/m
Moment Wall base	M_{base}	93,60	93,60	93,60	93,60	kNm/m
Moment Backfill	M_{bf}	763,31	763,31	763,31	763,31	kNm/m
Total characteristic self-weight	W_{tot}	381,33	381,33	381,33	381,33	kNm
Total characteristic stabilizing moment	$M_{stabilizing}$	960,46	960,46	960,46	960,46	kNm/m
Characteristic surcharge	Q_k	45,00	45,00	45,00	45,00	kPa
Effects of actions						
Design vertical actions	V_d	582,30	439,83	582,30	439,83	kPa
Design thrust active earth pressure coefficient for fill	$K_{a,d}$	0,22	0,28	0,22	0,28	
Design thrust from earth pressure on back of vertical						
Backfill	$E_{a,d}$	120,24	116,42	120,24	116,42	kNm
Surcharge	$E_{q,d}$	41,75	47,30	41,75	47,30	kNm
Total design horizontal thrust	$H_{d,t}$	161,99	163,72	161,99	163,72	kNm
Design of stabilizing moments						
From backfill	$M_{a,d}$	240,47	232,84	240,47	232,84	kNm/m
From surcharge	$M_{q,d}$	133,60	151,35	133,60	151,35	kNm/m
Total design stabilizing moment	$M_{d,tot}$	374,07	384,19	374,07	384,19	kNm/m
Sliding resistance						
Design undrained sliding resistance	$H_{d,t}$	400,00	285,71	363,64	285,71	kNm

Bearing resistance					
Design stabilizing moment and surcharge	M_{stab+q}	1490,68	1128,65	1490,68	1128,65 kNm/m
Eccentricity of load	e_d	0,08	0,31	0,08	0,31 m
Verification		OK	OK	OK	OK
Effective breadth	B'_d	3,84	3,39	3,84	3,39 m
Area	A	3,84	3,4	3,84	3,39 m ²
Cohesion	c_u	0,88	0,78	0,88	0,78 kPa
Total overburden at foundation base	$\sigma_{v,0}$	7,70	7,70	7,70	7,70 kPa
Total resistance	$\sigma_{v,d}$	460,20	295,70	460,20	295,70 kPa
Design resistance	$N_{d,d}$	460,20	295,70	328,72	295,70 kPa
Design bearing force	$N_{d,d}$	151,83	129,93	151,83	129,93 kPa
Overturning resistance					
Design stabilizing moment due to self-weight alone	M_{stab}	960,46	960,46	960,46	960,46 kNm/m

Once knowing the characteristic angle of shearing resistance is possible to infer the resistance of the soil, its coefficient of earth pressure, cohesiveness and even the behaviour of the soil under groundwater conditions, Table 3 presents a diversity of soils and their geotechnical parameters. Its values are based mainly on USCS, BS and ISO. The characteristic angles of shearing resistances were estimated in terms of effective stresses in the active state for preliminary geotechnical designs between the base of the wall and the ground.

Table 3. Types of soils and their geotechnical parameters

Parameters	CL		ML-CL		SM		GM		GP		GW		Unit
	Clay		Silt and Clay		Silty sand		Clayey gravels, sands		Grained coarse fill		Sandy gravel		
	Compact	Sat	Compact	Sat	Compact	Sat	Compact	Sat	Compact	Sat	Dense		
γ_s	18		18.5		19	21.5	21		23	22	21.5	23	kN/m ³
c_u	15	10	30		22	50	12	75	-	100	100	120	kPa
c'	87	-	67	-	20	-	5	-	0	-	0	-	kPa
ϕ'	28	-	32	-	34	-	35	-	38	-	40	-	°
ρ_{cr}	0.26	-	0.35	-	0.45	-	0.52	-	0.59	-	0.65	-	radian

(BS 6149 -1-3 § Table C.1, 2012; ISO 14688-1 § 5.14, 2002; ISO 14688-2 § 5.3, Table 5, 2004)

RESULTS AND DISCUSSION

Graph in Figure 4 (A) & (B) illustrates the variation of the characteristic angle of shearing for different soil types when submitted to sliding and bearing.

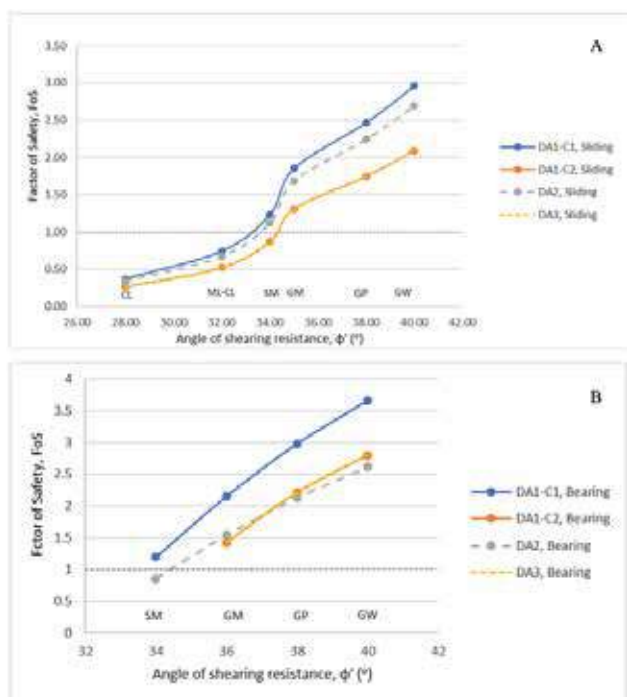


Figure 4: Variation of ϕ' to sliding (a) & bearing (b)

According to Figure 4 (A) the curves of characteristic angles of shearing resistances against sliding have the same trend, rising from clay (CL) at $\phi' = 28^\circ$ to Sandy gravel (GW) at $\phi' = 40^\circ$. This means that when increases the density of soil particles in ground, increases the characteristic angle of shearing resistance, and consequently increases the FoS ratio. Along these curves, the FoS runs from 0,26 in clays to over 2,0 when the soil is constituted of sandy gravel in which are the lowest FoS ratios. Thereafter, the relative conservatism is that DA1-C1 > DA2 > DA1-C2 = DA3.

