

Caracterização mineralógica, física e química de aterro composto por caroço de açaí em uma área residencial de Barcarena/PA

Mineralogical, physical and chemical characterization of a soil composed of açaí lump and used as a landfill in a residential area of Barcarena/PA

Oscar Jesus Choque Fernandez

Professor do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Pará - Campus Belém. Doutor em Petrologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. **Endereço:** Trav. Barão do Triunfo, 271; CEP: 66120-220, Belém/Pará. **E-mail:** oscar.fernandez@ifpa.edu.br.

Jessyca Lima Ribeiro,

Mestrando do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Pará - Campus Belém.

Laércio Gouvêa Gomes,

Professor do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Pará - Campus Belém. Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas.

RESUMO

Foram realizados estudos de caracterização em solo utilizado como aterro, com caroço de açaí, vislumbrando, a inserção do resíduo do fruto de açaí no nivelamento de solo. Amostras de perfis de aterro do solo foram analisadas mineralógica, física e quimicamente. O solo possui quartzo, caulinita, anatásio, goethita e hematita, como os principais minerais nos perfis, com distintas variações em profundidade, isso fica demonstrado pela presença predominante de SiO_2 e Al_2O_3 seguida de baixos teores de Fe_2O_3 e TiO_2 e quantidades significativas de material volátil. O perfil do solo superficial está constituído por pedregulho e areia em maior proporção que silte e argila, tornando-os permeáveis sem restringir a percolação de efluentes do material orgânico, ou seja, dos resíduos de açaí em camadas mais profundas. O solo muito arenoso apresentou menor limite de liquidez devido a menores percentagens da fração argila no solo. A granulometria do solo influi significativamente sobre os limites de consistência do solo da área intervinda. O material tem característica plásticas podendo ser viável como material para construção e pode ser usufruído pela comunidade em terrenos residenciais.

Palavras-chave: Caroço. Solo. Barcarena.

ABSTRACT

Characterization studies were carried out in soil used as a landfill, with açaí lump, viewing the insertion of the residue of the açaí fruit in the soil leveling. Samples of soil profiles landfill were analyzed mineralogically, physically and chemically. Quartz, kaolinite, anatase, goethite and hematite, as the main minerals in the profiles, with different variations in depth, this is demonstrated by the predominant presence of SiO_2 and Al_2O_3 followed by low levels of Fe_2O_3 and TiO_2 and significant amounts of volatile material. The profile of the topsoil consists of gravel and sand in a greater proportion than silt and clay, making them permeable without restricting the percolation of effluents from organic material, that is, from açaí residues in deeper layers. The very sandy soil presented a lower liquidity limit due to lower percentages of the clay fraction in the soil. The granulometry of the soil significantly influences the limits of soil consistency of the intervened area. The material has plastic characteristics and can be used as construction material and can be used by the community on residential land.

Keywords: Lump. Soil. Barcarena.

INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada das cidades cria diversos tipos de configurações geográficas concentradas em um mesmo território e, conseqüentemente, proporciona diversas formas de um indivíduo se auto-organizar sobre determinado ponto. Diante da recente reorganização do planejamento urbano e das políticas de ordenamento territorial, novas práticas surgem envolvendo a utilização dos elementos naturais presentes no ambiente urbano (ACSELRAD, 2001; MAGALHÃES, 2015). Desta forma, também há de se observar que, essa desordem promove o desenvolvimento de moradias em zonas periféricas ou de difícil acesso, como em locais com ladeiras íngremes, margens de rios e igarapés, onde ocorrem terrenos aterrados com resíduos sólidos (SILVA et al. 2014).

Estudos que abordem especificamente sobre a utilização do aterro cuja composição possui caroço de açaí ainda são escasos, haja vista que a utilização de aterro é uma prática pouco observada nos grandes centros urbanos; outro ponto é que existem poucas pesquisas sobre caracterização nos solos de várzea (FAJARDO *et al.* 2009). Além disso, por ser algo vivenciado principalmente em zonas periféricas, a pesquisa abrange a ordenação urbanística existente, pois, os solos das regiões periféricas possuem, em geral, características que o tornam deficiente do ponto de vista geotécnico e, conseqüentemente,

frágeis quanto à implementação de estruturas (SANCHES, 2012). Não há portanto uma gestão dos resíduos sólidos do açaí, bem como seu beneficiamento econômico, tendo em vista o destaque que o fruto possui no estado do Pará quanto aos aspectos social, econômico e cultural.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas técnicas e métodos existentes as quais foram embasadas em conhecimentos teóricos equivalentes, como o uso de técnicas de caracterização e análise de materiais, o cumprimento de normas estabelecidas pelos órgãos competentes. Diante disso, o estudo preocupou-se em usar metodologias que fomentassem a análise, haja vista que é um ponto crucial na obtenção de resultados de fato relevantes.

O questionamento trazido por este estudo, além de abordar o contexto vivenciado pelo estado do Pará quanto à produção de açaí, visa responder “Como o solo com caroço de açaí utilizado como aterro, em uma área residencial de Barcarena/ PA, uma vez caracterizado, pode auxiliar no entendimento de construções futuras?”

