

CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL ECONÔMICO DOS DEPÓSITOS DE AREIAS BRANCAS LOCALIZADOS NA ZONA RURAL DOS MUNICÍPIOS DE GOIANA E ITAQUITINGA, ESTADO DE PERNAMBUCO

Winston Álvares Spencer Holanda Filho ^{1,3}

Sebastião Rodrigo Cortez de Souza ^{2,3}

10.51359/1980-8208/estudosgeologicos.v31n2p16-42

¹ Graduação em Geologia, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

² Departamento de Geologia - DGEO, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
rodrigo.cortez@ufpe.br.

³ LEMA – Laboratório de Estudos Metalogenéticos Aplicados, DGEO/UFPE.

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo apresentar os dados de um mapeamento geológico focado no minério de areia branca média (ABM) na região rural entre os municípios de Itaquitanga e Goiana, estado de Pernambuco, numa área de 36 km², localizados geologicamente na sub-bacia Olinda. Os resultados permitiram contribuir para o entendimento da geologia local e gênese do depósito mineral colúvio-eluvial em superfície e subsuperfície para fins de exploração e exploração do minério ABM. A partir da análise de furos de sondagem disponibilizados pela empresa Itapessoca Agro Industrial, bem como com os dados coletados no trabalho de campo, foram elaborados mapa geológico e mapa de ocorrência do minério ABM, ambos em detalhe (escala 1:15.000). Foram realizados ensaios físicos que permitiram caracterizar o minério como areia branca média pobremente selecionada, subangulosa a subarredonda. Os resultados das análises químicas nas amostras de ABM revelaram teores médios altíssimos de SiO₂ de 98,61%, bem como teores baixos dos principais elementos deletérios (TiO₂ de 0,29%, Al₂O₃ de 0,69% e Fe₂O₃ de 0,12%), dentre outros. O minério ABM integra estratigraficamente o conjunto dos depósitos colúvio-eluviais, que se apresenta cobrindo a Fm. Barreiras na forma de “sheet sands”, e tem sua origem associada a um processo de intemperismo químico decorrentes da circulação de água meteórica. O intemperismo químico, causado pela presença de águas pluviais, gerou uma intensa lixiviação na Fm. Barreiras, criando como produto residual a formação de depósitos arenosos de areia, que foram classificadas e individualizadas em areia branca média (ABM), areia cinza clara média (ACcM) e areia cinza escura média (ACeM), localizados no topo e nas encostas dos tabuleiros costeiros. Os resultados deste trabalho demonstraram que a ABM se classifica como um recurso mineral indicado, com reserva provável de aproximadamente 12,1 M ton na área estudada e que se apresenta como

minério economicamente viável para exploração por satisfazer as demandas industriais da construção civil.

Palavras-Chave: Depósito de areia branca, Geologia sedimentar, Geologia econômica, Prospecção mineral.

ABSTRACT

The present work presents data from a geological mapping focused on medium-grained white sand ore (ABM) in the rural region between the municipalities of Itaquitinga and Goiana, Pernambuco state, covering an area of 36 km², geologically located in the Olinda sub-basin. The results allowed to contribute to the understanding of the local geology and genesis of the colluvium-eluvial mineral deposit in surface and subsurface for exploration and exploitation of ABM ore. From the analysis of drill holes provided by the partner company Itapessoca Agro Industrial, as well as with the data collected in the field work, a geological map and a map of occurrence of the ABM ore were carried out (1:15,000 scale). Physical characterization was carried out in the ABM ore which allowed to characterize the ore as poorly selected, sub-angular to sub-round medium-grained white sand. The results of chemical analysis performed in the ABM ore samples revealed mean SiO₂ contents of 98.61%, TiO₂ of 0.29%, Al₂O₃ of 0.69% and Fe₂O₃ of 0.12%, among others. The ABM ores is stratigraphically integrating the colluvium-eluvial deposit level that occurs covering the Barreiras Formation, forming “sheet sands” horizons or lenses, and has its origin associated with a combination of chemical weathering processes and leaching, resulting from the circulation of meteoric water. The result of weathering processes and leaching in the Barreiras Formation have as residual product the formation of sand deposits, which were classified and individualized as medium-grained white sand (ABM), medium-grained light gray sand (ACcM) and medium-grained dark gray sand (ACeM), located on the top and slopes of the tablelands coastlines. The results of this work showed that ABM is classified as an indicated mineral resource, with a probable reserve of approximately 12.1 M ton in the studied area, and that it presents itself as an economically viable ore for exploitation as it meets the industrial demands of civil construction.

Keywords: White sand deposit, Sedimentary geology, Economic geology, Mineral prospecting.

INTRODUÇÃO

O uso do minério de areia como insumo na construção civil e industrial

depende, de forma geral, das suas características mineralógicas, texturais, forma e arredondamento dos grãos, tamanho das partículas, resistência mecânica, desgaste e presença de

substância deletérias (sais solúveis, argila em torrões, M.O., umidade) (Assunção *et al.*, 2012). As principais especificações físico-químicas para o uso da areia são teor de sílica, grau de pureza, perda ao fogo, distribuição granulométrica e forma dos grãos (Azevedo & Ruiz, 1990). Para uma completa caracterização química, é recomendável uma varredura geoquímica de obtenção dos teores de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO_2 , MgO , CaO , TiO_2 e ZrO_2 para as areias de construção civil (Luz & Lins, 2005), além dos teores de Cr_2O_3 , Na_2O e K_2O (Ferreira & Daitx 2000) para outros usos específicos na indústria.

A aplicação da areia nos segmentos industriais de transformação está associada a fabricação de vidro, abrasivos, cerâmica, cimento, material refratário, siderurgia, filtros, defensivos agrícolas, ferro-ligas e moldes de fundição (Quaresma, 2009). O termo *agregados para a construção civil*, segundo Quaresma (2009), é usado no Brasil para classificar o segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral para emprego na construção civil.

No segmento de agregados estão incluídas as substâncias minerais areia, cascalho e rocha britada que entram em

misturas para produzir concreto, asfalto e argamassa ou são utilizados in natura à base de pavimentos. Segundo Assunção *et al.* (2012), a areia se apresenta como um material de massa mineral inconsolidada como produto da desagregação natural, sendo constituída predominantemente de grãos de quartzo e principal matéria-prima na indústria da construção civil. As Normas Técnicas – ABNT – NTB – 196/1955, sinaliza que a faixa de classificação da areia quanto ao tamanho do diâmetro do grão é entre 0,075 mm e 2,00 mm. Depósitos de areia podem também conter outros minerais minérios secundários de interesse econômico como monazita, ilmenita, ouro, cassiterita dentre outros (Quaresma, 2009).

A região da zona rural dos municípios de Goiana e Itaquianga do Estado Pernambuco, apresenta algumas ocorrências de depósitos de areia (Fig. 1), que são amplamente conhecidos e explorados por diversas empresas. Os resultados dessas acumulações minerais são dados, principalmente, pela ação dos agentes intempéricos, processos sedimentares e expressão geomorfológica diferenciada, inseridas geologicamente próximas à borda da Bacia Paraíba (BP).

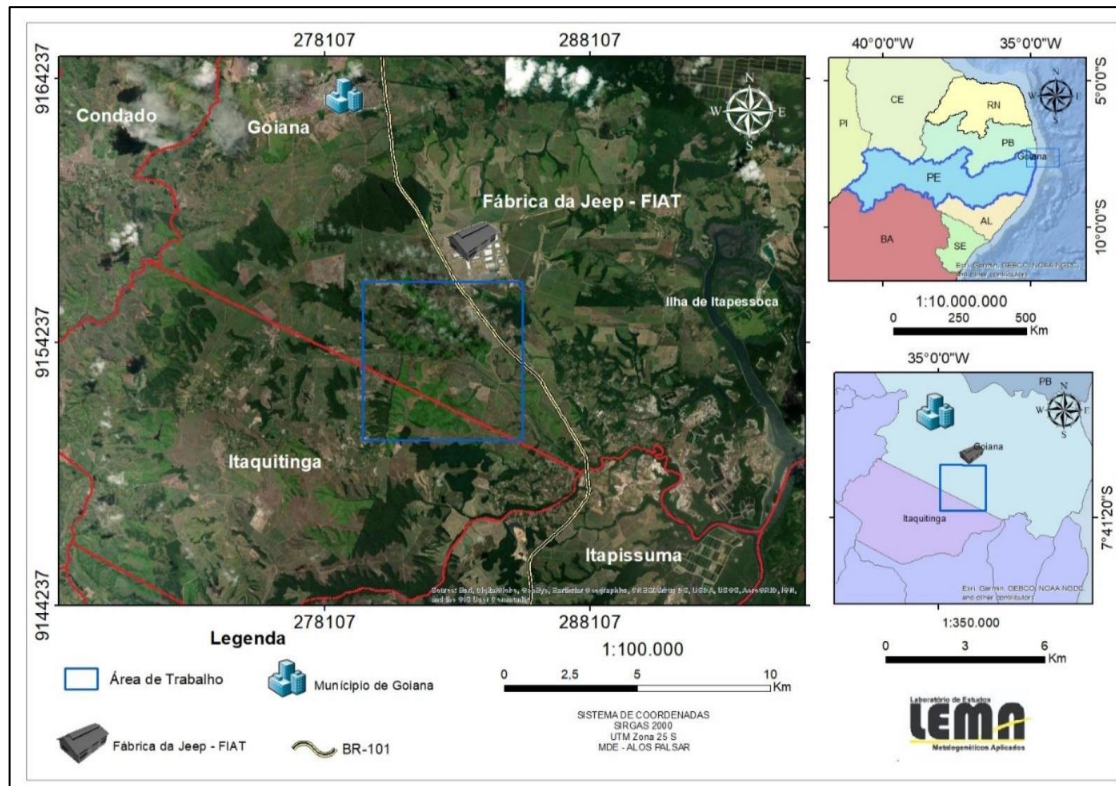


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo deste trabalho.

A área proposta para este estudo apresenta-se como uma região importante economicamente para os municípios localizados a norte da Região Metropolitana do Recife, principalmente devido ao recente processo de industrialização a qual toda a região está sendo submetida (vide a criação dos polos automobilístico, cimenteiro/ceramista e farmacêutico), desencadeando uma intensa procura por insumos minerais utilizados diretamente como matéria prima para as indústrias citadas (cerâmica, vidro e cimento), e principalmente para a construção civil atrelada a estes empreendimentos.

GEOLOGIA REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

O contexto geológico regional é referente à Bacia Paraíba (BP) (Fig. 2), que está localizada entre os limites da falha de Mamanguape, ramificação da Zona de Cisalhamento Patos à norte do Estado da Paraíba, e à sul pela Zona de Cisalhamento Pernambuco, no Estado de Pernambuco, compreendendo a uma área emersa de aproximadamente de 5300 km² (Barbosa, 2007). A BP é uma bacia costeira Mesozóica que tem sua origem e evolução relacionada a separação das placas tectônicas sul-americana e africana. A BP é subdividida pelas sub-bacias Olinda, Alhandra e

Miriri, que dividem a faixa costeira delimitada entre as zonas de cisalhamento Pernambuco e Patos

(Mabesoone & Alheiros, 1988; Barbosa, 2004).