Figure 4 (B) shows that the curves of characteristic angles of shearing resistances against bearing present two major trends. Those for DA1-C1 & DA2 arising in silty sand material, at $\phi' = 34^\circ$, to reach a peak in Sandy gravel, at $\phi' = 40^\circ$, and those for DA1-C2 & DA3 arising only in gravel soils, at $\phi' = 36^\circ$, then increase gradually to reach a peak in Sandy gravel at $\phi' = 40^\circ$. The curve for DA1-C2 lies only below that for DA2 when $\phi' \leq 37$ but is entirely coincident with that for DA3.

It means that when increases the characteristic angle of shearing resistance, increases the particles interlock and the internal strength of them, as a result increase also the FoS ratio of the wall. Additionally, this retaining wall does not resist against bearing when the ground is comprised of fine soils, namely CL and ML-CL.

The relative conservatism is as following:

- When $\phi' \geq 37$: DA1-C1 > DA1-C2 = DA3 > DA2; and
- When $\phi' \leq 37$: DA1-C1 > DA2 > DA1-C2 = DA3.

The coincidence between the ratios for DA1-C2 and DA3 is possibly due to their similarity in terms of partial shearing resistance factors and the same partial load actions.

CONCLUSIONS

It is clear that the characteristic angles of shearing resistances are intrinsically related to soil properties which the denser soil, the higher is the shear strength as well as the distance between the design approaches. Accordingly, DA1-C1 by using lower partial coefficient of shearing resistance factors, the friction is lower, as a result, in this design approach the soil presents a strong strength to resist against sliding. For DA1-C2 and DA3 the effect is the opposite.

Therefore, the higher FoS values for DA1-C1 in coarse soils (SM, GM, GP and GW), indicate that this approach controls the ULS design for lateral pressure in undrained conditions. Furthermore, the lower FoS ratios in DA1-C2 and DA3 particularly in fine soils (CL and CL-ML) imply that attention may be necessary when the design resistance due to earth pressure on the side of foundation might be mobilised by external activities. Thus, the model is unacceptable to resist against sliding for fine soils.

It can be reasoned that the characteristic angles of shearing resistances for bearing in cohesive soils tend to suffer a more

accentuated failure than for sliding when the degree of friction is lower, possibly because the active earth pressure and internal friction angle are inversely proportional, higher friction angles result in lower active pressure values and thus, less pressure acting on the wall to provoke sliding failure.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

- [1] Bond A. and Harris A. (2008), *Decoding Eurocode 7*. Taylor & Francis (1st edition). London and New York.
- [2] BS 6349-1-3: General – *Code of practice for geotechnical design*. British Standards Institution, London, 2012.
- [3] ISO 14688-1 (2002) (English): *Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 1: Identification and description*. International Organization for Standardization, Geneva, 2002.
- [4] ISO 14688-2 (2004) (English): *Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 2: Principles for a classification*. International Organization for Standardization, Geneva, 2004.
- [5] European Standard EN 1997-1 (2004) (English): *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
- [6] European Standard EN 1997-2 (2007) (English): *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
- [7] Smith, I. (2014), *Smith's Elements of Soil Mechanics* (9th edition). Edinburgh Napier University. Wiley Blackwell.



Foto: DR



Artigo n.º 12

Remineralizadores de solo: um novo insumo para a sustentabilidade agrícola de Angola

Remineralizers: a new input for sustainable agriculture in Angola

António Olímpio Gonçalves¹, Suzi Huff Theodoro², Gustavo Rosa Almeida³, Daniel da Purificação¹, Ricardo Reis¹, Eduardo Alves Morais¹

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro, n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: tonygoncalves@cicga-uan.co.ao, danielpuri@gmail.com, Nuno_reis16@hotmail.com, mlmorais@netangola.com.

²Universidade de Brasília/Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, suzitheodoro@unb.br.

³Universidade de Brasília/Instituto de Geociências, email: geol.rosag@gmail.com.

CITAR COMO:

Gonçalves, A. O., S. H. Theodoro, G. R. Almeida, D. D. Purificação, et al. Remineralizadores de solo: um novo insumo para a sustentabilidade agrícola de Angola. Revista Angolana de Geociências, 2020, 1(1), p. 118-125

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 17/05/2020

Aceite: 11/07/2020

*Autor correspondente:

António Olímpio Gonçalves
(e-mail: tonygoncalves@cicga-uan.co.ao)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflitos de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: Angola possui uma imensa geodiversidade, o que assegura um espectro de possibilidades para os usos dos seus bens minerais. Entre essas possibilidades estão os maciços ultrabásicos e alcalinos, de idades que variam do Proterozóico Inferior até o Cretáceo Inferior, que se encontram encaixados em rochas graníticas, tais como o Complexo Gabro Anortosítico do Cunene (constituído por rochas anortosíticas, hornblenditos e peridotíticas) e o Maciço Alcalino Vulcânico (composto por riólitos, dacitos, basalto e basalto olivínico) localizados na região sudoeste. A presença de rochas com composições variadas possibilita o seu uso como remineralizadores de solos, uma vez que representam uma imensa combinação mineralógica formando um “banco” de macronutrientes e de micronutrientes benéficos ao desenvolvimento das plantas. O uso de rochas moídas para remineralizar solos degradados ou intemperizados é o principal pressuposto da tecnologia da Rochagem, que visa melhorar a fertilidade dos solos. O objectivo desse trabalho é propor o uso de remineralizadores visando melhorar a fertilidade dos solos em Angola, bem como ampliar a oferta de alimentos no País. O estudo de caso considerou rochas da região de Cunene e resultou em uma proposta de uso desse potencial geológico para remineralizar os solos por meio do uso de rocha moída.