Tendo em vista a acentuação do cenário socioambiental tocante a destinação adequada de resíduos sólidos, busca-se evidenciar a caracterização de um solo caroços de açaí usados para aterro em terrenos residenciais na região de Barcarena; analisar as características físicas, químicas e mineralógicas e estudar as amostras conforme perfil geotécnico.

CARACTERÍSTICAS DOS ATERROS EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Na maioria das obras de pequeno porte, não são detalhados os procedimentos técnicos que devem ser observados na execução dos aterros ou até não existem procedimentos deste tipo. No entanto, as pequenas edificações industriais ou residenciais também devem receber uma atenção técnica mais adequada quando se trata de obras de terra tendo em vista que as consequências de uma obra mal executada podem proporcionar prejuízos. Quando não há a utilização de mão de obra qualificada, o empreiteiro não promove os devidos cuidados resultando em sucessivos erros durante a execução da obra, que, via de regra, acarreta a ruptura parcial ou total dos terrenos inclinados. Além disso, conforme a norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT 108/2009-ES, da qual depreende especificações acerca de aterros, os materiais utilizados devem ser oriundos de escavações consoantes à execução de corte e da utilização dos empréstimos, ademais devem estar embasados em estudos geotécnicos segundo Projeto de Engenharia.

Diversos problemas ocorrem quando o aterro é inadequado (MARCELLI, 2007), já que uma camada de solo mole contém materiais orgânicos e, principalmente, raízes vegetais, os quais devem ser cuidadosamente estudados, uma vez que surgem elevadas deformações

quando não são tomados cuidados necessários. Caso esse material não seja removido, ele irá adensar com o tempo de forma irregular provocando uma movimentação do aterro e comprometendo tudo o que estiver sobre ele. No caso de haver edificações com fundações que não previram essa situação, ocorrerá inevitavelmente um recalque diferencial com o surgimento de trincas generalizadas nas paredes e, dependendo da magnitude dessas acomodações, pode ocorrer um sinistro de graves proporções.

Em pequenas obras, é comum a utilização de aterros com o solo inadequado sem análise das suas características físico-químicas e com a presença de materiais diversos. Um solo para ser utilizado como aterro precisa reunir determinadas condições de granulometria e umidade e, nesse sentido, são necessários alguns ensaios específicos de laboratório. No caso das pequenas obras, esse procedimento é economicamente inviável e desnecessário, visto que há o risco de utilizar argilas moles que não compactam e se comportam como um "colchão de água", formando "aterros borrachudos" ou solos arenosos que devem ser compactados com equipamentos adequados e de alto valor o que dificulta ainda mais a sua utilização em pequenas obras. Deve ser conhecida ainda a origem de coleta do material para aterro e que esse material não seja da camada da superfície do solo vegetal.

O solo é composto por partículas que podem ser agrupadas

conforme as dimensões dos grãos. Cada faixa de dimensões apresenta características próprias que indicam seu comportamento como material de construção. As partículas contidas em determinada faixa são caracterizadas como: Pedregulho: elemento inerte e resistente; Areia: elemento inerte sem coesão, que varia de areia grossa, média e fina. Silte: sem coesão, diminui a resistência da areia; Argila: possui forte coesão, sem estabilidade volumétrica, expande na presença de água, apresenta propriedades físicas e químicas bastante variadas segundo sua origem.

Algumas características são necessárias para entender o solo, isto é: limites de liquidez e de plasticidade; consistência também é determinante na resistência do solo à penetração e à compactação; mineralogia e percentual dos principais óxidos presentes no solo que correspondem à composição

química, fornecem informações acerca da estrutura desse solo a nível microscópico, possibilitando a definição do comportamento do solo em escala macroscópica, tal como a compressibilidade, a expansão e plasticidade dos solos coesivos. Outros índices podem ser estabelecidos ou, ainda, ter correlação direta com os supracitados, quais sejam: limite de contração, friabilidade máxima e mínima, índice de friabilidade, coeficiente de extensão linear e índice de atividade da argila. O limite de liquidez pode ser um indicador da permeabilidade do solo (SOUZA *et al.*, 2000).

ÁREA DE INTERVENÇÃO

A localização de área de estudo corresponde a um terreno residencial localizado no Bairro Novo no município de Barcarena/PA (Figura 1).



Figura 1. Área de estudo em Barcarena (coleta das amostras como mostra a seta em destaque).
Fonte: Google Maps (2021).

O município de Barcarena está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Murucupi. A geologia da área de intervenção está inserida nos sedimentos Plio-Miocênicos da Formação Barreiras. Essa Formação é constituída por um encadeamento de sedimentos formados por agregações faciológicas que apresentam as seguintes particularidades: (a) sedimentos conglomeráticos, comumente espessos, que se caracterizam pela disposição inclinada quanto à estratificação; (b) sedimentos de composição arenosa, apresentando areia e argila de forma entremeada e estruturações; (c) material sedimentar argiloso preponderante, composto por lâminas planas e equivalentes (ROSSETTI *et al.*, 1989).