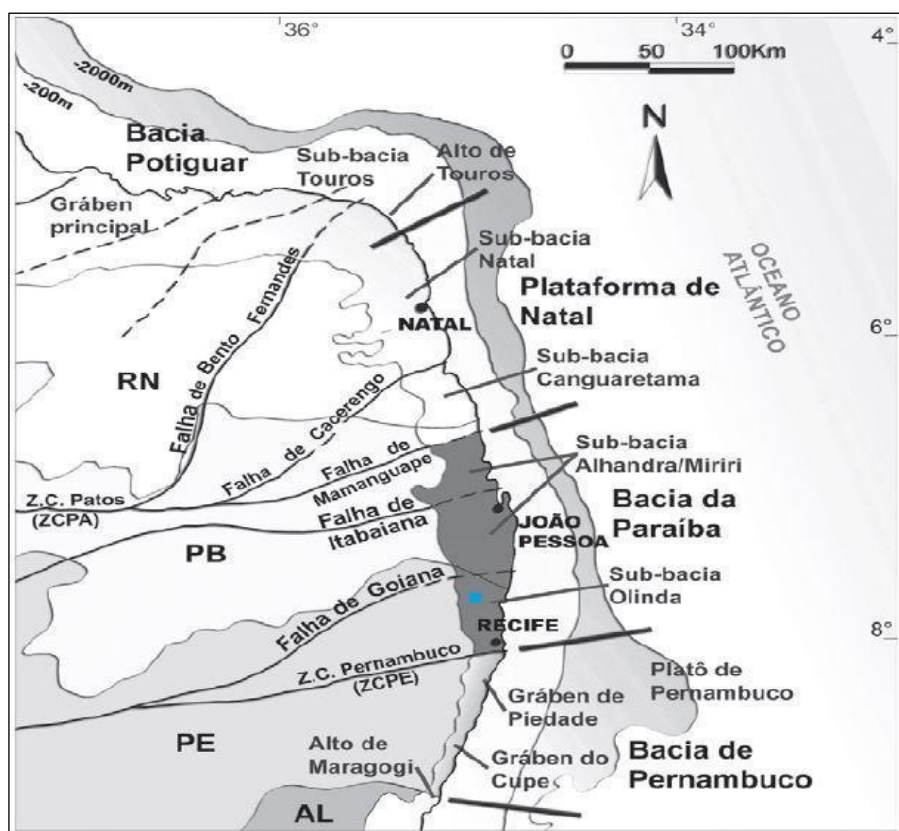


Figura 2. Localização das bacias costeiras do Nordeste, com destaque para a Bacia Paraíba (BP), e suas respectivas sub-bacias. A área de estudo (retângulo azul), está inserida no limite da Sub-bacia Olinda. Adaptado de Barbosa (2007).

A Sub-bacia Olinda (SBO) está localizada entre a Zona de Cisalhamento Pernambuco e o Alto de Goiana (Barbosa, 2004; Lima Filho et al., 2005) (Fig. 2). A SBO se apresenta na forma de uma grande cunha voltada para margem costeira com a progradação do seu flanco para o leste do continente (Barbosa 2007). Na região da SBO, a Formação Beberibe possui a maior

espessura, que iniciam da borda para o centro da bacia (Barbosa, 2007). A Formação Maria Farinha se apresenta preservada apenas na SBO em relação as sub-bacias Alhandra-Miriri, podendo significar ausência de deposição ou foram erodidas pela exposição da plataforma carbonática (Barbosa, 2007) (Fig. 3).

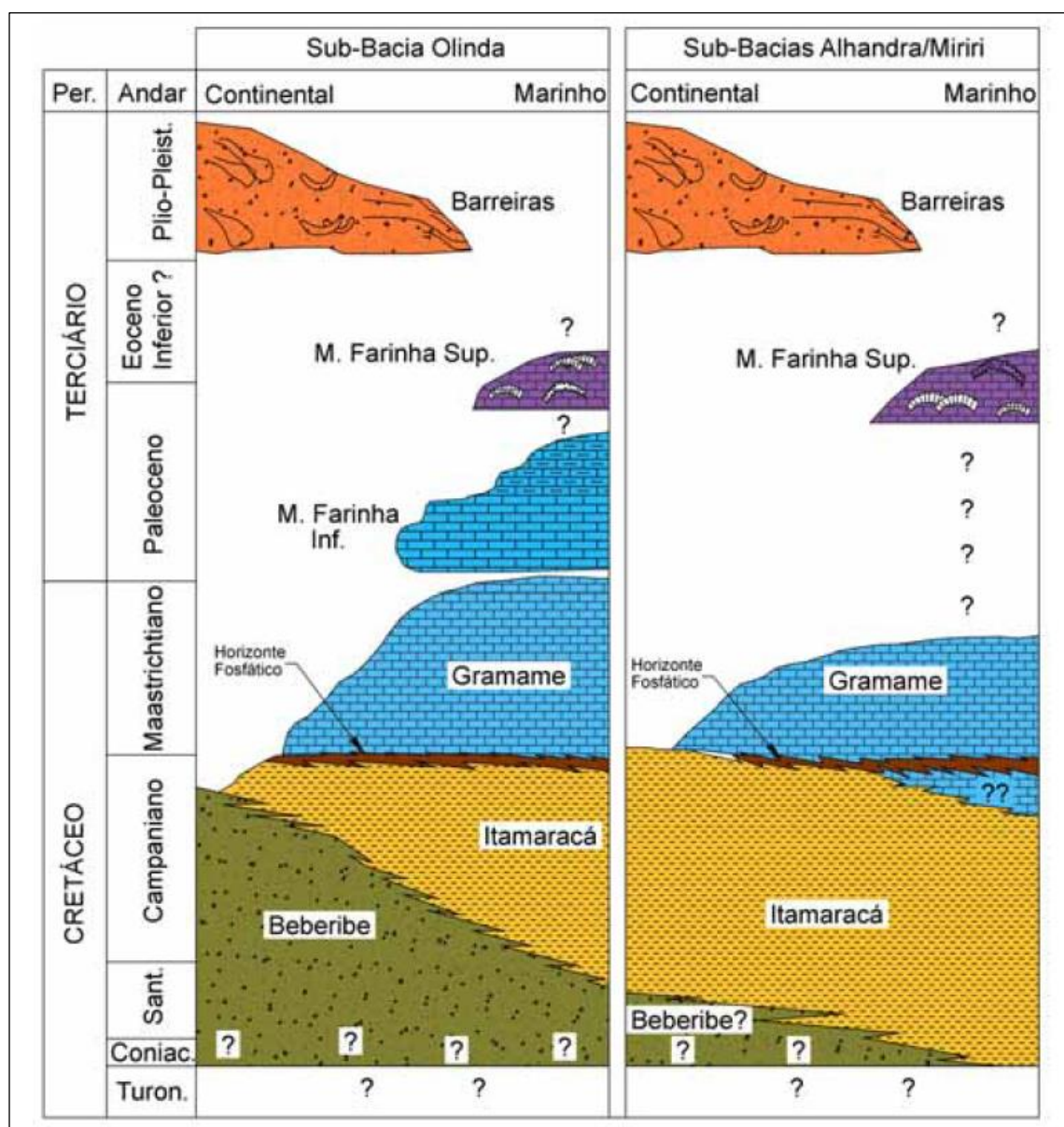


Figura 3. Estratigrafia da Bacia Paraíba (Barbosa et al., 2003).

GEOLOGIA LOCAL DA ÁREA DE ESTUDO

Formação Beberibe (Fm. Bb.)

As ocorrências interpretadas a partir do levantamento das descrições dos furos de sondagem e em conjunto com os dados coletados em campo,

permitiu apontar a presença da Fm. Bb. como aflorante nos vales e drenagens do Rio Itapirema, evidenciado de forma restrita e localizada. Litologicamente, é caracterizada de forma dominante como arenito de coloração creme acinzentada a branca, médio a grossa com níveis paraconglomeráticos e argilosos não calcíferos, com presença de camadas

compostas de argila branca e níveis com seixos e calhaus monomíticos e polimíticos (Fig. 4a).

Formação Barreiras (Fm. Ba.)

A Fm. Ba. se apresenta na área de estudo na forma geomorfológica dominada por extensos tabuleiros, com cotas de até no máximo 140 metros, sendo descritos de forma geral como arenitos amarelos a avermelhados, granulação grossa a média, em geral bastante intemperizados, com presença de níveis conglomeráticos, lateríticos e intercalações argilosas de coloração variegada (cinza amarelado, amarelo, laranja, vermelho e vermelho ferruginoso) (Fig. 4b). A Fm. Ba. se manifesta mais fortemente à nordeste e sudoeste da área de estudo, nas regiões dos municípios de Goiana e Itaquitanga, avançando até próximo ao litoral.

Depósitos Colúvio-Eluviais (DCE)

O material tipo dos depósitos DCE é predominantemente composto por sedimentos arenoso-argilosos médios a finos, pobremente selecionados, de coloração branca, cinza, cinza escura e amarela, por vezes, avermelhadas a alaranjadas (Fig. 4c). Foi possível inferir que estes sedimentos de fato capeiam a

Fm, Ba, constituindo, desta forma, uma cobertura arenosa sobre o topo e encosta dos tabuleiros costeiros.

Depósitos Aluvionares (DFL)

Esses depósitos são encontrados ao longo dos vales e drenagens principais dos rios Itapirema, Sirigi e Ipeabicu, e de alguns córregos e riachos tributários. Os sedimentos que integram esses depósitos são encontrados em geral nas calhas dos leitos dos rios e constituídos por seixos, areia média a grossa e argilas arenosas de coloração cinza a amarela clara, moderadamente selecionadas, subangulosas a subarredondadas, compostos dominantes por fragmentos de rochas, quartzo e feldspato (Fig. 4d). Nas zonas de planície de inundação dos rios, os sedimentos são classificados como argilo-arenosos a areias muito finas, ambas ricas em matéria orgânica, de coloração marrom escuro a preta. Nessas zonas foi possível encontrar níveis e blocos de argila caulínica, branca a cinza, levemente arenosas, bastante alterado.