Palavras-chave: Rochagem, Remineralizadores, Insumo, Agricultura

Abstract: Angola beholds immense geodiversity, which ensures a spectrum of possibilities for use of its mineral resources. Among these possibilities are the ultrabasic and alkaline masses, with a range of ages from the Lower Proterozoic to the Lower Cretaceous, which are embedded in granitic rocks, such as the Gabbro Anorthositic Complex of Cunene (constituted by anorthositic, hornblende and peridotitic rocks) and the Volcanic Alkaline Massif (composed of rhyolites, dacites, basalt and olivine basalt) located in the southwest region. The presence of rocks with varied compositions makes it possible to use them as soil remineralizers, since they represent a big mineralogical combination forming a “bank” of macronutrients and micronutrients beneficial to the development of plants. The use of crushed rocks to remineralize degraded or weathered soils is the main assumption of Stonemeal technology, which aims to improve soil fertility. The objective of this work is to propose the use of remineralizers in order to improve soil fertility in Angola and expand the food supply in the country. The case study considered rocks samples from Cunene region and resulted in a proposal to use this geological potential to remineralize the soils through the use of ground rock.

Keywords: Stonemeal, Remineralizers, Input, Agriculture.

INTRODUÇÃO

Angola é País com grande diversidade geológica, o que favorece a exploração mineral. Possui grande parte do seu Produto Interno Bruto (PIB) centrado na exploração de petróleo, em um modelo que privilegia as grandes corporações internacionais do sector (Rodrigues, 2013). Segundo o relatório de Análise da Conjuntura Económica e Financeira do 1º semestre de 2019 (Angola, 2019), o País teve sua maior arrecadação a partir dos seguintes sectores: energia (26,02%), comércio (15,97%) e diamantes e outros serviços (6,07%). A concentração na exploração de recursos naturais, cujos preços são regulados pelo mercado internacional, coloca o País em uma situação de desvantagem, já que as principais fontes de receitas ficam reféns de flutuações de preços arbitrados internacionalmente. China e Portugal são seus principais parceiros comerciais.

A produção de alimentos para uma população de mais de 32 milhões é outra fragilidade Angolana, uma vez que uma parte considerável dos produtos são importados com recursos derivados da exportação de petróleo. Segundo a FAO, cerca de 54% da população ainda vive em áreas rurais. Nesse sentido, é necessário encontrar mecanismos que garantam renda e alimentos para este grande contingente da população, que em muitos casos, vive abaixo da linha da pobreza.

Um País tão rico, do ponto de vista de recursos naturais, não pode permitir que sua população não se beneficie da exploração desses recursos. Ampliar as políticas públicas relacionadas à produção de alimentos fortalecerá a segurança alimentar e nutricional do seu povo e resultará em ganhos expressivos na renda da população rural e na produção de alimentos, bem como na diminuição dos gastos com a importação de fertilizantes solúveis, dos quais Angola é 100% dependente.

Considerando estes vários aspectos, este trabalho, que faz parte de uma parceria entre a Universidade Agostinho Neto e a Universidade de Brasília, sugere a adopção de rotas de produção que envolvam o sector mineral e o agrícola. O fio condutor da proposta está relacionado ao uso de subprodutos da mineração para fertilizar os solos intemperizados, onde vive a grande maioria da população rural. Trata-se do uso da tecnologia da Rocha-gem, que segundo Leonardos et al. (1976) e Carvalho et al. (2018) pode suprir de forma adequada a oferta de macro e micronutrientes aos solos, uma vez que a adição de determinados tipos de rochas que contenham uma mineralogia de carácter mais alcalino tende a enriquecer o solo e recondicioná-lo química e, eventualmente, fisicamente. Theodoro e Leonardos (2006) sugerem que o uso de tais materiais possibilita o rejuvenescimento de solos empobrecidos quimicamente ou lixiviados e fundamenta-se na busca do equilíbrio da fertilidade. Esses insumos podem estar disponíveis localmente e são mais baratos que os fertilizantes importados (MANNING & THEODORO, 2018).

Portanto, este trabalho apresenta os resultados preliminares de um estudo de caso que investiga o potencial de algumas rochas que pertencem ao Complexo Gabro-Anortosítico do Cunene, aos diques de doleritos da zona de Chibia e as rochas ácidas de composição riodacítica, bem como de basaltos toleíticos da bacia do Namibe. A Figura 01 apresenta a localização da área de estudo.



Figura 01: Mapa de localização da área de Estudo (provinça do Namibe e Huila, SW de Angola)

Fonte: Google Earth

GEOLOGIA REGIONAL

O Complexo Gabro Anortosítico do Cunene (CGAC) está localizado nas províncias da Huila e Cunene, no SW de Angola, em uma área de 15.000 km², com afloramentos de cerca de 3 a 5 km de largura e com uma extensão em torno de 300 km, de direção norte-sul, desde a região de Quipungo até ao rio Cunene. As rochas vulcânicas encontram-se desde o rio Giraúl até comuna do Bentiaba, na província do Namibe, ao longo da margem continental numa extensão de mais de 100 Km, em direção à região Norte de Angola (Figura 02).

O CGAC está dividido em dois ambientes com base na diferença do conteúdo de anortite, sendo separados por um cinturão de granitos tipo A (granitos vermelhos tipo da Matala) e riólitos porfíricos. Esse Complexo é constituído por anortositos maciços de granulação média a grossa (cerca de 90%) e anortositos bandados de granulação fina. Na borda contínua do CGAC, junto às rochas encaixantes, ocorrem diques de doleritos de granulação fina e composição heterogénea (variam entre microgabros olivínicos a microgabros com ortopiroxena e/ou microgabros com anfíbola), estando, provavelmente, ligados à sua implantação.

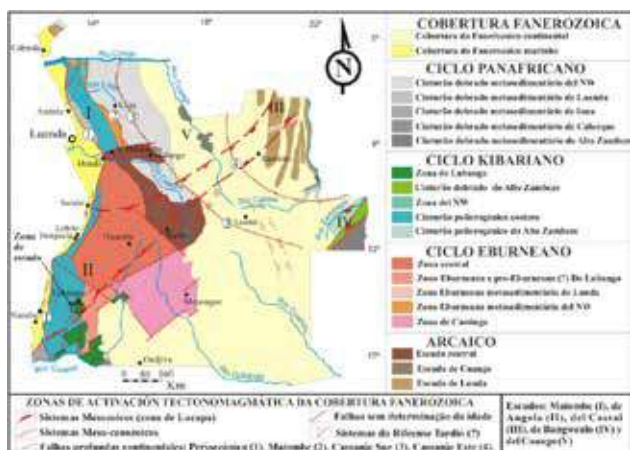


Figura 02: Mapa geológico e principais unidades geotectônicas de Angola.