Os solos onde estão localizados os terrenos residenciais são, predominantemente, do tipo Latossolo Amarelo Distrófico desenvolvidos a partir dos sedimentos do Grupo Barreiras, intensamente lateritizados de área de várzea e com abundante deposição de material orgânico principalmente na forma de resíduos de açaí e outros. A área de estudo está perto do furo do Arrozal com afluente do Rio Itaporanga. Esses rios deságuam na Baía de Marajó.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Foram coletados materiais de aterro em uma residência de Barcarena (Figura 1). Para coleta, foi utilizada a

cavadeira boca de lobo (ABNT NBR 9604/2016; DNER-PRO 002/94) e para identificação, elas foram qualificadas de acordo com a ordem em que eram coletadas em A1, A2, A3 e A4 (Tabela 1), e subdivididas segundo a cor de camada no perfil, as mesmas possuem dimensões de 30cm de comprimento e 10cm de diâmetro.

Tabela 1. Amostras do perfil.

AMOSTRA	CAMADA DA AMOSTRA
A 1	A1 – 1 (5 cm a partir do topo) TOPO
	A1 – 2 (6 a 7cm do centro) CENTRO
	A1 – 3 (de 8 a 30 cm na base) BASE
A 2	A2 – 1 (15 cm do topo) TOPO
	A2 – 2 (15 cm da base) BASE
A 3	A3
A 4	A4 – 1 (5 cm do topo) TOPO
	A4 – 2 (6 a 10 cm do centro) CENTRO
	A4 – 3 (15cm da base) BASE

A amostra A3, diferente das demais, foi a única a apresentar homogeneidade, ou seja, sem camadas distintas em cor e, por esse motivo, somente nela não ocorreu a necessidade de subdivisões.

As amostras do solo foram acondicionadas em bandejas de plástico no laboratório para secagem prévia. A secagem das amostras seguiu a referência da norma NBR 6484/2001, que trata da identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento de solos.

MÉTODOS

Ensaio Físicos, Mineralógicos e Químicos

Amostras de materiais de aterro

foram analisadas por meios físicos e químicos. As análises físicas incluíram análises textural, mineralógica, granulométrica e limites de Atterberg. As análises químicas permitiram determinar a composição química nos perfis dos solos da área.

- A avaliação macroscópica do solo foi feita segundo o perfil do solo da amostra seca por meio da observação visual de coloração e camadas distintas sem ocasionar o desmanche. A seguir foi feito o destorroamento seguindo a norma DNER – ME 041/94.

- Foram realizadas análises mineralógicas por difração de raios-X (DRX) em cada camada do perfil de solo estudado. O registro dos difratogramas foi feito usando o difratômetro BRUKER D2 PHASER, método do pó, do Lamiga-UFPA, com tubo de cobre ($\lambda=1,5406\text{\AA}$) e ângulo $2\theta:5-75^\circ$. Para a identificação de fases foi usada o software HighScore Plus da Panalytical e a base de dados PDF (*Powder Diffraction File*).

- As análises químicas foram realizadas em pastilhas prensadas usando o espectrômetro de FRX S2 RANGER da Bruker, tubo de Rhodio. Alíquotas das amostras de solo foram submetidas a ensaios de perda ao fogo, usando 1g de amostra seca e pulverizada e colocada em cadinhos de cerâmica e forno tipo mufla, até 1000°C por uma hora. Por diferença de massa, foram determinados os voláteis do composto.

- Os ensaios granulométricos do solo, foram utilizadas seguindo as normas DNER – ME 080/94 e DNER – ME 051/94 e ABNT NBR 6502/1995, ABNT NBR 7181/1968.

- Os ensaios de limites de Atterberg foram realizados segundo as normas: NBR 6459/2016, determinação do limite de liquidez; NBR 7180/2016, determinação do limite de plasticidade; NBR 6457/2016, preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA

Na área de estudo, onde foram realizadas perfurações para coleta de amostras, o solo encontra-se coberto com esparsa vegetação e misturado com material orgânico (Figura 2). A cobertura vegetal está indicada como vegetação secundária devido à predominância que possui no local o qual constantemente é alterado pela sociedade a fim de promover suas atividades econômicas resultando em modificações no solo.



Figura 2. Área de coleta.

A partir de uma análise visual e tátil, observa-se um solo muito espesso (Figura 3), de textura arenosa a argilosa, a coloração varia de marrom avermelhado, marrom escura ou cinza

escuro a branca provavelmente ocasionada pela presença de um material mosqueado e outro argiloso intemperizado, o mesmo se encontra capeado por uma vegetação rasa. Podem ser observados estruturas sedimentares, com sedimentos formando intercalações de camadas de areia com silte e argila. Tipicamente podem ser observados arenitos ferruginosos compactos, conglomerados com quartzos arredondados a subangulares, por vezes são observados seixos cristalinos angulosos e subangulosos, todos misturados com material orgânico de resíduos de açaí, serragens, entulhos e/ou simplesmente lixo, parcialmente decompostos ao longo do perfil do solo. As amostras com essa textura arenosa podem estar associadas a silicatos de alumínio oxidados além da presença de húmus e discreto mosqueamento ao redor de tubos de matéria orgânica.



Figura 3. Perfil das amostras.

Na área da residência, que corresponde a várzea os sedimentos lateritizados da Formação Barreiras são recobertos por argilas e areias recentes, que correspondem aos domínios das várzeas periodicamente inundados pelos rios, igarapés e furos. Essa característica de solo pode ser interpretada como estrutura sedimentar

indicativa de sedimentação flúvio-lacustre.