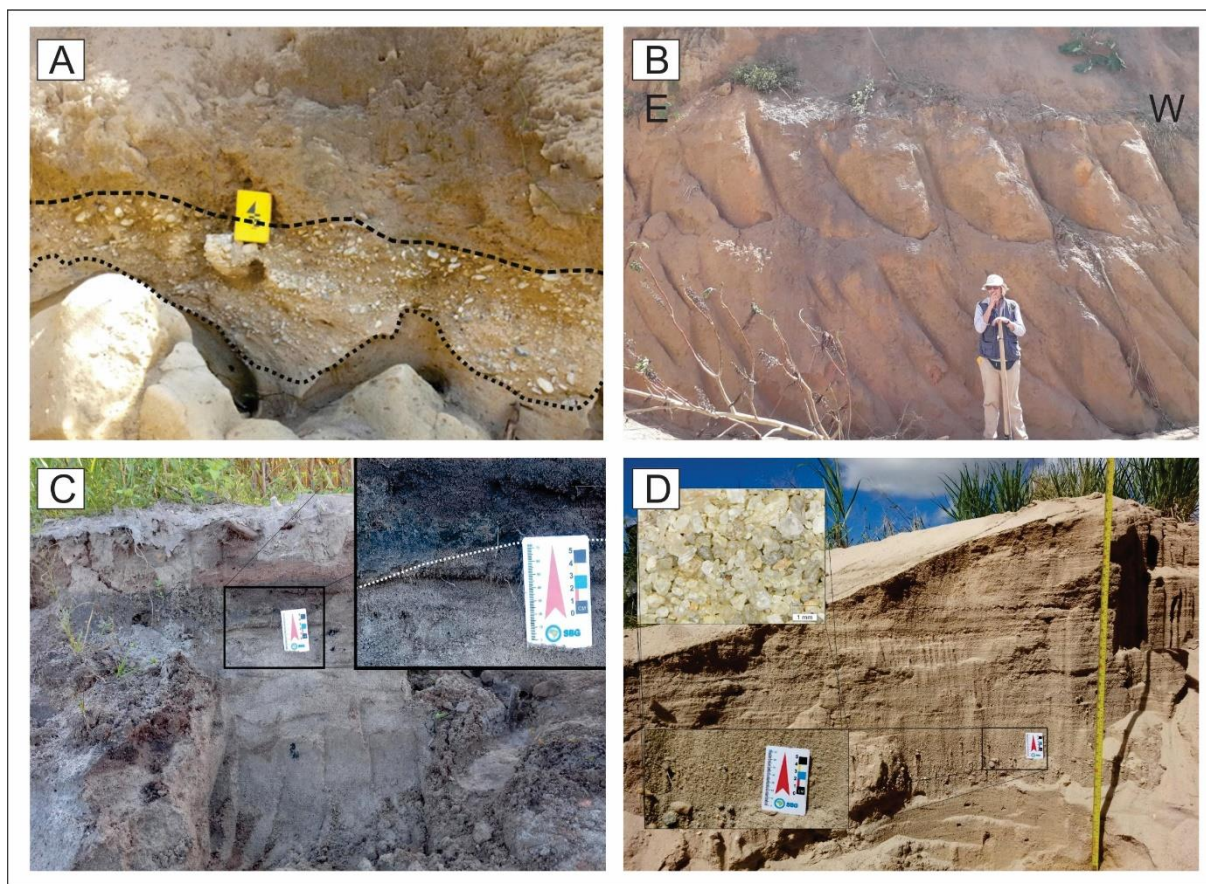


Figura 4. A) Arenito cinza claro médio vível paraconglomerático da Fm. Bb. B) Sedimentos arenoso-argilosos médios a finos da Fm. Ba., com marcas de escavações mecânicas. C) Sedimentos colúvio-eluviais (DCE), composto por areia cinza clara média pobremente selecionado com grãos subangulosos a subarredondados. D) Depósito aluvionar (DFL) apresentando uma areia amarela clara média a grossa moderadamente selecionada com estratificação plano paralela.

MATERIAL E MÉTODO

A elaboração deste estudo seguiu as metodologias científico-acadêmica a seguir, conforme Holanda Filho (2021):

Mapas Geológicos Prévios: carta geológica da Folha Cabedelo (Neumann & Guerra, 2014) em escala 1:100.000, mapa geológico da Folha Itamaracá SB.25-Y-C-VI em escala 1:100.000 (Valença & Souza, 2017) e carta

geológica-geofísica integrada do Projeto Rio Capibaribe, em escala 1:250.000 (Santos et al., 2020).

Imagens de Sensores Remotos: imagens disponibilizadas pelo aplicativo on-line Google Earth PRO (sensor Maxar Technologies, 2021) para a localização e visualização dos trabalhos de campo, incluindo o auxílio ao mapeamento geológico.

Mapas Topográficos: obtidos a partir do programa Light Detection And

Ranging - LiDAR (Programa Pernambuco Tridimensional - PE3D), e do programa Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (Jet Propulsion Laboratory - JPL/NASA), com resoluções espaciais de 1 e 30 metros, respectivamente. Após download e tratamento, os dados altimétricos foram utilizados para a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE's).

Furos de Sondagem Circulação-Reversa e Trado: a descrição dos testemunhos dos furos foram cedidos pela empresa Itapessoca Agro Industrial S/A Ltda., produtora do Cimento Nassau, como forma de colaboração com este estudo. No total foram apresentados 306 furos, todos localizados dentro da área de estudo. São compostos por 225 furos de trado e 81 furos de sondagem circulação-reversa, executados em uma malha semi-regular, todos com inclinações verticais e distâncias variadas entre 200 e 500 metros. Por se tratar de dados de caráter industrial e sigilosos, não foi permitido apresentar as localizações e projeções dos furos neste trabalho, tanto em mapa quanto em figuras.

Análises Granulométricas: foram realizadas no Laboratório de Geofísica e Geologia Marinha - LGGM/DGEO/UFPE, seguindo o fluxograma de processo para preparação: Secagem ambiente - Homogeneização/Quarteamento - Secagem em estufa a 60°C - Pesagem de 100g de amostra - Peneiramento - Pesagem das frações retidas. O peneiramento foi realizado a seco, através de uma sequência vertical de 6

peneiras de aberturas diferentes. O conjunto de peneiras foi agitada por um peneirador (agitador) mecânico (VSM 200 Via Test) por 10 minutos, e em seguida, foram medidas as massas retidas em cada uma das peneiras e no coletor de finos (fundo), a partir de uma balança de precisão de três casas (0,001). As análises granulométricas foram realizadas através do software Sysgran 3.0, utilizando a escala de Wentworth (1922), bem como os métodos estatísticos e gráficos de Folk & Ward (1967), McCammon (1962) e Tanner (1995).

Análises Morfoscópicas: Foram realizadas no Laboratório de Estudos Metalogenéticos Aplicados - LEMA/DGEO/UFPE, utilizando um microscópio digital da XTRAD - XT2036 e o gráfico de quantificação de parâmetros de esfericidade e arredondamento por estimativa visual de Krumbein e Sloss (1963).

Análises Químicas: foram realizadas no Laboratório de Geoquímica Aplicada ao Petróleo - LGAP/LITPEG/UFPE, através de um equipamento de Fluorescência de Raio-X Portátil Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+, calibrado para leituras com tempo de 100s e intervalo de confiança de aproximadamente 99.7% (3 σ). Os limites de detecção para os elementos analisados são mostrados na Tabela 1. Devido às limitações no processo de aquisição analítica do equipamento portátil, não foi possível obter leituras de Na₂O e Perda ao Fogo (LOI - Loss On Ignition).

Tabela 1 – Limites de detecção dos elementos analisados por FRXp, em ppm. Fonte: Thermo Scientific (2010). N/A – não aplicado.

Elemento Químico	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	K	P	Mn
Limite Detecção	N/A	500	35	50	350	10	40	250	60

Cubagem e Avaliação dos Recursos Minerais: o cálculo de recursos nas reservas do minério de areia contidas na área de estudo fora realizado através do método das áreas dos polígonos, de forma bastante simplificada, devido à irregularidade das informações geológicas disponíveis. Os dados de cubagem foram obtidos com o uso do software Surfer 13 e Microsoft Excel.

RESULTADOS

Caracterização Física do Minério

Coloração: a coloração dos sedimentos é uma característica importante para seu reconhecimento e descrição, uma vez que está relacionada com seus principais constituintes. Os resultados revelaram 4 grupos distintos de cores, denominados: areia cinza clara (11 de 25 amostras ou 44%), areia branca (7 de 25 amostras ou 28%), areia cinza escura (4 de 25 amostras ou 16%) e areia amarela clara (3 de 25 amostras ou 12%) (Figura 5). A Tabela 2 mostra a localização das amostras bem como a sua classificação de cores.

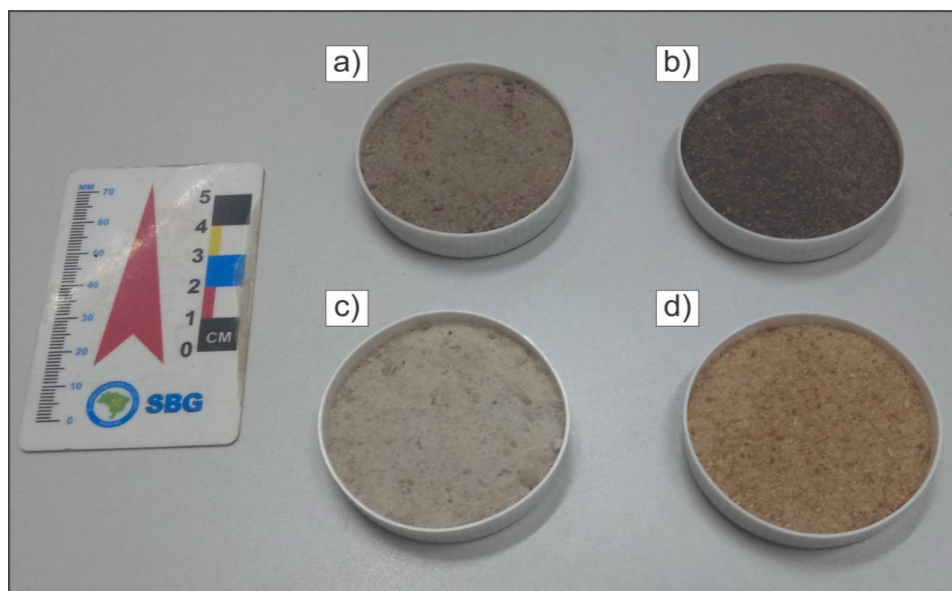


Figura 5 – Grupo de cores dominantes nas amostras do minério de areia. a) Areia cinza clara. b) Areia cinza escuro. c) Areia branca. d) Areia amarela clara.

Análise Granulométrica: os resultados da média e mediana variaram entre 1,365 – 1,82 Phi (ϕ) e 1,434 – 1,813, respectivamente, permitindo classificar o minério de forma dominante como areia média, com apenas a exceção da amostra WSA 043 Q que foi classificada como areia grossa (Tabela 2 e Figura 6).

Seleção: as amostras foram classificadas como pobremente a moderadamente selecionada, com valores variando entre 0,717 e 1,386, seguindo as metodologias de Folk & Ward (1967). O método de McCammon (1962) apresentou classificações variando entre 0,732 a 1,370. O método de Tanner (1995) revelou resultados diferentes dos outros métodos supracitados, classificando as amostras como pobremente e moderadamente selecionado e bem selecionado, variando de 0,690 a 1,326. Detalhes na Tabela 2.