Fonte: Modificado a partir de Serviço Geológico de Angola (1983), Araújo et. al. 1998.

Na bacia Cretácica do Namibe ocorrem episódios vulcânicos, de idade Mesozóica (130 Ma), concentrados ao longo da margem continental, constituídos por riólitos, rioladacitos e basaltos, delimitando o contacto com rochas do soco cristalino com essa Bacia (MARZOLLI et al., 1999). Essas rochas possuem quantidades apreciáveis de minerais zeolitizados. Na província do Namibe, ocorrem cones vulcânicos e alguns derrames de basaltos porfíricos com fenocristais de olivina, registando-se em alguns deles, a presença de xenólitos do manto, tais como hawaiiites, basaltos alcalinos e basanitos.

REMINERALIZADORES DE SOLO

A utilização de pó de rocha (também conhecido como farinhas de rocha ou remineralizadores) é destinada sobretudo ao rejuvenescimento ou remineralização de solos empobrecidos quimicamente (como aqueles que ocorrem em regiões tropicais) ou degradados pelo uso inadequado. Essa técnica de fertilização também pode ser entendida como uma espécie de banco de nutrientes de baixa dissolução, ao qual as plantas recorrem à medida que seu desenvolvimento o exija (THEODORO et. al., 2010).

O uso de de rochas moídas foi inicialmente proposto por Hensel (1898). Pães de Pedra sintetiza as suas ideias, onde foi sugerido que as rochas moídas poderiam suprir da quantidade de nutrientes que as plantas precisavam para se desenvolver, sem causar danos ao solo. Porém, nesta mesma época Liebig defendia que a quantidade de determinadas substâncias químicas adicionadas ao solo garantiria incrementos na produção. Ele desconsiderava totalmente a importância da matéria orgânica. Para ele a resposta das plantas dependeria de uma quantidade mínima disponível de determinados elementos químicos para seu crescimento. Essa teoria é conhecida como lei do mínimo e foi o factor que impulsionou a criação e difusão das formulações NPK de forma solúvel, que permitiu a abertura do mercado de fertilizantes no mundo (ROCHA, 2006).

Ocorre que estas formulações foram pensadas para os solos temperados Europeus, bastante distintos dos solos tropicais, como é o caso de Angola e de grande parte do Brasil. Porém, o grande poder do mercado de fertilizantes associado a necessidade de ampliar a produção de alimentos levou o mundo todo a ser dependente de poucos países que detêm as principais jazidas de potássio, fósforo e compostos nitrogenados. Para muitos autores, incluindo Theodoro e Leonardos (2006), Gliemann (2001) entre outros, este modelo traz grandes impactos ambientais e económicos para grande parte dos países produtores.

Recentemente, e em especial no Brasil, os pressupostos de Hensel foram resgatados com vistas à obtenção de soberania alimentar e, também, como forma de tornar a produção agrícola menos impactante, do ponto de vista económico e ambiental. As primeiras propostas de uso de pós de rocha são da década de 1950 (GUIMARÃES e ILCHENKO, 1953). Desde a década de 1970, Leonardos, et. al. (1976) e Leonardos, Fyfe e Kromberg (1987) vêm sugerindo o uso de rochas moídas para aumentar a oferta de nutrientes nos solos lateríticos de países tropicais. Mas foi a partir do início deste século que o tema ganhou força e muitos pesquisadores (THEODORO 2000, THEODORO e LEONARDOS 2006, THEODORO et. al., 2013 E 2015, CARVALHO, 2012 entre outros) mostram que essa alternativa tecnológica é cada vez mais adequada para países com grande diversidade geológica e que sejam produtores de alimentos e commodities. Para estes pesquisadores a existência de rochas com uma ampla diversidade geoquímica e mineralógica pode suprir adequadamente a demanda por potássio, fósforo, cálcio, magnésio e vários micronutrientes para fertilizar os solos, conforme prevê a tecnologia da Rochagem.

Essa tecnologia ou prática agrícola pode ser considerada como base fundamental para a recuperação dos solos degradados ou empobrecidos quimicamente, pois tem como principal finalidade auxiliar os agricultores na reconstrução da fertilidade, restituindo os constituintes minerais já lixiviados ou exauridos pelo uso excessivo ou pelo tempo, de forma que se possa obter uma produção de alimentos de melhor qualidade, a custos mais baratos e atendendo aos princípios da segurança alimentar (KROMBERG et al., 1987; SILVA et al., 2008, THEODORO, 2000, THEODORO E LEONARDOS 2006 e 2015, ROCHA, 2006, Van STRAATEN 2007 e CARVALHO et. al., 2018). Outra vantagem do uso de rocha moída refere-se à possível reestruturação física dos solos, já que um gradiente granulométrico diverso (entre 0,3 a 4,0 mm) permite uma melhor circulação dos fluídos entre os espaços porosos bem como sua aeração.

Os materiais derivados de rochas moídas (remineralizadores) possuem baixa solubilidade. Apesar disso, os resultados em várias pesquisas e uso comercial mostram que a produtividade é comparável aquelas obtidas com os fertilizantes solúveis convencionais (NPK). Epstein e Bloom (2006) mencionam que as plantas não exigem altas concentrações de nutrientes, como as que são encontradas nas formulações usuais de fertilizantes. Segundo esses autores inúmeros estudos mostram que as plantas absorvem os nutrientes até a faixa de 0,1 ppm de potássio, de fósforo e de nitrogénio em seus tecidos, o que

os leva a enfatizar que a taxa de suprimento de nutrientes é mais importante que a concentração dos mesmos. Essa afirmação reforça a visão de que os remineralizadores comportam-se como um banco de nutrientes, do qual as plantas vão se utilizando na medida do necessário (THEODORO, et al., 2013). Além disso, Melahmed et al. (2009) informam que a baixa solubilidade dos pós de rocha pode promover o aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) dos solos, devido à neoformação de minerais de argila durante o processo de alteração das rochas.