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

As amostras investigadas nas diferentes camadas dos perfis de solo selecionados, estão compostas essencialmente por quartzo-SiO₂ e caulinita-Al₂Si₂O₅(OH)₄, com anatásio-TiO₂, goethita-FeOOH e hematita-Fe₂O₃ em concentrações acessórias. Neste trabalho são mostrados apenas espectros difratométricos da amostra A1 (Figura 4), entretanto na Tabela 2, são mostradas as fases de todas as amostras estudadas.

Os espectros de DRX das amostras em geral mostram quartzo predominante ao longo do perfil, porém caulinita, com picos bem diferenciados ocorrem em maior proporção no topo do perfil. Goethita e anatásio ocorrem em menores proporções, sendo por vezes mascarados pelas fases dominantes, quartzo e caulinita.

Nos diferentes perfis de solo ocorrem poucas variações mineralógicas, como mostrado na Tabela 2. As variações em cor, de marrons avermelhadas a marrom escuras, bem como as texturas mosqueadas, concreções e crostas, pouco influenciam na composição mineralógica. Comparando com os solos do entorno da área intervida também estão constituídos por quartzo e caulinita, com goethita, hematita e anatásio, equivalente aos solos da região do entorno. Essa composição mineralógica demonstra que as

camadas desses perfis estudados correspondem aos sedimentos arenosos da Formação Barreiras.

Tabela 2. Composição mineralógica nos perfis estudados.

AMOSTRA	CAMADA DA AMOSTRA	FASES
A 1	A1 – 1 TOPO	Caulinita, quartzo, goethita, anatásio
	A1 – 2 CENTRO	
	A1 – 3 BASE	
A 2	A2 – 1 TOPO	Caulinita, quartzo, goethita, anatásio
	A2 – 2 BASE	
A 3	A3	Caulinita, quartzo, goethita, anatásio, hematita
A 4	A4 – 1 TOPO	Caulinita, quartzo, goethita, anatásio
	A4 – 2 CENTRO	
	A4 – 3 BASE	

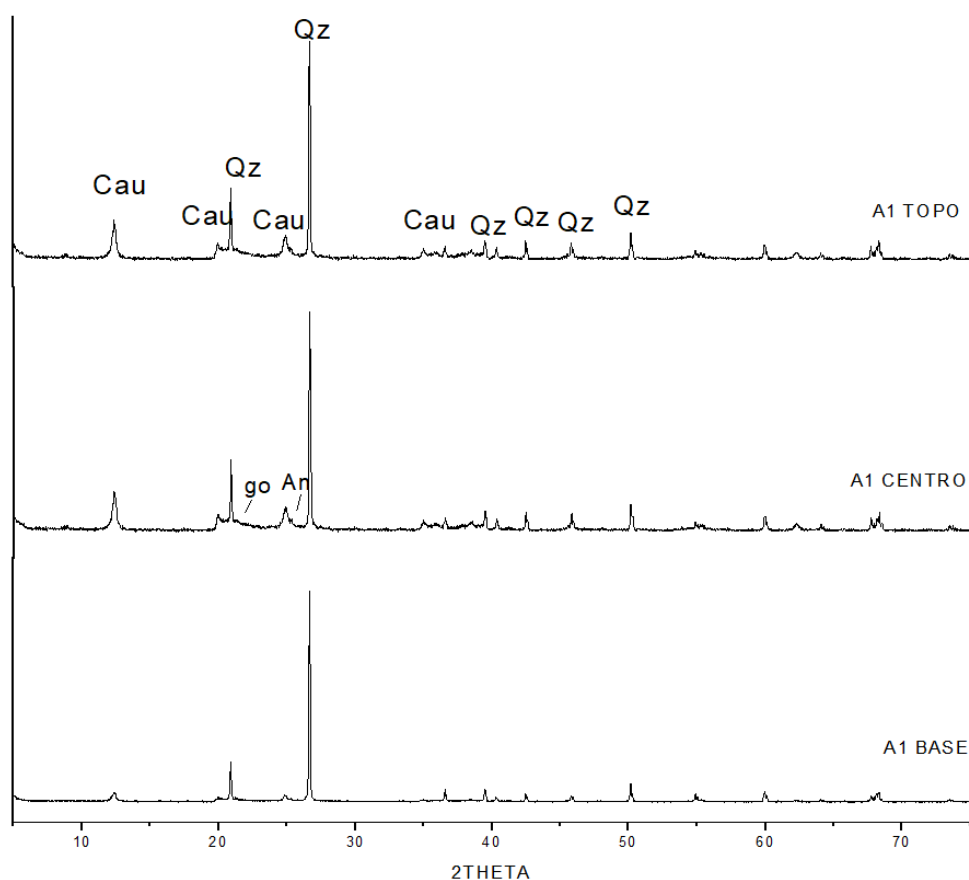


Figura 4. Difrátogramas de DRX do perfil da amostra A1, com a presença de caulinita (Cau), quartzo (Qz), goethita (Go) e anatásio (An).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química das amostras estudadas é mostrada na Tabela 3. Nesses resultados verifica-se teores de SiO₂ (47,83% (Amostra A1/Centro) a 59,52% (Amostra A1/Topo)), com teores ainda elevados de Al₂O₃ (19,66% (Amostra A1/Topo) a 27,91% (Amostra A1/Centro)) e relativamente

baixos de Fe₂O₃ (5,95 (Amostra A1/Topo) a 10,21% (Amostra A4/Topo)) e TiO₂ (1,73% (Amostra A1/Topo) a 3,15% (Amostra A3)). Os teores de K₂O, CaO, MgO e ZrO₂ são muito inferiores a 1,14% (0,11% a 1,14%) bem como SO₃ (0,20% a 0,46%). Ocasionalmente são observados teores de Nd₂O₃ e P₂O₅. O material volátil detectado pelo ensaio de Perda ao Fogo, variou entre 9% a 18%.