Assimetria: os resultados de classificação para os minérios de areia reportaram populações simétricas de forma dominante, sendo apenas a amostra WSA 026 classificada como positiva (Tabela 2).

Curtose: os principais resultados foram do tipo mesocúrtica, em seguida com 3 amostras como leptocúrtica, e a amostra WSA 022 como platicúrtica (Tabela 2).

Arredondamento: as análises do grau de arredondamento confirmaram os dados aferidos nos trabalhos de campo através da lupa, no qual os sedimentos coletados demonstraram uma característica dominante de grãos

subangulosos (0,26 – 0,50), e uma pequena contribuição de grãos subarredondados (0,51 – 0,75), conforme a Figura 7.

Esfericidade: o grau de esfericidade do material analisado se demonstrou variado, entretanto, com uma predominância de alta esfericidade (0,5 – 1) (Fig. 7).

Brilho: os grãos analisados evidenciaram brilhos distintos em relação a sua mineralogia, no qual os opacos apresentaram um brilho metálico, enquanto, os grãos de quartzo, que se apresentam de forma dominante nas amostras, apresentaram um brilho não metálico vítreo predominante, e fosco de forma subordinada. Para os grãos silicáticos estudados, os do grupo das areias brancas apresentaram brilho vítreo, os do grupo das areias cinza clara apresentaram brilho vítreo a fosco, enquanto os do grupo das areias cinza escuras apresentaram brilho fosco a vítreo. Em relação aos minerais opacos presentes, em todos os grupos de areias foram reportaram brilho metálico.

Caracterização Geoquímica do Minério

Ensaio analítico pela técnica de Fluorescência de Raios X portátil (FRXp) foram efetuados nas mesmas amostras que foram realizados ensaios de caracterização física. A Tabela 3 sintetiza os resultados geoquímicos obtidos, expressos na forma dos seguintes óxidos (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , P_2O_5), bem como agrupados segundo as classes predominantes do minério de areia.

CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL ECONÔMICO DOS DEPÓSITOS...

Tabela 2 – Resumo da caracterização física do minério (segundo Folk & Ward, 1967). Classif. – Classificação. Pob. Selec. – Pobremente Selecionado. Aprox.sim. – Aproximadamente simétrico.

Pontos	Coordenadas			Amostra	Média		Mediana	Seleção		Assimetria		Curtose		Coloração
	X	Y	Z (m)		Valor	Classif.		Valor	Classif.	Valor	Classif.	Valor	Classif.	
001	285391	9153659	75	WSA 001	1,628	Areia média	1,62	1,23	Pob. selec.	-0,01	Aprox.sim.	1,05	Mesocúrtica	Cinza Clara
003	284849	9154754	77	WSA 003	1,594	Areia média	1,55	1,01	Pob. selec.	0,09	Aprox.sim.	1,13	Leptocúrtica	Cinza Escura
004	285193	9155454	78	WSA 004	1,82	Areia média	1,81	1,11	Pob. selec.	0,02	Aprox.sim.	0,96	Mesocúrtica	Branca
008	284455	9155549	104	WSA 008	1,717	Areia média	1,77	1,21	Pob. selec.	-0,06	Aprox.sim.	0,97	Mesocúrtica	Cinza Clara
009	283743	9155683	102	WSA 009	1,658	Areia média	1,61	1,04	Pob. selec.	0,09	Aprox.sim.	1,10	Mesocúrtica	Cinza Escura
011	283998	9156330	80	WSA 011	1,764	Areia média	1,77	1,10	Pob. selec.	0,01	Aprox.sim.	0,94	Mesocúrtica	Cinza Clara
016	282637	9155893	84	WSA 016	1,699	Areia média	1,65	1,07	Pob. selec.	0,08	Aprox.sim.	1,02	Mesocúrtica	Branca
017	282168	9156328	88	WSA 017	1,741	Areia média	1,70	1,10	Pob. selec.	0,07	Aprox.sim.	1,01	Mesocúrtica	Cinza Escura
018	279860	9156135	115	WSA 018	1,732	Areia média	1,79	1,28	Pob. selec.	-0,08	Aprox.sim.	1,01	Mesocúrtica	Branca
019	280279	9155719	123	WSA 019	1,706	Areia média	1,69	1,08	Pob. selec.	0,05	Aprox.sim.	0,97	Mesocúrtica	Cinza Clara
020	280762	9156057	106	WSA 020	1,774	Areia média	1,75	1,08	Pob. selec.	0,05	Aprox.sim.	0,95	Mesocúrtica	Cinza Clara
021	280851	9155238	117	WSA 021	1,747	Areia média	1,74	1,04	Pob. selec.	0,03	Aprox.sim.	0,98	Mesocúrtica	Cinza Creme
022	281748	9154829	111	WSA 022	1,667	Areia média	1,66	1,16	Pob. selec.	0,04	Aprox.sim.	0,87	Platicúrtica	Cinza Clara
023	282500	9154300	107	WSA 023	1,739	Areia média	1,76	1,26	Pob. selec.	-0,04	Aprox.sim.	0,97	Mesocúrtica	Cinza Clara
025	283593	9155545	95	WSA 025	1,769	Areia média	1,72	1,08	Pob. selec.	0,07	Aprox.sim.	1,00	Mesocúrtica	Cinza Clara
026	283500	9155421	96	WSA 026	1,62	Areia média	1,57	1,04	Pob. selec.	0,11	Positiva	1,06	Mesocúrtica	Branca
028	284687	9154055	99	WSA 028	1,618	Areia média	1,57	1,03	Pob. selec.	0,10	Aprox.sim.	1,00	Mesocúrtica	Cinza Escura
034	284843	9150625	105	WSA 034	1,651	Areia média	1,63	1,17	Pob. selec.	0,00	Aprox.sim.	1,15	Leptocúrtica	Cinza Clara
035	285320	9151260	64	WSA 035	1,666	Areia média	1,70	1,32	Pob. selec.	-0,07	Aprox.sim.	1,07	Mesocúrtica	Branca
036	285084	9151878	72	WSA 036	1,52	Areia média	1,58	1,39	Pob. selec.	-0,07	Aprox.sim.	0,90	Mesocúrtica	Branca
048	280322	9154159	98	WSA 048	1,522	Areia média	1,51	1,10	Pob. selec.	0,03	Aprox.sim.	1,02	Mesocúrtica	Branca
049	280300	9152940	128	WSA 049	1,495	Areia média	1,48	1,23	Pob. selec.	0,01	Aprox.sim.	1,02	Mesocúrtica	Cinza Clara

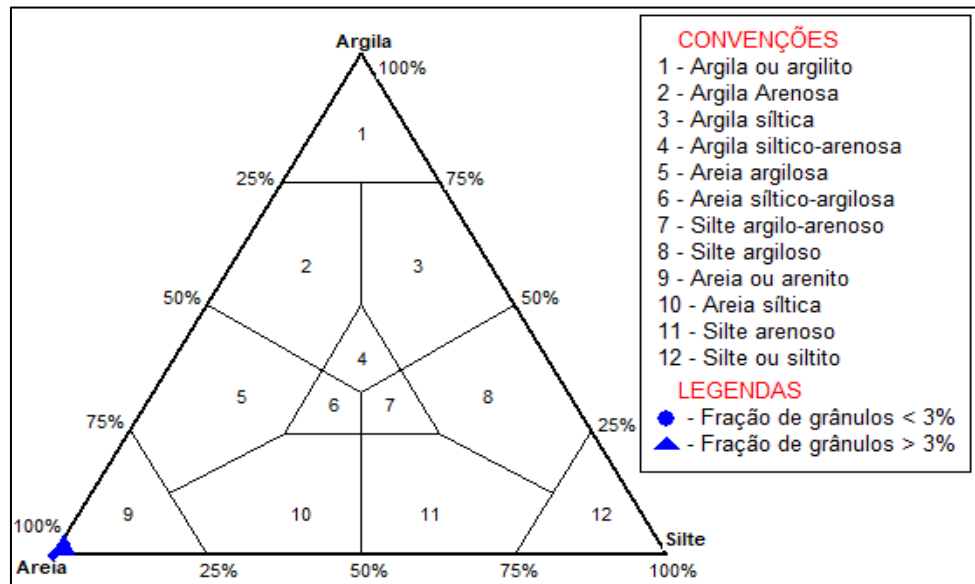


Figura 6 – Diagrama de Shepard (1954) para classificação dos tamanhos dos grãos dos sedimentos das amostras coletadas na área de estudo.

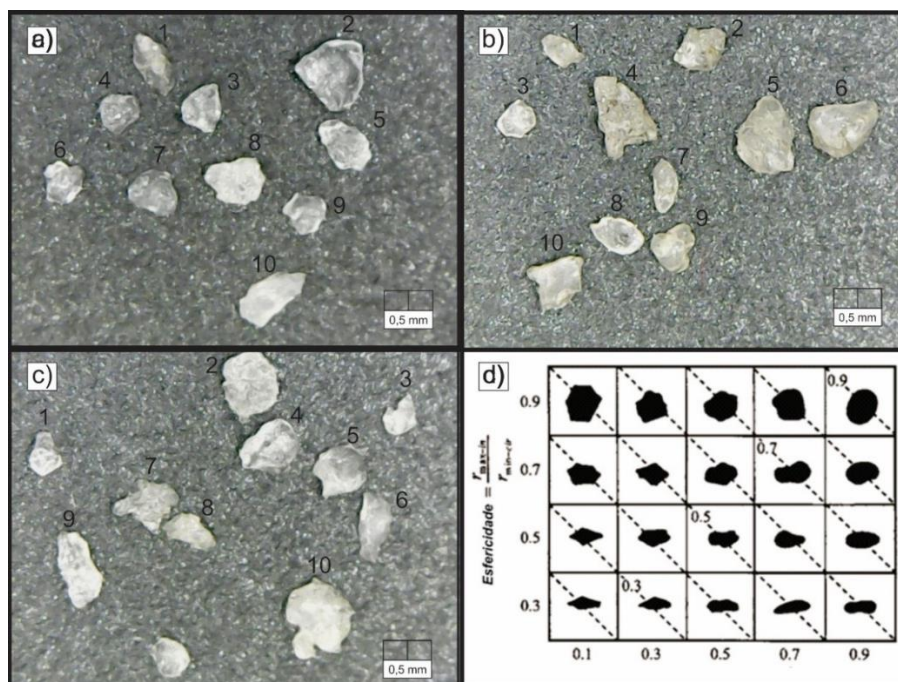


Figura 7 – a) Fotografia dos grãos da amostra de areia média branca (WSA 036). b) Fotografia dos grãos da amostra de areia média cinza escura (WSA 017). c) Fotografia dos grãos da amostra de areia média cinza clara (WSA 034), sendo ambas as amostras retidas na peneira de 0,250 mm. d) Gráfico de quantificação de parâmetros de esfericidade e arredondamento por estimativa visual. Tabelas no canto inferior direito apresentam as classificações utilizadas neste trabalho. Adaptado de Krumbein & Sloss (1963).