Carvalho (2012) lembra que muitos dos autores que obtiveram resultados desfavoráveis em suas pesquisas, partiram de pressupostos equivocados (experimentos de curta duração, solos com pouca ou nenhuma actividade microbiana e granulometria inadequada dos materiais testados). A observância desses três factores é determinante para obtenção de resultados positivos. Tanto importante quanto o range granulométrico, a presença de microrganismos nos solos é um aspecto fundamental para favorecer a interação das rochas com os ácidos orgânicos derivados de diversas fontes.

Segundo Hinsinger et al. (2001) os ácidos produzidos pelas raízes podem afectar directamente a dissolução das fases sólidas dos minerais silicatados. Carvalho (2012) concluiu que o papel dos fungos é significativamente importante na microbiota dos solos, já que esses organismos são, frequentemente, os componentes maioritários da biomassa microbiana em ecossistemas agrícolas. Ele menciona que as plantas e os fungos controlam a libertação de exudatos na micorrizosfera e podem favorecer o crescimento de outros microrganismos do solo, elevando a biomassa microbiana.

Portanto, é importante entender que os remineralizadores apresentam resultados mais significativos quando associados a fontes orgânicas, para que a disponibilização de nutrientes e a interação com os fluídos do solo sejam mais eficazes. Mas é fundamental a compreensão de que o uso ou o estímulo à libertação de nutrientes faz parte de um conjunto de estratégias relacionadas ao manuseamento da fertilidade dos agroecossistemas. Outro ponto importante diz respeito ao facto de os remineralizadores não são uma fonte de nutrientes que tem o objetivo de substituir os fertilizantes industriais de alta solubilidade (Theodoro et al. 2012).

Para Theodoro e Leonardos (2015), o uso de rochas moídas, como remineralizadores de solo, têm produzido resultados significativos e vantajosos, entre os quais destacam: (i) os custos de aquisição são muito menores e seu efeito se estende por longo período (até quatro ou cinco anos consecutivos); (ii) os níveis de fertilidade nos solos são crescentes (em especial a oferta de P, K, Ca e Mg) após a aplicação de rocha em pó; (iii) o rendimento esperado pode ser comparável aos obtidos pela fertilização convencional, em alguns casos até melhores dependendo do tipo de remineralizador, forma de aplicação, quantidade de elementos disponíveis etc., (iv) as raízes das plantas são mais desenvolvidas do que nas plantas que recebem a adubação química, provavelmente devido à oferta de multinutrientes e à redução da toxidez de alumínio e correção do pH; (v) o teor de umidade é maior nas áreas onde se apli-

cam os remineralizadores, mostrando que os mesmos possuem grande capacidade de retenção de água; (vi) as plantas mostram maior quantidade de massa verde, são mais exuberantes e apresentam maior perfilhamento; (vii) a aceleração do ciclo produtivo da planta foi observada em alguns casos; (viii) não ocorre contaminação ou eutrozação dos recursos hídricos já que os pós de rocha apresentam solubilidade gradual, ao contrário dos fertilizantes convencionais; e (ix) atende aos padrões requisitos exigidos de insumos utilizados pela agricultura orgânica.

Adicionalmente, é importante destacar que existem alguns condicionantes para o uso de rochas moídas: (i) o material deve conter quantidades e garantias mínimas de macronutrientes (a presença de micronutrientes também é desejável e importante); (ii) o material não deve possuir contaminantes e; (iii) o material deve estar disponível na própria região (caso contrário, o custo do transporte inviabiliza sua aplicação).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo considerou amostras de rocha representativas da geologia relativa ao Complexo Gabro Anortositico, bem como aquelas presentes na Bacia do Namibe, onde foram colectadas três amostras. Foram confeccionadas lâminas delgadas de amostras de hornblendito, anortosito e basalto. As análises petrográficas foram efetuadas no laboratório de microscopia da Universidade de Brasília, utilizando o microscópio ZEISS Imager A2m Axio. As análises químicas foram feitas no laboratório SGS Geosol (Brasil), onde foram fundidas por tetraborato de lítio e analisadas por fluorescência de raios-x para detecção de elementos maiores (nesse caso macronutrientes); e submetidas a digestão por água-régia e analisadas por espectrometria de emissão óptica (ICP-OES), de massa (ICP-MS) e de absorção atômica (ASS) para detecção de elementos menores (nesse caso micronutrientes) e elementos potencialmente tóxicos (EPT). Posteriormente, fez-se a comparação dos resultados dessas análises para averiguar o potencial litoquímico e mineralógico dessas rochas como remineralizadores de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O anortosito apresenta coloração cinza, estrutura isotrópica e granulação grossa, sendo constituído por cristais de plagioclase (An78 a An85) e clinopiroxênio. Os cristais de plagioclásio (~ 90 a 95%) são subeuédricos a euédricos, inequigranulares e apresentam baixa a média densidade de fracturas (Fig. 3-A). Os cristais de clinopiroxênio são anédricos, inequigranulares (variando de 0,04 a 5,5 mm) e possuem alta densidade de microfraturas. O hornblendito possui coloração verde escuro, estrutura isotrópica e granulação média a grossa (Fig. 3-B). É constituído por cristais de hornblenda, clinopiroxena, ortopiroxena, biotite, magnetite e ilmenite. Os cristais de hornblenda (~88 a 93%) são anédricos a euédricos, inequigranulares, sendo os cristais de granulação grossa predominantes. Os cristais de ortopiroxena e clinopiroxena (~ 10%) são euédricos e inequigranula-