Tabela 3. Composição química das amostras de solo.

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	ZrO ₂ %	Nd ₂ O ₃ %	P ₂ O ₅ %	SO ₃ %	PF %	Total %
AMOSTRA A1													
Topo	59,52	19,66	5,95	1,73	0,69	0,8	0,56	0,11	—	0,15	0,3	10,53	100
Centro	47,83	27,91	8,41	2,77	1,12	0,25	0,79	0,16	—	—	0,26	10,49	100
Base	49,34	27,9	7,99	2,86	1,14	0,26	0,77	0,15	—	—	0,26	9,33	100
AMOSTRA A2													
Topo	52,57	23,31	7,07	2,44	0,76	0,54	0,68	0,14	—	0,38	0,46	11,66	100
Base	48,75	24,07	8	2,77	0,88	0,74	0,66	0,15	0,1	0,62	0,46	12,8	100
AMOSTRA A3													
	49,07	27,49	8,2	3,15	1,14	0,21	0,83	0,16	—	—	0,2	9,55	100
AMOSTRA A4													
Topo	49,99	23,65	10,21	2,41	0,63	0,86	0,7	0,18	—	0,29	0,31	10,77	100
Centro	48,42	26,18	9,42	2,64	0,96	0,42	0,68	0,15	0,1	0,18	0,22	10,63	100
Base	48,27	20,95	6,49	2,36	0,6	1,28	0,7	0,17	—	0,2	0,51	18,47	100

Os teores químicos das amostras do solo da residência intervida são comparáveis aos valores encontrados nos solos da região de Barcarena e da maioria dos depósitos da região amazônica (COSTA, 1991; HORBE e COSTA, 1999; BRAGA, 2010). Apenas os teores de Perda ao Fogo do solo em questão estão mais elevados que os solos do entorno.

Com base nesses dados, infere-se que as amostras coletadas apresentam valores no perfil, relativamente homogêneos dentro

dessa escala intervida. O solo local da área de disposição com matéria orgânica está constituído principalmente de SiO₂ e Al₂O₃ em maiores proporções, além de Fe₂O₃ e TiO₂ em menores proporções e desprovido de álcali e fósforo, isto é, quimicamente equivalente aos materiais dos perfis de outros estudos (VIEIRA e SANTOS, 1987; BRAGA, 2010) e que corresponde aos latossolos e argissolos regionais.

A diferença dos solos estudados é a ocorrência de material volátil sendo que os resultados mostraram valores

desde 9% a 18 %, bem maiores que os estudo de Braga (2010) em que evidenciava menor que 8% em solos de Barcarena.

A presença de componentes voláteis, no solo estudado está relacionada com os processos de humificação e intemperismo químico de minerais formadores de rochas (TOLEDO *et al.*, 2009), bem como a deposição de resíduos orgânicos ao longo do tempo. Essa matéria orgânica sugere que seja proveniente dos resíduos de açaí despejados no solo, bem como que esteja diretamente associada com a

inclusão de outros materiais voláteis (água, gás carbônico, serragens, por exemplo).

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

Os ensaios granulométricos mostram que os quatro perfis de solos apresentam ser mais arenosos do que siltico-argilosos (Figura 5). As curvas granulométricas têm poucas variações, entretanto são distintas ao longo do perfil. Observa-se que, em geral, o perfil dos solos está constituído por material pedregulho-arenoso, e em menor proporção frações siltico-argilas.