Os resultados das análises químicas nas amostras de areia branca revelaram teores de SiO_2 com valores máximo de 99,11% e mínimo de 97,86 %, com média de 98,61%. Os teores de TiO_2 evidenciaram valores de 0,13 a 0,57% e média de 0,29%. Os teores de Al_2O_3 nas amostras apresentaram valor máximo de 1,07% e mínimo de 0,41%, com média de 0,69%. Os teores de Fe_2O_3 apresentaram valores entre 0,03 e 0,21% com média 0,12%. As amostras de areia cinza clara expressaram teores de SiO_2 entre 94,97 e 98,52%, apresentando uma média de 97,01%. Os teores de TiO_2 indicam valores de máximo de 1,13% e mínimo de 0,37% com média de 0,67%. Os teores de Al_2O_3 nas amostras apontam um valor máximo de 3,68% e mínimo de 0,72%, com média de 1,83%. Os teores de Fe_2O_3 apresentaram valores entre 0,07 e 0,49% com média de 0,24%. Por fim as amostras de areia cinza escura apresentaram teores de SiO_2 com valor máximo de 96,26% e mínimo de 89,89 %, com média de 93,78%. Os teores de TiO_2 indicaram valores entre 0,32 a 1,25% com média de 0,91%. Os teores de Al_2O_3 mostraram um valor máximo de 7,65% e mínimo de 2,32% e média de 4,24%. Os teores de Fe_2O_3 revelaram valores entre 0,18 e 0,90% com média de 0,51%.

Caracterização Econômica do Minério

Após a integralização e interpretação dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização físico-química (cor, granulometria, morfologia e química dos sedimentos), os grupos de amostras classificados como minérios de areia são: grupo das areias brancas de granulação média (ABM), grupo das areias cinza clara de granulação média (ACcM) e grupo das areias cinza escura de granulação média (ACeM). O grupo ABM pode ser classificado como o principal tipo de minério neste trabalho, enquanto os grupos ACcM e ACeM mostram-se candidatos ao fornecimento de insumos com potencial econômico secundários (Figura 8). O grupo das areias amarela clara de granulação média (AAcM) não apresenta características físico-químicas que permita ser classificada como minério, de acordo com as necessidades industriais das empresas da região.

Tabela 3 – Análises químicas das areias branca, cinza clara e cinza escura obtidas na área de estudo.

Ponto	Grupo de cores	Óxidos											
		SiO ₂ (Média)		TiO ₂ (Média)		Al ₂ O ₃ (Média)		Fe ₂ O ₃ (Média)		MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
WSA 004	areia branca	98,21%	(98,61%)	0,57%	(0,29%)	0,99%	(0,69%)	0,18%	(0,12%)	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%
WSA 016		98,59%		0,37%		0,41%		0,06%		0,00%	0,04%	0,00%	0,54%
WSA 018		98,82%		0,34%		0,62%		0,20%		0,00%	0,03%	0,00%	0,00%
WSA 026		99,01%		0,13%		0,44%		0,03%		0,00%	0,01%	0,00%	0,38%
WSA 035		98,67%		0,15%		0,76%		0,08%		0,00%	0,02%	0,00%	0,32%
WSA 036		99,11%		0,25%		0,53%		0,09%		0,00%	0,02%	0,00%	0,00%
WSA 048		97,86%		0,22%		1,07%		0,21%		0,35%	0,03%	0,06%	0,21%
WSA 001	areia cinza clara	98,52%	(97,01%)	0,38%	(0,67%)	0,99%	(1,83%)	0,08%	(0,24%)	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%
WSA 008		96,90%		0,71%		1,70%		0,21%		0,46%	0,02%	0,00%	0,00%
WSA 011		95,10%		0,81%		3,56%		0,49%		0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
WSA 019		97,46%		0,55%		1,43%		0,07%		0,00%	0,04%	0,00%	0,44%
WSA 020		96,74%		0,80%		2,13%		0,27%		0,00%	0,06%	0,00%	0,00%
WSA 021		94,97%		0,52%		3,68%		0,32%		0,00%	0,05%	0,00%	0,47%
WSA 022		97,69%		1,04%		0,91%		0,31%		0,00%	0,05%	0,00%	0,00%
WSA 023		97,05%		1,13%		1,34%		0,44%		0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
WSA 025		98,31%		0,37%		1,13%		0,16%		0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
WSA 034		98,39%		0,37%		0,72%		0,12%		0,00%	0,04%	0,00%	0,36%
WSA 049		95,97%		0,65%		2,52%		0,19%		0,00%	0,08%	0,06%	0,53%
WSA 003	areia cinza escura	89,89%	(93,78%)	1,18%	(0,91%)	7,65%	(4,24%)	0,90%	(0,51%)	0,28%	0,10%	0,00%	0,00%
WSA 009		93,21%		1,25%		4,48%		0,80%		0,00%	0,26%	0,00%	0,00%
WSA 017		95,78%		0,88%		2,32%		0,19%		0,00%	0,14%	0,00%	0,70%
WSA 028		96,26%		0,32%		2,50%		0,18%		0,00%	0,20%	0,00%	0,54%

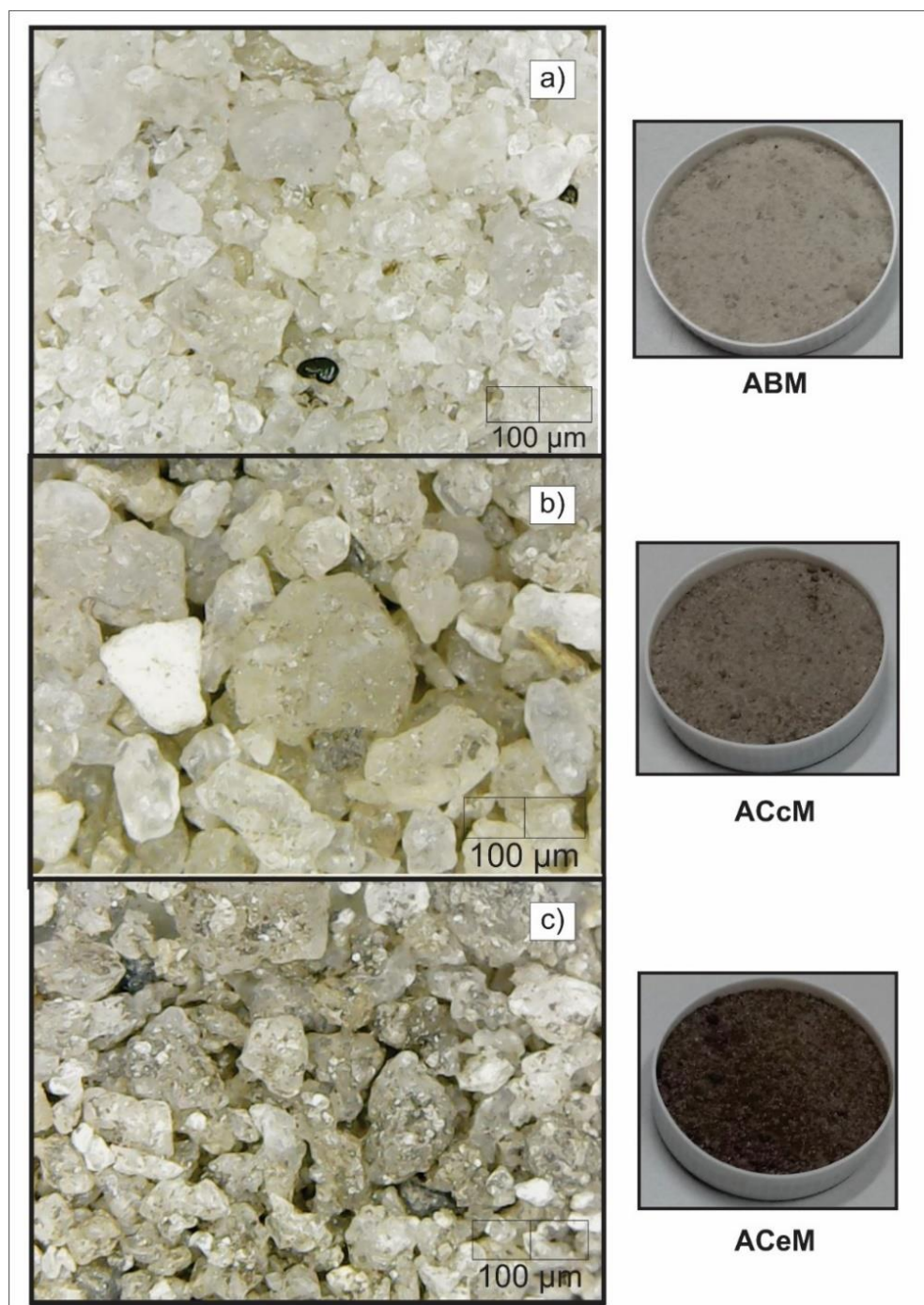


Figura 8 – Grupos de amostras de potencial econômico mineral. A) Areia Branca Média - ABM, B) Areia Cinza Clara Média - ACcM e C) Areia Cinza Escura Média - ACeM.

Mapeamento Geológico da Área e dos Depósitos de Minérios

A área estudada possui geologia bastante simplificada, dominada predominantemente pela ocorrência de sedimentos inconsolidados e solos, com pouquíssimos e raros afloramentos (Fig. 9). Os resultados obtidos demonstraram

a ocorrência de coberturas arenosas-argilosas recobrindo a Formação Barreiras no topo de tabuleiros costeiros, gradando para a ocorrência de depósitos eluviais e coluviais nas encostas (vertentes) e sopés dos vales, culminando com a deposição de sedimentos aluvionais quaternários.