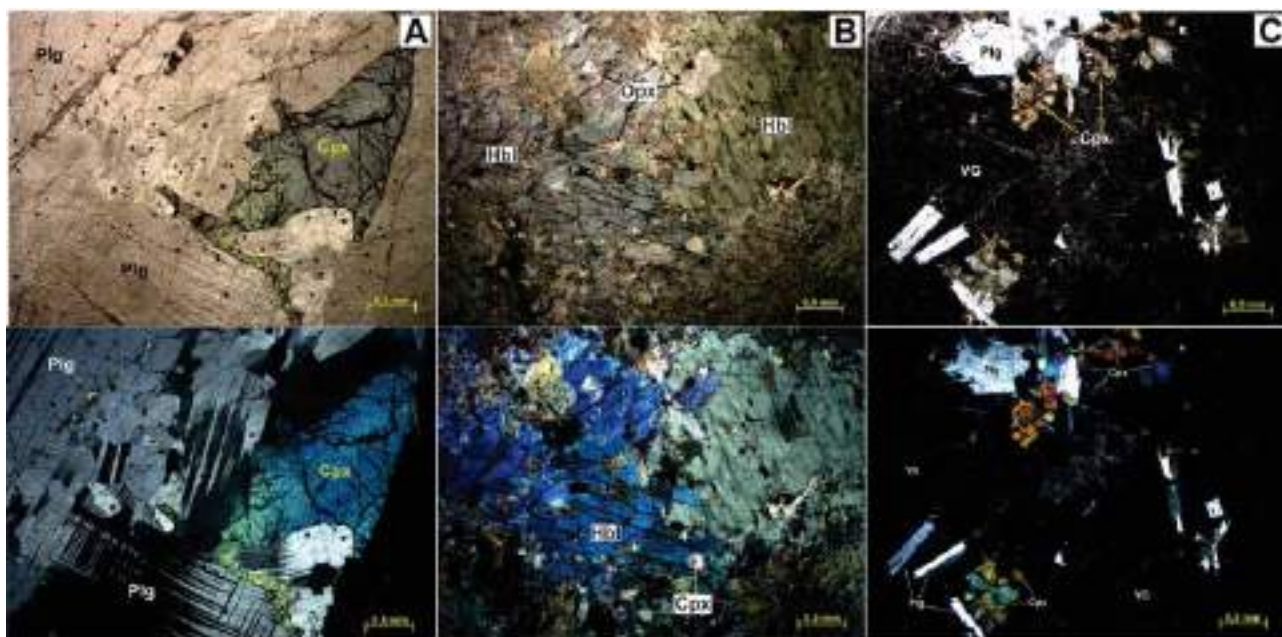


Figura 03: Fotomicrografias a nicóis paralelos e cruzados das amostras de anortosito [A], hornblendito [B] e basalto porfirítico [C]. As abreviações “Plg”, “Cpx”, “Opx”, “Hbl” e “VG” referem-se a plagioclase, clinopiroxena, ortopiroxena, hornblenda e vidro vulcânico, respectivamente.

res, com tamanhos entre 0,4 a 1,6 mm de comprimento e comumente encontram-se inclusos nos cristais de hornblenda (textura poiquilítica). Cristais de biotite apresentam-se intemperizados e compõem cerca de 3% da rocha. O basalto porfirítico apresenta coloração preta, estrutura maciça e hipovítrea (maior proporção de vidro vulcânico em relação ao material cristalino). Apresenta aglomerados de fenocristais subcentimétricos de plagioclase (An48 a An55), clinopiroxena e magnetite imersos em matriz vítrea. A porção vítrea representa em torno de 70% da rocha e também apresenta finos cristais aciculares de plagioclase e piroxena. Os cristais de plagioclase, clinopiroxena e magnetite ocorrem aglomerados (Fig. 2-C), são anédricos a euédricos e inequigranulares.

A geoquímica revelou que são rochas com concentrações significativas dos principais macro e micronutrientes, conforme Tabela 01. Dentre as três rochas máficas analisadas, o hornblendito foi a que mostrou maior potencial, devido ao diferencial no conteúdo de K^2O (3,3%), hospedado na biotite. O basalto e anortosito têm boas chances de converterem-se em remineralizadores de solo. Porém, recomenda-se

o uso de um blend com as rochas graníticas encaixantes, o que aumentaria a disponibilidade de potássio.

A tabela 01 mostra os valores dos constituintes (macro-nutrientes) e alguns dos mais importantes micronutrientes para o pleno desenvolvimento das plantas. Portanto, essas rochas apresentam um potencial para uso que visa a alteração da fertilidade dos solos. Essa acção seria especialmente viável a partir do uso dos subprodutos de minerações que já estejam processando as rochas para diversos fins. Complementarmente aos resultados da Tabela 01, são mencionados os teores de SiO^2 varia de 49,4% (Anortosito) a 60,7% (Hornblendito), de Al^2O^3 varia de 4,41% (Basalto) a 28,1% (Anortosito) e de Fe^2O^3 variando de 3,14% (Anortosito) a 13,3% (Basalto).

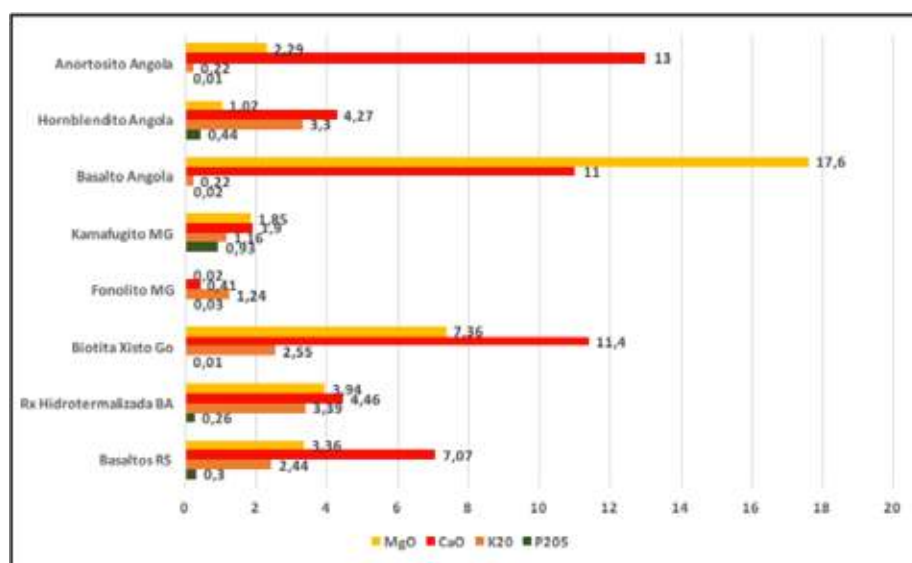
A título de comparação o Gráfico 01 apresenta os teores dos quatro principais macronutrientes (K^2O , CaO , MgO e P^2O^5) encontrados nas amostras analisadas e provenientes do Complexo Gabro Anortosítico de Cunene, em relação a algumas rochas Brasileiras que já vêm sendo utilizadas como remineralizadores de solo.