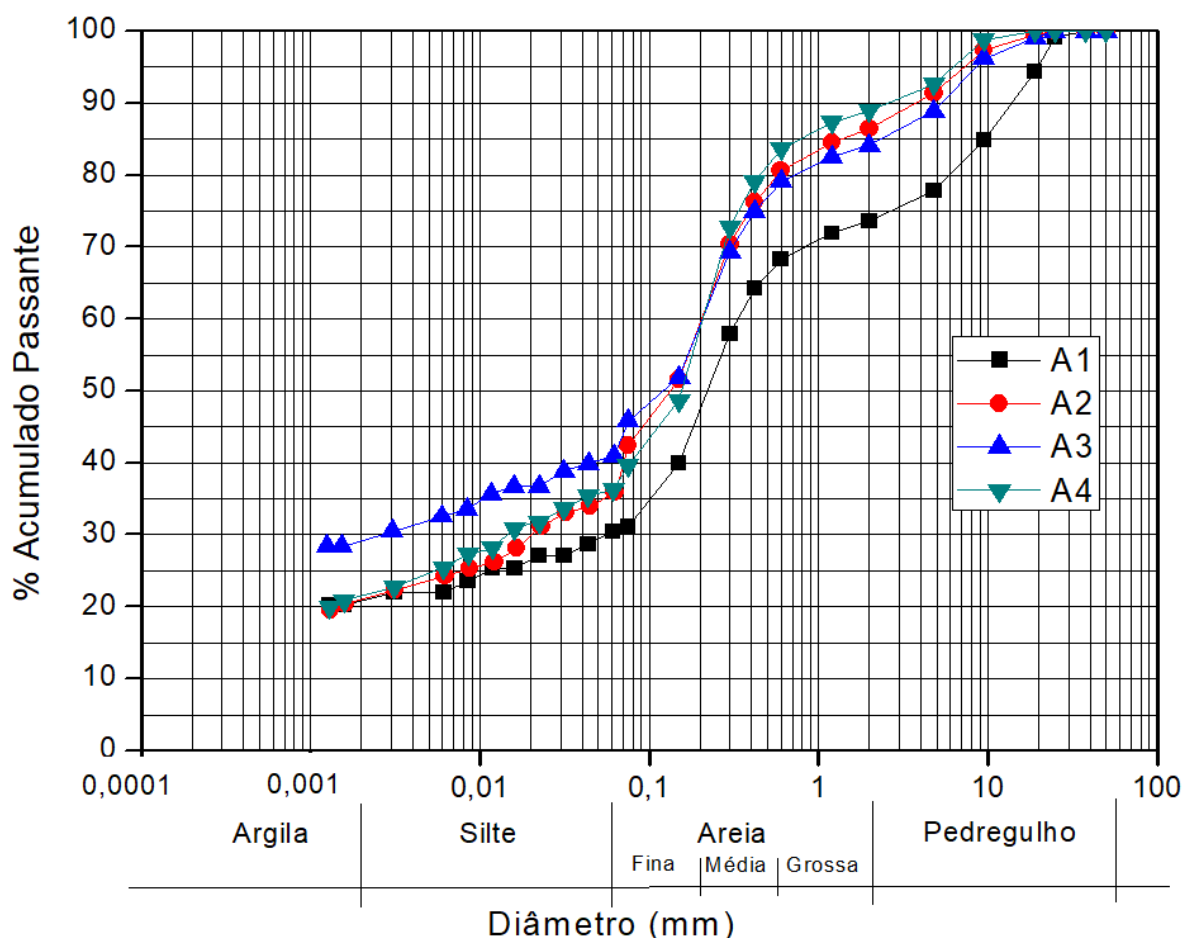


Figura 5. Curvas granulométricas das amostras A1, A2, A3 e A4.

Pedregulhos presentes no solo são encontrados nas margens dos rios, em depressões preenchidas por materiais transportados pelos rios ou até mesmo em uma massa de solo residual. A presença de pedregulho com média de 17% (Tabela 4) na área residencial perto de igarapé e rio deve ser registrada como qualificativo da classe textural.

As partículas das areias correspondem cerca de 50%, sendo 45% a areia média e fina (Tabela 4). Mostram ser arredondados a subangulares característicos das areias transportadas por rios ou pelo vento. As camadas desses solos superficiais

constituídas de solos arenosos são permeáveis, não restringindo a percolação dos efluentes do material orgânico em direção às camadas mais profundas do solo.

A fração silte em torno de 13% do solo, é menor quando comparada com as outras frações (Tabela 4). Por possuírem granulação fina, apresentam pouca ou nenhuma plasticidade e baixa resistência quando seco.

A fração argila com média de 24% (Tabela 4), pode caracterizar o solo com plasticidade marcante, isto é, possui a capacidade de se deformar sem apresentar variações volumétricas e elevada resistência quando seca.

Tabela 4. Características texturais e limites de Atterberg das amostras.

Amostra	Pedregulho %	Areia Grossa %	Areia Média %	Areia Fina %	Silte %	Argila %	LL	LP	IP
A1	27	7	21	17	8	22	32	26	6
A2	14	6	22	22	15	21	-	40	-
A3	16	5	21	18	12	29	-	26	-
A4	11	5	26	22	15	22	-	60	-

LIMITES DE ATTERBEG

Os resultados para o Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade das amostras analisadas são apresentados na Tabela 4. Das quatro amostras consideradas neste estudo, apenas na amostra A1, foram atingidos os dados dos limites de Atterberg, requeridos pelas normas. O limite de liquidez da amostra A1 corresponde a uma média de 32%, o limite de plasticidade apresentou resultado com média de 38%. O índice de plasticidade obteve percentual de 6% encontrando-se entre $1 < IP < 7$ e

corresponde a um solo Pouco Plástico (CAPUTO, 2012).

O valor médio de LP, verificado para a área intervida, varia significativamente entre 26% a 60% com média de 38%, assim o solo se encontra no estado plástico, reduzindo sua resistência mecânica à compactação. Em valores de $LP < 29\%$ abaixo dessa umidade, o solo se encontra no estado friável, logo, de uma maneira bem simples, é recomendável que as práticas mecanizadas na área intervida, sejam realizadas quando o solo estiver com umidade inferior a 29%, com vistas a evitar o processo de compactação do

solo e seus efeitos danosos. Nesse perfil apenas as amostras A1 e A3 podem ser consideradas para essa prática.