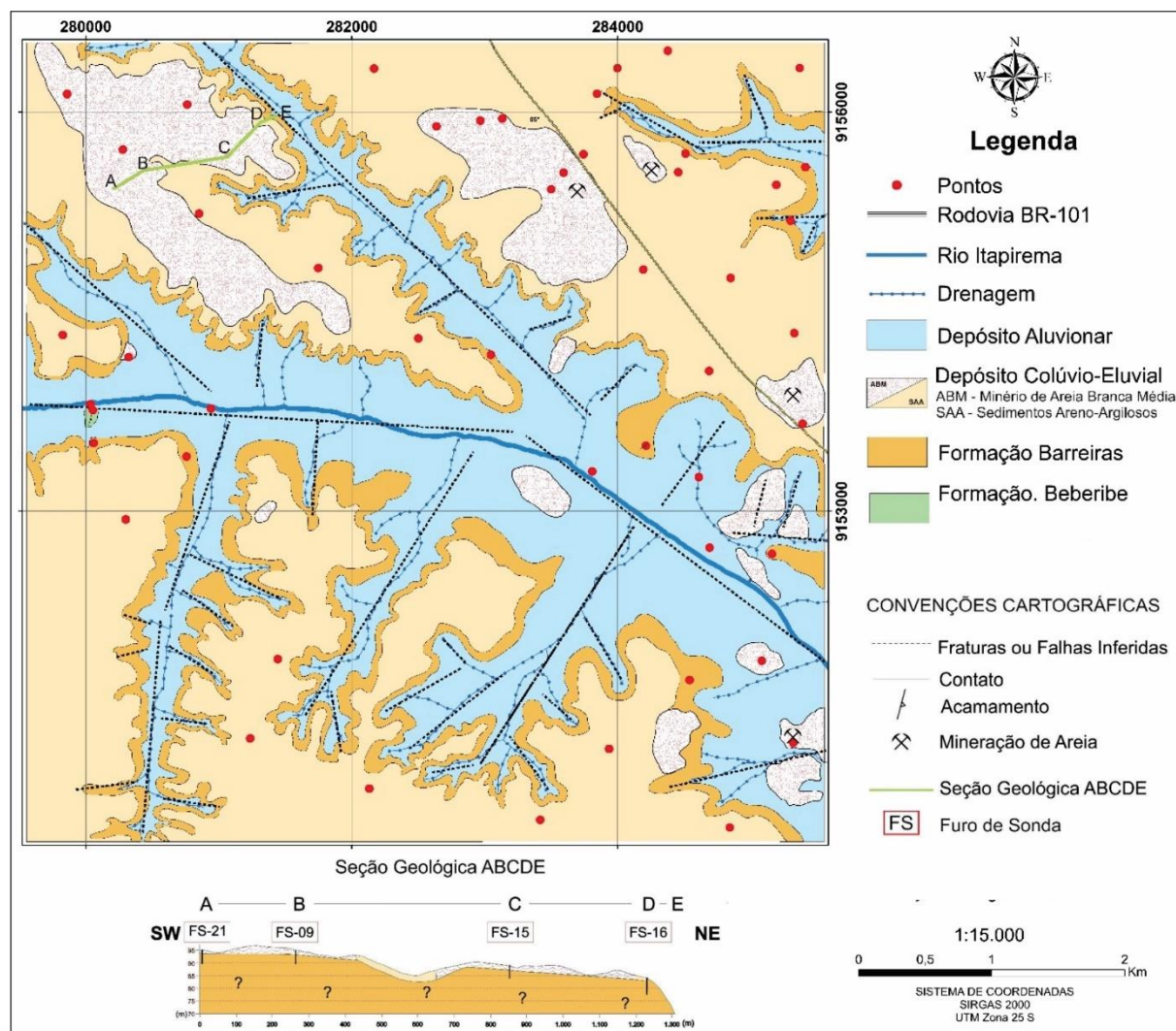


Figura 9 – Mapa geológico da área de estudo.

A Formação Beberibe foi reconhecida em apenas um afloramento, localizado no extremo centro-oeste da área estudada (Fig. 9). Trata-se de um pequeno afloramento de arenito continental, grosso a conglomerático, perfazendo uma pequena janela não deposicional em meio aos depósitos aluvionais quaternários, com acamamento sedimentar que mergulha segundo 05°/105az. A Formação Barreiras foi reconhecida em apenas 5 afloramentos (Fig. 9), apresentando litotipos que variam de arenitos amarelos a avermelhados, granulação grossa a média, em geral bastante intemperizados, com presença de níveis conglomeráticos, lateríticos e intercalações argilosas de coloração variegada e acamamento sedimentar que mostrou uma leve ondulação, com mergulho de baixo ângulo segundo 21°/158az. Os depósitos colúvio-eluviais – DCE, que englobam as areias ABM, ACcM e ACeM, foram reconhecidos em 37 pontos geológicos (Fig. 9). O DCE capeia as formações sedimentares em

desconformidade com contatos discordantes e erosivos. Os demais 6 pontos estudados representam amostras de sedimentos classificadas como AAcm e foram interpretadas como depósitos aluvionares – DFL.

Cubagem dos Recursos Minerais

O minério considerado para o cálculo de cubagem das reservas foi o ABM, que está inserido no conjunto estratigráfico DCE, que após processamento dos dados de campo e de sondagem (126 furos positivos, sendo 112 de trado e 14 de circulação-reversa), foi possível determinar a geometria dos depósitos como sendo aproximadamente tabular, com acamamento sub-horizontal, suavemente ondulado, recobrindo a Fm. Barreiras acompanhando a declividade do relevo, por vezes recobrindo até mesmo os aluviões inconsolidados localizados nos vales das drenagens. O produto do mapeamento e individualização do minério é apresentado na Figura 10.

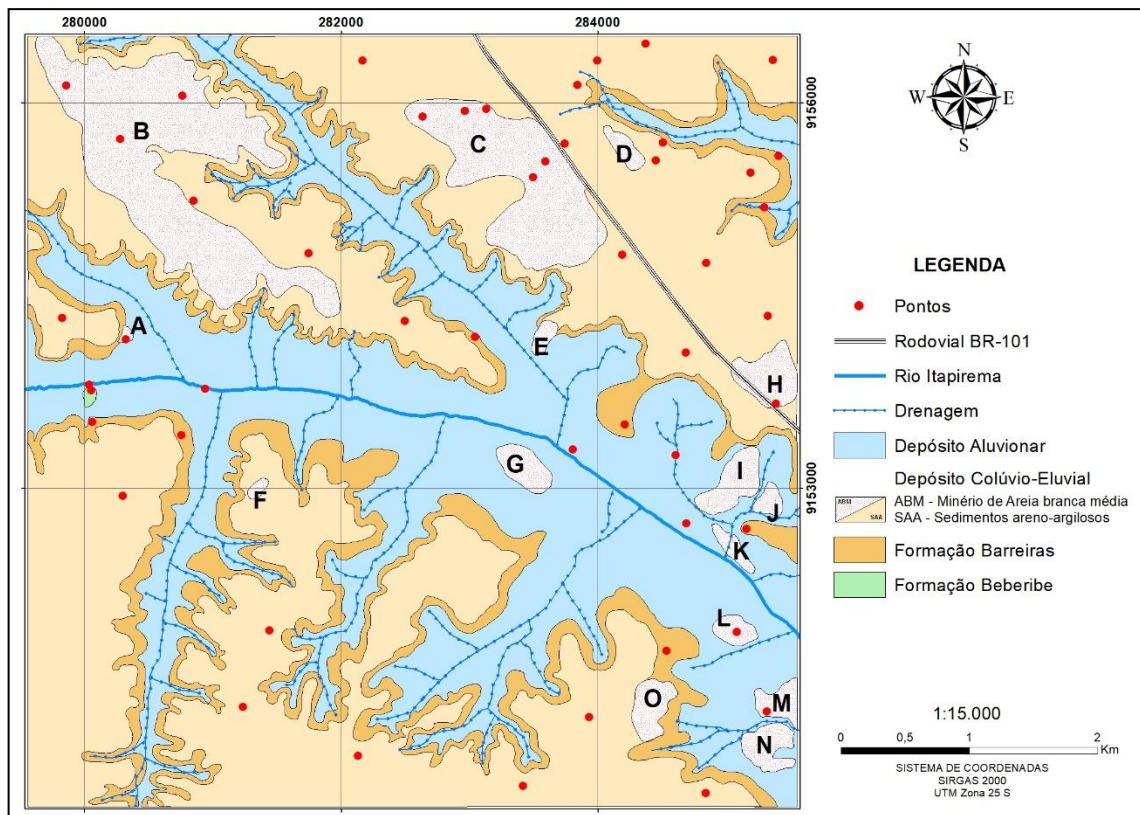


Figura 10 – Mapa dos corpos de minérios de Areia branca média – ABM.

Devido à fatores geológicos como erosão e não deposição, a área aflorante do minério ABM foi dividida em 15 corpos mineralizados, nomeados Corpo A até Corpo O, cada um com expressões de dimensões superficiais e espessura que variaram de 0,2 a 6 metros (Fig. 10 e Tabela 4). Em relação à variação geoquímica dos teores de SiO_2 , que foi um dos principais parâmetros utilizados para a caracterização do minério de areia, optou-se por utilizar os resultados apenas do minério ABM (Tabela 3) para determinar as principais variáveis estatísticas que descrevem o comportamento dos depósitos.

Os parâmetros estatísticos média (98,56%) e mediana (98,67%) geraram um valor de variância (0,17) e desvio padrão (0,41) muito baixos, mostrando a homogeneidade das informações obtidas (Figura 11a). Estas informações foram agrupadas segundo a sua tabela de frequência (Figura 11b), a qual forneceu o gráfico de frequências mostrado na Figura 11c, com regressão linear com c.a. 84% de confiança. Esse conjunto de informações indica claramente uma destruição normal para essa população de dados, afirmação corroborada pelo bloxpot da Figura 11d, que mostra a dispersão dos resultados muito próximo da média, sempre dentro do 2° e 3° quadris.

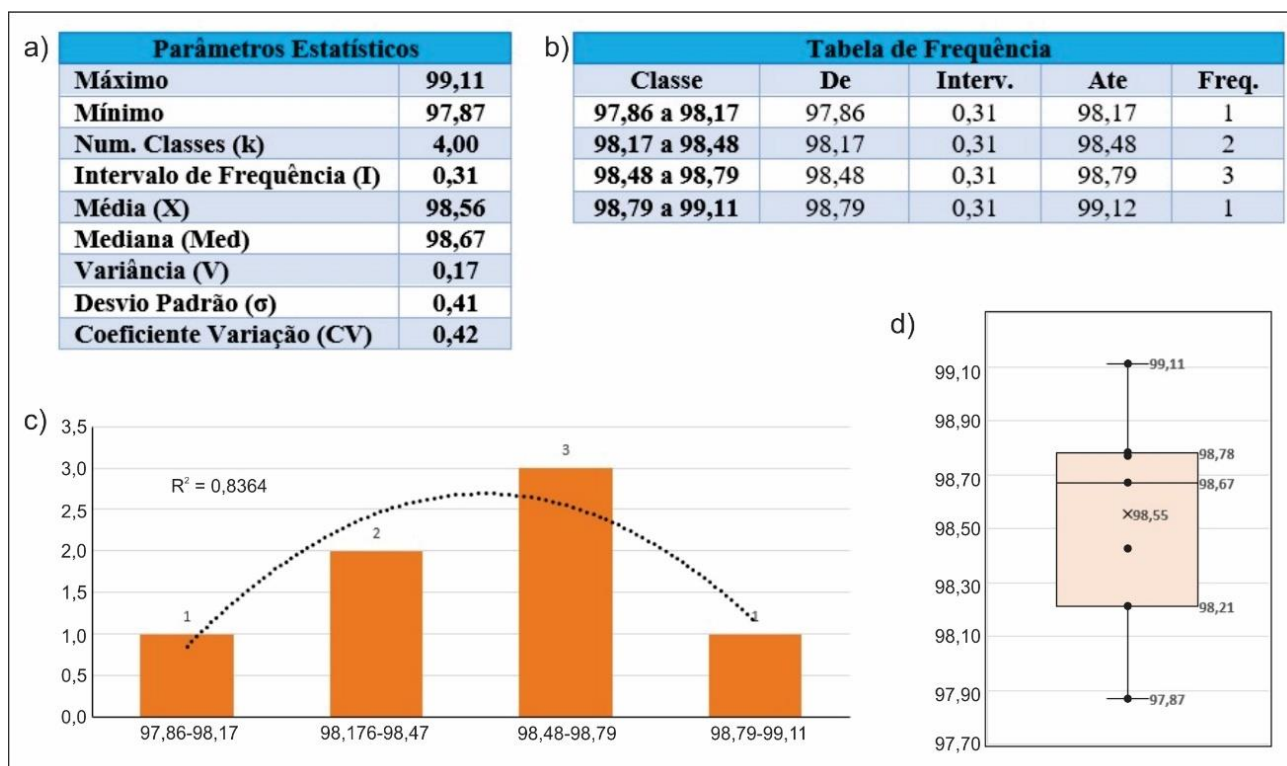


Figura 11 – Parâmetros estatísticos obtidos para os teores de SiO₂ do minério ABM. a) parâmetros estatísticos. b) tabela de frequência. c) gráfico de frequência. d) boxplot dos resultados analíticos.