Tabela 01. Composição química das três rochas do CGAC

Rochas	Macronutrientes				Micronutrientes				EPT			
	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Co	Cu	V	Zn	As	Hg	Cd	Pb
	 %				 ppm							
Hornblendito	4,27	1,06	0,14	3,3	44	93,4	4	98	<1	0,15	0,09	2,4
Anortosito	13	2,61	0,014	0,2	71,2	8,9	6	20	<1	0,1	0,03	0,4
Basalto	11	17,6	0,028	0,22	44,7	110,2	29	9	<1	0,12	0,02	0,4

*Elementos Potencialmente Tóxicos

Gráfico 01 – Comparação dos teores (%) dos quatro principais macronutrientes (K_2O , CaO , MgO e P_2O_5) em rochas do CGAC e rochas Brasileiras



OBS: os dados das rochas Brasileiras fazem parte da pesquisa desenvolvida, no Brasil, pela 2ª autora

A partir das informações do gráfico é possível averiguar que as amostras do CGAC mostram teores mais expressivos, especialmente de CaO e MgO e, eventualmente de K_2O , quando comparadas algumas rochas já registradas no Brasil para uso como remineralizadores de solo. Esse aspecto, sugere que as rochas analisadas poderão ter uma grande capacidade para uso agrícola.

Mas, para além da geoquímica, a petrografia das rochas pertencentes ao CGAC mostrou que a composição mineralógica é bastante favorável ao uso desses materiais geológicos para remineralizar os solos de Angola. Chama a atenção o facto dessas amostras conterem cristais com muitas microfraturas, o que eventualmente facilitaria tanto a sua cominuição como aceleração dos processos bio-intempéricos. No entanto é importante advertir que o uso do pó de anortosito exige atenção, uma vez que pode haver neoformação de gibbsite em maiores proporções: plagioclase mais cálcios dissolvem mais rápido e apresentam maior teor de Al_2O_3 (BRANTLEY e OLSEN, 2014, entre outros). Assim, recomenda-se a mistura com outras rochas contendo silicatos de potássio, cálcio e/ou magnésio para neoformação, em maior proporção, de argilominerais de estrutura 2:1.

No entanto é fundamental que se alerte que tais subprodutos precisam passar por um rigoroso controlo para que se conheça o seu potencial ou suas limitações. A união do sector mineral com o sector agrícola precisa estar respaldada em garantias de qualidade dos produtos, pois do contrário, ao invés de criar elos ou soluções possíveis, o uso de materiais inadequados pode causar problemas de contaminação de solos e alimentos.

No Brasil, como forma de proteger o meio ambiente, os produtores e os consumidores, foi editada a Lei nº

12.890/2013 que definiu remineralizador de solo como “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo”.

Subsequentemente a Instrução Normativa nº 05/2016 estabeleceu os conceitos, garantias mínimas (soma de bases: $K_2O + CaO + MgO \geq 9\%$, sendo que $K_2O \geq 1\%$) e percentagem máxima de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), bem como a quantidade máxima permitida de quartzo (SiO_2 livre $\leq 25\%$) permitida nos materiais geológicos comercializados como

remineralizadores de solo. Este arcabouço legal assegura que materiais que não atendam a essas condicionantes não podem ser comercializados, sob pena de não serem eficazes, ou mesmo, serem prejudiciais aos solos.

Destaca-se, ainda, que existem outras áreas em Angola, onde a presença de rochas de composições mineralógicas diversas (muitas ultrapotássicas) apresentam características adequadas para uso agrícola. Theodoro, et al. (2013) mencionam as rochas que compõem o rift de Lucapa, que praticamente corta o País no sentido NE-SW. Nessa região, segundo Lopes (2018) e Araújo et. al (1998), ocorrem corpos kimberlíticos, rochas alcalinas, ultrabásicas e carbonatitos, que representam a transição entre o Cretáceo Inferior e o Superior, e que marcaram a ativação tectono-magmática da Plataforma Africana. Para Gonçalves (2008), o rift de Lucapa teve sua origem ligada à compartimentação fanerozóica, e resultou da ruptura do cratão do Congo, durante o Cretáceo Inferior, vinculado aos processos de rifteamentos continentais relativos à abertura do Atlântico Sul, que determinam o aparecimento de uma série de fossas e lineamentos tectónicos, que atravessam Angola na diagonal.

Para esse autor, nesse estágio extensional foi gerado o actual litoral Africano. As falhas associadas a esse processo são de direcção aproximadamente N-S e compartimentam uma série de blocos que dão origem a um conjunto de bacias marginais na borda atlântica do cratão. Essas bacias são preenchidas com materiais sedimentares marinhos que compõem as bacias mesocenozóicas das Depressões Periatlânticas, com sedimentação de plataforma. Dentre essas cita-se os fosforitos no norte de Angola (províncias de Cabinda e Zaire), do Cretáceo

superior ao Quaternário, associados a falha perioceânica que corta transversalmente o Rift do Lucapa. São compostos por concreções fosfatadas e grãos de fluorapatite com teores médios que variam de 8,7% a 28% de P_2O_5 .

Muitas dessas rochas são utilizadas para vários fins (incluindo a exploração de diamantes, pedras ornamentais e fabricação de fertilizantes). Coincidentemente esses locais são também ocupados por agricultores com diferentes perfis socioeconômicos. O uso de subprodutos dessa atividade mineral poderia se converter em inúmeros Arranjos Produtivos Minero-Agrícolas (Cluster), beneficiando um grande contingente de agricultores e, em última instância, o País.