Os limites de Atterberg claramente estão influenciados pela textura do solo, ou seja, a fração de argila com menores proporções afeta os valores de LL e LP. Quanto maior for a porcentagem da fração argila no solo, maior influência terá sobre o do limite de liquidez e vice-versa (SOUZA *et al.*, 2000; RIBEIRO e SOUZA (2018).

A fração de areia não é plástica, portanto, quanto mais arenoso for o solo, menor sua plasticidade (LP) e mais facilmente atingirá o estado líquido, ou seja, menor será o valor de LL, isso pode ter ocorrido devido ao predomínio de argilominerais com menor superfície específica, que diminuem a capacidade da fração argila de interagir com a água e reduzem o efeito lubrificante desta, não ocorrendo o deslizamento das partículas finas uma sobre as outras, o que reduz o IP do solo.

É provável que a presença de matéria orgânica como o açaí presente nos solos influencia fortemente os valores de LP em comparação aos valores de LL dos solos, promovendo ao aumento dos valores de IP (SILVA e MIRANDA, 2016).

O SOLO RESIDENCIAL PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Pela análise efetuada e segundo a norma NBR- 6502/1995, o solo pode ser tipificado como areia argilosa-siltica com pedregulho. O fato desse solo ter predominantemente textura arenosa

evidencia a instabilidade do material sedimentar da várzea, determinada por valores elevados da fração areia. Dentre as areias, as classificadas como média e fina predominam. Quanto maior o valor de areia mais elevada à suscetibilidade dos solos em serem erodidos (GUERRA, 1996). O solo residencial contém o argilo-mineral caulinita o que torna o mesmo pouco plástico, portanto, será pouco expansivo e com pequena capacidade de troca catiônica (CHAVES e GUERRA, 2006).

A caulinita bilaminar do solo estudado, apresenta menor capacidade de adsorver íons e água, quando comparado com as esmectita trilaminares que apresentam capacidade de absorver maior volume de íons e água, consequentemente, a caulinita é muito menos expansiva do que a esmectita afetando a plasticidade do solo. Entretanto, não foram identificadas esmectitas e ilitas nos solos, embora seja muito ocorrente em solos de várzea, embora ocorram menores teores de K e Ca ao longo do perfil das amostras de solo.

O solo residencial abordado neste trabalho, composto de pedregulhos e areias em maior proporção (partículas grossas), individualmente soltas, no estado seco não se aderem uma à outra (somente se apóiam entre si) e são altamente permeáveis. Isso se deve ao fato de existirem, entre as partículas, espaços vazios relativamente grandes e intercomunicados entre si. Dessa forma, é um solo não coesivo, em estado seco, porém o solo está composto também por partículas muito finas que,

individualmente, favorecem à adesão entre elas e produzindo coesão.

Os espaços vazios entre as partículas são muito pequenos devido a sua estrutura esses solos apresentam resistência à penetração de água, absorvendo-a muito lentamente. Entretanto, uma vez que tenha conseguido penetrar no solo, a água também encontra dificuldade para ser extraída do interior do mesmo. Esses tamanhos conferem ao solo residencial uma mistura de partículas com predominância dos tamanhos de maior granulometria e menor dos grãos finos com outros de maior granulometria. O solo residencial então terá comportamento diretamente relacionado à percentagem de partículas finas existentes, em relação às partículas grossas.

Essas partículas tendem a agrupar-se dificultando uma redistribuição natural entre elas, individualmente. Os tamanhos de grão mistos ao receberem água podem provocar um solo plástico, podendo apresentar maior grau de estabilidade quando secos. Entretanto os dados obtidos de frações elevadas de areia e argila não são compatíveis aos outros estudos (LIMA *et al.*, 2005) onde os solos de várzea normalmente apresentam teores elevados de silte e de areia fina.

A correlação entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade do solo estudado, contribui na avaliação do solo residencial para uso em construção civil (MBAGWU e ABEH, 1998; SOUZA *et al.*, 2000). Esses

limites de Atterberg do solo estudado estão afetados pelos conteúdos de areia e argila principalmente, na medida em que menor o conteúdo de argila do solo, diminuem os valores do índice de plasticidade; dessa forma, quanto menor é a relação da superfície total das partículas de argila em relação ao seu volume, menor número de moléculas de água é capaz de absorver e, por conseguinte, serão mais baixos os valores dos limites de Atterberg.

Em solos de textura com predominância de frações mais grosseiras, como é o caso das amostras analisadas, deve ocorrer maior aeração e maior aquecimento o que pode favorecer a decomposição da matéria orgânica, o que justifica os valores observados.

Verifica-se que as maiores concentrações de matéria orgânica estão na camada superficial. Trindade *et al.* (2009) relatam que, geralmente são encontrados maiores teores de matéria orgânica nas camadas mais superficiais dos solos devido ao equilíbrio existente entre a deposição de restos de vegetação e outros materiais orgânicos e ação microbiana na decomposição destes.

CONCLUSÃO

O solo estudado apresentou a predominância do mineral quartzo e caulinita associados a anatásio, goethita e hematita em concentrações acessórias. Possuem elevados teores de SiO_2 e Al_2O_3 presentes em estruturas das fases não argilosas e argilo-

minerais semelhante aos dos solos lateríticos da região de Barcarena, somada à presença de abundante matéria orgânica, como parte do caroço de açaí.