De acordo com Abzalov (2016), mineralização com coeficiente de variação com valores numéricos muito baixos (<20%) demonstra uma grande homogeneização no processo de formação do minério. No caso estudado, o valor do CV foi de 0,42% indicando uma excepcional padronização para esses dados.

Apesar da grande quantidade de informações de sondagem (126 furos, entre circulação-reversa e trado) e 26 pontos de campo que reportaram minério ABM, a distribuição em campo destas informações se mostraram bastante irregulares, de forma que não foi possível aplicar uma parametrização adequada dos métodos clássicos mais eficientes para cubagem das jazidas

(métodos das seções geológicas e/ou o das áreas de influências e/ou krigagem), quer seja por dificuldades em montar as seções geológicas (malha com irregularidade > 20°), quer seja pela enorme diferença entre as dimensões horizontais (de 200 a 500m) x verticais (0,2 a 6 metros), quer seja pela falta de análises geoquímicas (teores) nos furos.

Para contornar esse empecilho, a cubagem foi realizada por uma metodologia bastante simplificada, mas possível de ser utilizada em depósitos que se mostrem extremamente regulares, como os deste trabalho, uma vez que as pequenas variações observadas nos parâmetros “espessura” e “teores” permitem inferir médias aritméticas simples com grande

confiabilidade (Abzalov, 2016). Desta forma, a metodologia aplicada na cubagem dos depósitos consistiu em:

- i) Individualização de cada corpo mineralizado, nomeando-os de Corpo A a Corpo O, determinando a área superficial (S) de cada corpo, com o auxílio do software ArcGis 10.3 (Fig. 10).
- ii) Determinação da espessura média (e) de cada corpo, a partir da média das espessuras dos furos de sondagem encontrados em cada corpo, com o auxílio do software Surfer 13.
- iii) Estabelecimento do volume (V, em m³) de cada corpo mineralizado através da multiplicação da área superficial (S) pela espessura média (e).
- iv) Estabelecimento da tonelagem do minério de areia (T, em ton.) de cada corpo mineralizado através da multiplicação de V pela densidade média (d, em Kg/m³), medida em laboratório (d=1950). A tonelagem total da área estudada é a soma da tonelagem de todos os corpos mineralizados ($T_{tot} = T_A + T_B + \dots + T_O$).

A Tabela 4 sintetiza a cubagem obtida, de acordo com as metodologias descritas acima. A tonelagem total calculada foi de 12.181.874,25 ton. de minério de areia branca média. Com base nas normas da CBRR (Comissão Brasileira de Recursos e Reservas) para a classificação das reservas minerais, e considerando que o atual grau de conhecimento por sondagem e/ou outros trabalhos mineiros é tido como baixo, com uma distribuição irregular e relativamente distante entre os dados, e que apesar do baixo coeficiente de variação que mostra um processo de mineralização muito homogêneo, seguramente o erro analítico da amostragem da cubagem será de ordem superior a 40% (não calculado neste trabalho devido à não aplicação da metodologia geométrica necessária para tal), o status dos recursos minerais obtidos podem ser classificados como Indicados, com reservas minerais Prováveis.

Tabela 4 – Súmula das cubagens obtidas no trabalho, divididas pelo respectivo corpo mineralizado.

Corpo	Área (S) (m²)	Espessura Média (e) (m)	Volume (V) (m³)	Densidade (d) (Kg/m³)	Tonelagem (ton)
A	10476,46	0,80	8.381,17	1.950	16.343,28
B	1853899,86	1,86	3.448.253,75	1.950	6.724.094,81
C	1010298,42	1,56	1.576.065,53	1.950	3.073.327,79
D	50704,08	1,45	73.520,92	1.950	143.365,78
E	34170,26	1,00	34.170,26	1.950	66.632,01
F	15952,95	1,45	23.131,78	1.950	45.106,97
G	105074,76	1,03	108.227,00	1.950	211.042,65
H	172689,36	1,48	255.580,25	1.950	498.381,49
I	145163,01	0,96	139.356,49	1.950	271.745,16
J	40212,05	0,97	39.005,69	1.950	76.061,09
K	44608,27	2,93	130.702,24	1.950	254.869,36
L	60876,30	0,20	12.175,26	1.950	23.741,76
M	78753,04	1,75	137.817,83	1.950	268.744,76
N	112537,61	0,87	97.907,72	1.950	190.920,05
O	114661,36	1,42	162.819,13	1.950	317.497,30
Total	3.850.077,79	1,35	6.247.115,00	1.950	12.181.874,25

DISCUSSÃO

Aspectos Geológicos/Estratigráficos

Os sedimentos inconsolidados sobre a Fm. Barreiras na área de estudo apresentam variações provavelmente decorrentes dos processos de intemperismo diferenciados sobre a rocha fonte heterogênea, no qual apresenta uma maior resistência aos processos de lixiviação e erosão, corroborando as afirmações de Mabesoone *et al.* (1972). Neumann & Guerra (2014) advoga que os sedimentos dos depósitos colúvio-eluviais formam extensos areais (*sheet sands*) que recobrem os sedimentos do Formação Barreiras, em sua maioria, provenientes do retrabalhamento da própria Formação Barreiras. De acordo com Suguio (2003), o processo de formação dos depósitos eluviais é originado a partir de um processo de

intemperismo, pelo qual os materiais do solo de um horizonte superior são deslocados em solução ou suspensão para níveis inferiores, formando horizontes eluviais e aluviais, respectivamente, níveis superiores e inferiores, enquanto os depósitos coluviais são resultados da movimentação declive abaixo de um elúvio, transportados predominantemente por processos gravitacionais.

Em campo foi possível constatar que o minério ABM por vezes aparece intercalado com as coberturas aluvionares recentes (*sheet sands*), o que amplia o espectro de possibilidades de ocorrência destes minérios. Contudo, essa afirmação leva a um problema de posicionamento estratigráfico do minério, uma vez que a literatura aponta um posicionamento entre os depósitos DCE na transição entre o Neógeno e o Pleistoceno (Neumann & Guerra, 2014),

e não entre o Neógeno e o Holoceno, como uma primeira análise aponta. Se classificarmos os depósitos DCE em dois grupos, notadamente em i) *fácies eluvial* e ii) *fácies coluvial*, é possível interpretar que os depósitos da *fácies eluviais* estejam relacionados com os minérios contidos nas regiões planas do topo do platô, representando o minério *in situ* e de provável idade Neógena/Pleistocena. Enquanto os minérios da *fácies coluviais* provavelmente representem o produto do dismantelamento da *fácies* anterior, tendo sofrido intemperismo/erosão /transporte e finalmente deposição na porção do talude entre o platô e o vale, intercalando-se com os sedimentos inconsolidados aluviais que são depositados concomitantemente pelas drenagens que suportam os vales, em processos recentes (ativos, inclusive) de idade Holocena.

Qualidade do Minério

Veras et al. (2021) descreve a ocorrência da areia branca na área de estudo como depósitos arenosos com alto teor de SiO_2 (>95%), apresentando espessuras de 0,1 a 3 metros e grãos bem selecionados e subangulosos, classificada segundo padrão da ABNT como areia fina a média, e de excelente qualidade para a indústria da construção civil. Tais descrições são compatíveis com as obtidas neste trabalho. Além de revelarem grãos pobremente selecionados, aproximadamente simétricos, subangulosos e subarredondados, com esfericidade alta e brilho predominante não metálico

vítreo, raramente apresentando brilho metálico quando da presença raras de ilmenita e/ou rutilo.

Os resultados das análises químicas das amostras de ABM deste trabalho mostram teores médios de SiO_2 da ordem de 98,61%. Os grupos de areias denominados ACcM e ACeM (depósitos DCE, tidos como candidatos secundários a minério devido as suas características físico-químicas) mostraram teores médios de SiO_2 de 97,01% e 93,78%, respectivamente, confirmando serem candidatos a minérios (Tabela 3). Nota-se uma correlação positiva entre o aumento de SiO_2 em direção às cores mais claras (ABM > ACcM > ACeM), o que se mostra um excelente parâmetro de classificação do minério, enquanto os teores médios dos principais elementos deletérios (Al_2O_3 , TiO_2 e Fe_2O_3) diminuem na mesma direção, em uma correlação negativa, o que favorece e explicita a qualidade das áreas ABM sobre as suas congêneres ACcM e ACeM como minério (Figura 12).

Gênese do Minério

O mapeamento da área de estudo revelou a presença de extensos corpos arenosos e areno-argilosos sobre o topo e nas encostas dos tabuleiros costeiros, reconhecidos em campo como Fm. Barreiras, bem como, nos vales e redes de drenagens dos rios presentes. A espessura encontrada da camada do minério ABM varia entre 0,2 até 6 metros, com uma espessura média de 1,35 metros (Tabela 4).

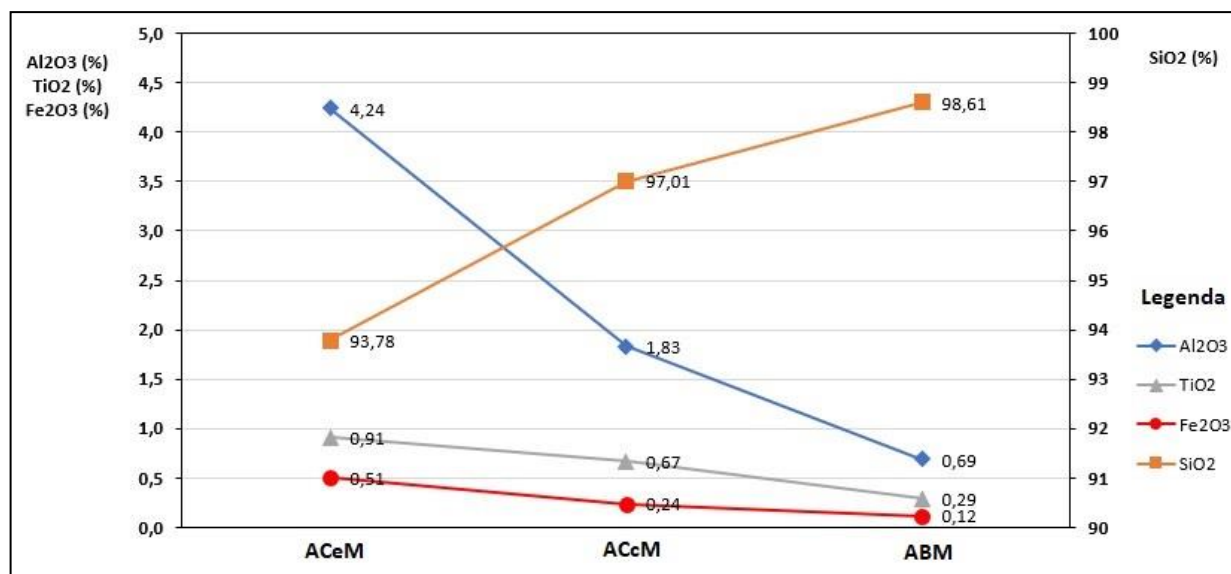


Figura 12 – Diagrama mostrando a variação dos teores de SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ e Fe₂O₃ das areias ABM, ACcM e ACeM da área de estudo.