CONCLUSÕES

O uso de remineralizadores de solo tem apresentado uma série de resultados positivos e sinaliza como uma opção para a obtenção de produções agrícolas mais sustentáveis. Além de produtividades compatíveis ou equiparáveis àquelas obtidas com o uso dos fertilizantes convencionais, a técnica da Rochagem sinaliza para a utilização de materiais disponíveis local ou regionalmente. Para além disto, e considerando a realidade de Angola, pode-se converter em uma ótima rota tecnológica aliando dois sectores que, tradicionalmente, não possuem interação: mineração e agricultura. O problema de um (excesso de rejeitos) pode-se transformar em solução para o outro (fertilizantes/insumos).

Portanto, a disponibilidade de materiais geológicos de composições variadas, em especial na região sudoeste de Angola, e que foi confirmado pelas análises de química total e petrografia de amostras representativas dessa área, este trabalho recomenda, ainda que preliminarmente, o uso de parte dessas rochas para melhorar o perfil de fertilidade dos solos de Angola. Essa acção fortalecerá a agricultura do País, em especial os mais de 50% da população que ainda vive em áreas rurais e que necessitam de apoio e novas opções tecnológicas para melhorar seu perfil produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANGOLA - Análise da Conjuntura Económica e Financeira 2019. <https://www.bna.ao/uploads/%7B-75f27bb9-6d02-43e2-9ab5-d57d019de798%7D.pdf> Araújo, A.G., Perevalov, O.V., Jukov, R.A. Carta Geológica de Angola. Escala 1:1000 000. 1988. Instituto Nacional de Geologia. Angola.
- [2] Carvalho, H., Alves, P. The precambrian of SW Angola and NW Namibia. General remarks. Correlation analysis. Economic geology. Comunicações Instituto Investigação Científica Tropical 4, 38. 1993.
- [3] Carvalho, A. M. X, Cardoso, I. M., Souza, M.E.P De E Theodoro, S. H. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: Cardoso, I. M. E Fávero, C. Solos e Agroecologia. Ed. Embrapa. Brasília. ISBN:

978-85-7035-774-8 p 101 -128. 2018

- [3] Epstein, E.; Bloom, A. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina: Editora Planta, p.169-201. 2003.
- [4] Gliessmann, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 658 p. 2001.
- [5] Hinsinger, P., Barros, O. N. F., Benedetti, M. F., Noack, Y. E Callot, G. Plant-induced weathering of a basaltic rock: *Experimental evidence. Geochemistry at Cosmochimistry Acta*. Vol. 65, No. 1, pp. 137-152, 2001
- [6] Ilchenko, W & Guimarães, D. Sobre a utilização agrícola dos sienitos nefelínicos do Planalto de Poços de Caldas. MG. Inst. Tecn. Avulso. 15. 16p, 1953.
- [7] Kronberg, B. I., Leonardos, O.H., Fyfe, W.S. The Use of Ground Rocks in Laterite Systems: an Improvement to the Use of Conventional Soluble Fertilizers. *Chemical Geology*, n. 60, p. 361 - 370. 1987.
- [8] Leonardos, O.H.; Fyfe, W.S.; Kronberg, B.I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. *Anais 29 Cong. Brasil. Geol, BH*, 1976.
- [9] Manning, D. E Theodoro, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. *The Extractive Industries and society*. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002> . 2018
- [10] Melamhed, R., Gaspar, J.C.; Miekeley, N. Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentável. In: LAPIDO LOUREIRO, F.E et al. (Eds). *Fertilizantes Agroindustriais e Sustentabilidade*. Rio de Janeiro/Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, p.385-396. 2009.
- [11] Pereira, E., Tassinari, C.C.G., Rodrigues, J.F., Van-Dúnem, M.V., 2011. *New data on the deposition age of the volcano-sedimentary Chela Group and its Eburnean basement: implications to post-Eburnean crustal evolution of the SW of Angola*. *Comunicações Geológicas*, 98, 29-40.
- [12] Rocha, E. L. P. Agroflorestas sucessionais no assentamento Fruta D'Anta/MG: potenciais e limitações para a transição agroecológica. 142p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2006 Disponível: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2204/1/2006_Eduardo%20Jorge%20Pino%20Lyra%20Rocha.pdf
- [13] Rodrigues, R. D. Sonangol - o petróleo e a estratégia de desenvolvimento económico em Angola. Dissertação de Mestrado na Universidade Aberta Mestrado Em Gestão/MBA. 2013. https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/2823/1/TMG/MBA_RuiRodrigues.pdf.
- [14] Theodoro, S. H. A. Fertilização da Terra pela Terra: Uma Alternativa de Sustentabilidade para o Pequeno Produtor Rural. Tese de doutorado. UnB, 231 p. 2000 <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20881>

- [15] Theodoro, S. H. E Leonardos, O. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais Acad. Bras. de Ciências*. Rio de Janeiro. Vol.78 nº 4 p: 715-720. 2006.
- [16] Theodoro, S. H., Tchouankoue, J. P., Gonçalves, A. O., Leonardos, O. H & Harper, J. A *Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais*. *Revista Brasileira de Geografia Física* 06. pp. 1390-1407. 2012 <http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/520/363>
- [17] Theodoro, S. H.; Leonardos, O. H. Rochagem: uma questão de soberania nacional. *XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio Geoquímica dos Países do Mercosul, Gramado/RS/Brasil 2011*. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/265509414_ROCHAGEM_UMA_QUESTAO_DE_SOBERANIA_NACIONAL
- [18] Theodoro, S. H.; Leonardos, O. H. Stonemeal: principles, potential and Perspective from Brazil. In: Goreau, T. J., Larson, R. W. And Campe, J. *Geotherapy: Innovative methods of soil fertility restoration, carbon sequestration and reversing CO2 increase*. CRC Press. 403-418. 2015.
- [19] Van Straaten P. (2007). *Agrogeology: The use of rock for crops*. Enviroquest Ltd., Cambridge, Canadá, 440 p.



Foto: DR

Revista Angolana de Geociências

CICGA

**Centro de Investigação Em Ciências
Geológicas Aplicada**

Faculdade de Ciências, Universidade Agostinho Neto

Edição N.º 1

— — —

**Luanda, Angola
2020**