O solo, em relação à viabilidade técnica e ambiental para emprego em construção civil, é rico em SiO_2 e Al_2O_3 e pobre em Fe_2O_3 e TiO_2 .

Localizado em áreas de várzea, o solo analisado é abundante em quartzo e caulinita, sendo a argila um mineral não expansivo, o que não permite a retenção de água em todos os perfis analisados. As texturas do tipo franco argilosa siltosa, expressas por valores elevados, estabelecem riscos e índices de vulnerabilidade à erosão pela ação da água.

A presença de pedregulho e areia, com 65%, na área residencial intervida, mostra um importante registro qualificativo da classe textural, como solo com pedregulho ou areia argilosa. Pode-se inferir que esse solo possui uma alta capacidade em absorver a água e os íons sem que haja expansão do solo.

O solo muito arenoso apresentou menor limite de liquidez devido a menores percentagens da fração argila no solo.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, n. 1, mai./1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984. Atualizada em 2016.

_____. **NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984. Atualizada em 2016.

_____. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986. Atualizada em 2016.

_____. **NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**, 1968.

_____. **NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostras deformadas e indeformadas**, 2016.

BRAGA, R. M. Q. L. **A utilização de uma camada de solo compactado como revestimento impermeabilizante de fundo de bacias de disposição de lama vermelha produzida em Barcarena-PA**. 2010. 172f. Tese (Doutorado na área de Geoquímica

e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 1, 244p.

CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. **Solos Agrícolas**. Campina Grande: EDUEFCG, 2006. 178p.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p.146-160, jun./1991

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. PRO 002: Coletas de amostras indeformadas de solos. 1994.

_____. DNER - ME 080/94: Solos – Análise granulométrica por peneiramento. 1994.

_____. DNER – ME 041/94: Solos preparação de amostras para ensaios de caracterização. 1994.

_____. DNER – ME 051/94: Solos – Análise granulométrica. 1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT 108 – ES: Terraplanagem – Aterros – Especificação de serviços.

Rio de Janeiro, 2009.

FAJARDO, J. D. V.; SOUZA, L. A. G; ALFAIA, S. S. *Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas*. Revista Acta Amazônica. v. 39, n. 4, p.731-740, 2009.

GOOGLE MAPS. Disponível em < <https://www.google.com/imghp?hl=pt-pt>>. Acesso em 19 de Abril de 2021.

GUERRA, A. J. T; BOTELHO R. G. M. *Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos*. Anuário do Instituto de Geociências – v.19, 1996

HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. *Relações Genéticas Entre Latossolos E Crostas Lateríticas Aluminosas E Alumino-Ferruginosas Na Região De Paragominas, Pará*. Revista Brasileira de Geociências. v. 29, n.4, p.497-504, dez./1999.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C. *Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação*. Acta Amaz., v.35, p.317-330, 2005.

MAGALHÃES, R. C. *Análise da relação entre espaço urbano e saneamento básico em Belém-PA sob a perspectiva*

da sociedade civil. Revista Engrenagem, n.9, p. 76 - 90, 2015.

MARCELLI, M. *Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras*. São Paulo: Pini, 2007.

MBAGWU, J. S. C.; ABEH, O. G. *Prediction of engineering properties of tropical soils using intrinsic pedological parameters*. Soil Science, Baltimore, v.163, n.2, p.93-102, 1998.

RIBEIRO, K. D.; SOUZA, L. K. *Limites de atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos*. Brazilian Journal of Biosystems Engineering v.12, n.2, p.185-196, 2018

ROSSETTI, D. E; TRUCKENBRODT, W.; GOÉS, A. M. *Estudo Paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e pós-barreiras na Região Bragantina, nordeste do Estado do Pará*. Belém: Emílio Goeldi, 1989.

SANCHES, S. I. D. P. *Reforço de solos moles de fundação de aterro em Deep Soil Mixing: Modelação de caso de estudo*. 2012. 212f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

SILVA, A.S.; LIMA, A. C. M; ALBUQUERQUE, M. V. V.; BELLO, L.

A. L. Avaliação da sustentabilidade do manejo e destino final dos resíduos urbanos do distrito de Murucupi – Barcarena/PA. Revista Engrenagem, n.8, p. 78 - 92, 2015, 2014.

SILVA, M. J. R.; MIRANDA, J. B. *A matéria orgânica e sua influência nas frações granulométricas do solo e nos limites de Atterberg*. In: I Congresso Internacional de Ciências Agrárias. 2016. Disponível em <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2016/12/INFILU%C3%80NCIA-DAMAT%C3%89RIA-ORG%C3%82NICA-NOS-LIMITES-DE-ATTERBERG.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2020.

SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L; VIEIRA, L. B. R. *Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.460-464, 2000.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B. de; MELFI, A. J. *Da rocha ao Solo – Intemperismo e pedogênese*. In: TEIXEIRA, W. et al. (org.). *Decifrando a Terra*. 2ª ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. Cap. 8. 620p.

TRINDADE, R. S.; ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G. *Leaf area of common bean genotypes during early pod filling as related to plant adaptation to limited phosphorus supply*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 115-124, 2010.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P. C. T. C.
Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416p.