A gênese da formação dos depósitos de ABM está associada à combinação de processos de intemperismo químico e lixiviação decorrentes da circulação de água meteórica e soluções ácidas secundárias que atuam através de reações de hidratação, dissolução, hidrólise e oxidação de substâncias minerais presentes na Formação Barreiras. A lixiviação atua lavando as frações mais finas do material areno-argiloso alterado (saprolito) da Fm. Barreiras de forma vertical no topo dos tabuleiros (eluvial) e de maneira mais intensa nos sedimentos arenosos localizados nas encostas e regiões mais baixas (coluvial), favorecendo uma lixiviação com fluxo que acompanha a inclinação do relevo local (Fig. 13a).

O resultado da evolução da lixiviação no saprolito da rocha fonte promove a acumulação residual e erosão gravitacional de sedimentos arenosos predominantemente quartzosos, e subordinadamente minerais pesados opacos, gerando depósitos de minério de areia branca média quartzosa de coloração branca, pobremente selecionada com grãos subangulosos a subarredondados com esfericidade alta (ABM). Os depósitos de areia cinza clara (ACcM) e areia cinza escura (ACeM) são interpretados como corpos arenosos que foram expostos a processos intempéricos e de lixiviação menos intensos em relação aos sedimentos da ABM (Fig. 13b).

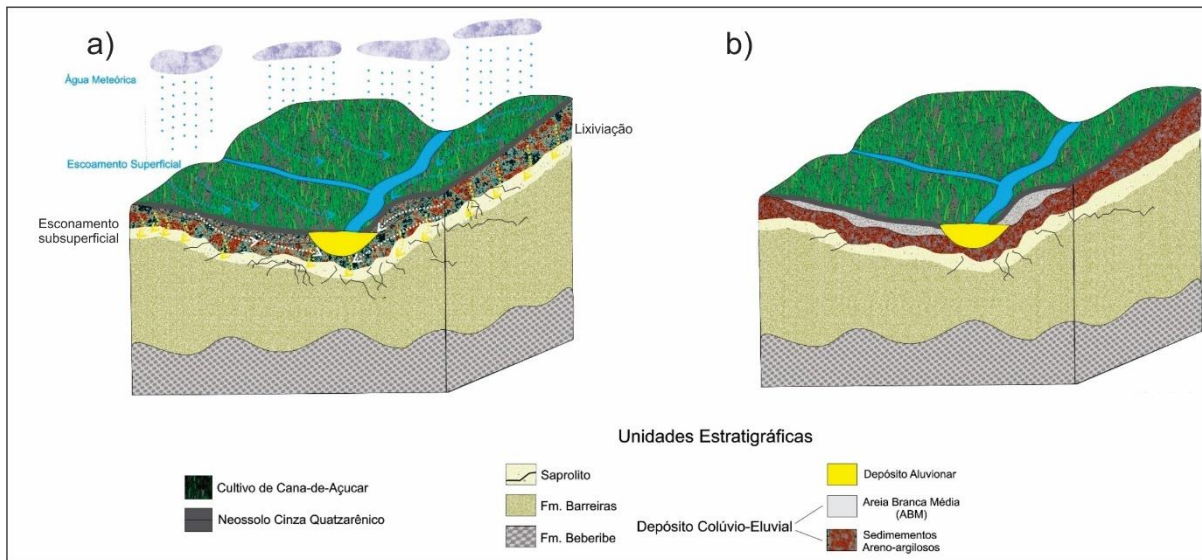


Figura 13 – Modelo esquemático 3D do Depósito Colúvio-Eluvial (DCE) do minério de Areia Branca Média (ABM). a) As setas indicam o sentido do fluxo do escoamento superficial, subsuperficial e da solução de lixiviação no transporte e alteração mineral. b) O minério se encontra na forma de “sheet sands” capeando os sedimentos areno-argiloso do DCE e da Fm. Barreiras.

CONCLUSÕES

O minério de areia branca (ABM) é um produto da combinação de processos intempéricos químicos e lixiviação decorrentes da circulação de água meteórica, no qual está inserido geologicamente e estratigraficamente no conjunto dos depósitos colúvio-eluviais (DCE), que recobre a Formação Barreiras na área de estudo, e sua distribuição espacial está presente no topo e nas encostas dos tabuleiros costeiros da região. Os depósitos de ABM se apresentam acompanhando a declividade dos tabuleiros costeiros com espessuras médias de 1,35 metros. A areias classificadas como ACcM e ACeM se apresentam também como potenciais candidatas para exploração mineral,

entretanto, devidos as composições químicas presentes, se faz necessário um beneficiamento do material para atender as demandas industriais atuais. A ABM se apresenta como um importante insumo mineral na construção civil pelas características presentes na sua composição mineralógica, granulometria e grau de arredondamento dos grãos. Os parâmetros como localização espacial de escoamento da produção, posição estratigráfica, espessura do capeamento, volume de minério e a característica inconsolidada do minério e estéril, atribui uma classificação de depósito de excelente potencial econômico mineral. As características do depósito de ABM permite uma operação de lavra de baixo custo, tornado os processos de desmonte e carregamento mecanizados a partir do uso de uma

retroescavadeira, e o transporte com uso de caminhões caçambas. A reserva cubada, da ordem de 12,1 M ton, é altamente encorajadora do ponto de vista econômico. A recomposição da área lavrada também apresenta um valor de investimento baixo no plano de recuperação de área degradada (PRAD) devido aos níveis rasos da profundidade das cavas, abundância de matéria orgânica para a revegetação e pelo uso econômico da área no cultivo de cana-de-açúcar. Trabalhos futuros de prospecção na área, com malhas amostrais mais regulares representativas, aliadas à sondagens com alcance no embasamento cristalino da bacia, poderão contribuir no detalhamento e descobrimento de novas ocorrências do minério.

REFERÊNCIAS

- ABZALOV, M. 2016. Applied Mining Geology, Modern Approaches in Solid Earth Sciences. Springer. 448p
- ASSUNÇÃO, P.R.S., NESI, J.R., BEZERRA, M.S., SOUZA JUNIOR, L.C. (org.). 2012. Projeto insumos de recursos minerais para a construção civil na região metropolitana do Recife, estado de Pernambuco. Recife: CPRM, 144 p., il. color. (Informe de recursos minerais. Série rochas e minerais industriais, 9).
- BARBOSA, J.A., SOUZA, E.M., LIMA FILHO, M.F., NEUMANN, V.H.L.M. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. Estudos Geológicos. Recife, 13: 89-108.
- BARBOSA, J.A., 2004. Evolução da Bacia Paraíba durante o Maastrichtiano- Paleoceno, formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 219p.
- BARBOSA, J.A. 2007. Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. Tese Doutorado, Pós-Grad.Geociências-UFPE, 270p.
- BARBOSA, J.A., LIMA FILHO, M.F. 2006. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. Boletim de Geociências da Petrobras, (14)1: p. 287-306.
- FERREIRA, G.C., DAITX, E.C. 2000. Características e especificações da areia industrial. Geociências, UNESP, São Paulo, vol.19, n.2, p.235-242.
- FOLK, R.L., WARD, W.C. 1957. A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-26.
- HOLANDA FILHO, W.A.S. 2021. Caracterização do potencial econômico dos depósitos de areias brancas localizados na zona rural dos municípios de Goiana e Itaquitinga, Estado de Pernambuco. Trabalho de conclusão de curso, graduação em geologia, DGEO/UFPE. 90p.
- KRUMBEIN, W.C., SLOSS, L.L. 1963. Stratigraphy and sedimentation.

- LIMA FILHO, M.F., BARBOSA, J.A., NEUMANN, V.H., SOUZA, E.M. 2005. Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5 45-47.
- LUZ, A.B., LINS, F.A.F. 2005. Areia industrial. In: Rochas e minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. Parte II. Cap.5. p.107-126.
- MABESOONE, J.M. & ALHEIROS, M.M., 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 18: 476- 482.
- MABESOONE, J.M., SILVA, A.C., BEURLIN, K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Geociências, 2(3), 173-187.
- NEUMANN, V.H.M.L., GUERRA, N.C. 2014. Folha Cabedelo, SB.25-Y-A-VI. Recife: CPRM; UFPE. Programa Geologia do Brasil.
- QUARESMA, L.F. 2009. Produto 22 – Agregados para a Construção Civil, Relatório Técnico 31-Perfil de areia para construção civil, MME/SGM, 33p.
- SANTOS, E.J., FERNANDES, P.R., PEREIRA, C.S., BRITO, M.F.L., DOMINGOS, N.R.R., SILVA, E.P., OLIVEIRA, R.G., ARAÚJO, J.M.F., DANTAS, C.E.O., SILVA, R.C. 2020. Carta Geológica Preliminar Projeto Rio Capibaribe 1:250.000. In: Programa Geologia do Brasil Projeto Rio Capibaribe. Estados de Pernambuco e Paraíba. Recife, Pernambuco.
- SHEPARD, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology, v. 24, p. 151-158.
- SUGUIO, K. 2003. Introdução a sedimentologia. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. EDUSP. 317 p.
- TANNER, W.F. 1995. Environmental clastic granulometry. Florida Geological Survey, Special Publication No 40. 142 p.
- VALENÇA, L., SOUZA, N.G.A. 2017. Geologia e recursos minerais da Folha Itamaracá, SB. 25-Y-C-VI Estados de Pernambuco e da Paraíba: texto explicativo. Programa Geologia do Brasil. 1ed.Recife: CPRM, p. 1-50.
- VERAS, J.D.D., NEUMANN, V.H.M.L., OLIVEIRA, S.R. 2021. Potencial econômico do município de Goiana-PE: exemplo de depósitos arenosos para construção civil. Revista de Geociências do Nordeste, v.7, n1, p.21-29. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID20759>.
- WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and glass terms for clastic sediments. J. Geol., 30:377-392.