CRITÉRIOS DE ENGENHARIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS DE ESCAVAÇÃO EM VALAS

Engineering criteria for classification of trench excavation materials

Silvrano Adonias Dantas Neto*
Francisco Chagas da Silva Filho**
Adriano Frutuoso da Silva***

RESUMO – No Brasil, em obras de abastecimento de água e esgoto, a classificação dos materiais das escavações realizadas se dá em função da dificuldade que estes oferecem ao desmonte, como materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, não havendo critérios de engenharia bem definidos para tal classificação. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta para classificação de materiais de escavação com base em critérios de engenharia definidos a partir de resultados de sondagens de simples reconhecimento (sondagens a trado, SPT e rotativa). Para aplicação de tal proposta, foi considerado um estudo de caso, que consistiu na classificação de materiais no Município de Coreaú, Estado do Ceará, na qual havia um conflito referente à quantificação dos materiais obtidos na escavação. Os resultados mostraram que os critérios propostos permitiram a classificação satisfatória dos materiais em função de ensaios geotécnicos correntes.

SYNOPSIS – In Brazil, excavation materials in water supply and sanitation works are classified, according to the difficulty offered by their removal, as 1st, 2nd and 3rd category materials, with no well-defined engineering criteria for such classification. This paper aims to present a proposal for excavation material classification based on engineering criteria defined from the results of simple identification surveys (Auger, SPT and rotary surveys). For the purposes of this proposal, a case study was considered that consisted of material classification in the city of Coreaú, State of Ceará, in which there was a conflict about the classification of the materials obtained from excavation. The results have shown that the proposed criteria provide a satisfactory classification of materials in function of current geotechnical tests.

PALAVRAS CHAVE – Classificação, escavações, solos, rochas.

1 – INTRODUÇÃO

Um dos aspectos mais importantes ligados aos estudos de terrenos para fins de engenharia civil é o da classificação dos seus materiais (solos e rochas), especificamente, no que se refere à definição dos parâmetros e condições que melhor representam e caracterizam uma formação do

* Professor Associado, Eng. Civil, D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: silvrano@ufc.br

** Professor Adjunto, Eng. Civil, D.Sc, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: fchagas@ufc.br

*** Professor Adjunto, Eng. Civil, D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: adrianofrutuoso@bol.com.br

ponto de vista geológico-geotécnico. O tipo de classificação dos materiais varia em função das características e finalidades da obra, e quaisquer que sejam os sistemas de classificação empregados para solos e rochas, estes devem ter caráter universal, estar de acordo com as características da obra, e ser baseados em prospecções geotécnicas de campo, ou laboratório.

De uma forma geral, já existem critérios de classificação universalmente aceites e divulgados, tanto no âmbito da Mecânica dos Solos – Sistema Universal de Classificação dos Solos, Sistema HRB, etc. –, como da Mecânica das Rochas – Sistema RMR, Sistema Q, etc. – conforme pode-se constatar em trabalhos como Das (2005), Brady e Brown (1993), dentre outros. Neste âmbito, merece citação o trabalho de Vaz (1996), que propôs uma classificação genética para solos e horizontes de rocha (sã a alterada) para regiões de clima tropical. Os sistemas de classificação consistem no agrupamento de materiais com características semelhantes em certas classes, ou grupos, de forma a atender às exigências técnicas com vista à execução de uma determinada obra.

Os sistemas de classificação tradicionais, citados anteriormente, apresentam pouca utilidade quando da definição, ou estimativa da capacidade de desmonte dos materiais em valas de escavação, que é o principal foco dos trabalhos desenvolvidos e apresentados neste trabalho.

Em obras que envolvem escavação de materiais, com cortes em solos e rochas, uma das formas de se classificar os materiais se dá em função da maior ou menor dificuldade que estes oferecem ao desmonte, e do tipo de equipamento utilizado. Assim sendo, mesmo não havendo critérios de engenharia bem definidos baseados em resultados de investigações geotécnicas, os materiais geotécnicos (solos e rochas) são divididos normalmente em três categorias distintas: material de 1ª categoria, material de 2ª categoria, e material de 3ª categoria.

Desta forma, este artigo tem por objetivo propor critérios de engenharia baseados em resultados de sondagens de simples reconhecimento (sondagens a trado, percussão e rotativa) que permitam de forma objetiva a classificação dos materiais em escavações para implantação, principalmente, de obras de abastecimento de água (redes urbanas e adutoras) e de esgotamento sanitário. Espera-se que a utilização de tais critérios venha a contribuir de forma significativa para a definição de orçamentos de obra que representem cada vez mais as condições geológico-geotécnicas vigentes, e diminuam, assim, os conflitos tão comuns neste tipo de obra.

2 – MATERIAIS GEOTÉCNICOS (SOLOS E ROCHAS) EM OBRAS DE ESCAVAÇÃO DE VALAS E AS SONDAGENS DE SIMPLES RECONHECIMENTO

Neste trabalho, a definição dos materiais (solos e rochas) em 1ª, 2ª e 3ª categorias foi feita com base nas especificações de serviço da Companhia de Água e Esgotos do Estado do Ceará (CAGECE, 2004), especificamente na Especificação – Movimento de Terra – Grupo 4 – Revisão 3 – Página 2 – por se tratar da especificação que rege e regulamenta os serviços de escavação em solos e rochas em muitas obras de implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento no Estado do Ceará, local onde foi desenvolvido este trabalho. De acordo com a referida especificação, os materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias são assim definidos:

a) Material de 1ª categoria:

- Solo arenoso: agregação natural, constituído de material solto, sem coesão, pedregulhos, areias, siltes, argilas, turfas ou quaisquer de suas combinações, com ou sem componentes orgânicos, e escavado com ferramentas manuais, pás, enxadas, enxadões;
- Solo argiloso: material argiloso de consistência mole, constituído de terra pantanosa, mistura de argila e água ou matéria orgânica em decomposição, removido com pás, baldes, ou “drag-line”;

b) Material de 2ª categoria:

- Solo compacto: material coeso, constituído de argila rija, com ou sem ocorrência de matéria orgânica, pedregulhos, grãos minerais, escavado com picaretas, alavancas e cortadeiras;
- Solo de moledo ou cascalho: material que apresenta alguma resistência ao desagregamento, constituído de arenitos compactos, rocha em adiantado estado de decomposição, seixo rolado ou irregular, matacões, pedras-bola até 25cm, escavado com picaretas, alavancas, cunhas;

c) Material de 3ª categoria:

- Rocha branda: material com agregação natural de grãos minerais, ligados mediante forças coesivas permanentes, apresentando grande resistência à escavação manual, constituído de rocha alterada, pedras-bola com diâmetro acima de 25cm, matacões, folhelhos com ocorrência contínua, e escavado com rompedores, picaretas, alavancas, cunhas, ponteiras, fogachos e, eventualmente o uso de explosivos;
- Rocha sã desmontada a fogo: materiais encontrados na natureza que só podem ser extraídos com emprego de perfuração e explosivos, enquadrando-se as rochas duras, cujo volume de cada bloco seja superior a 0,5m³ e que seja proveniente de rochas graníticas, gnaisse, sienito, grês ou calcário duros e rocha de natureza igual ou superior à do granito.

De acordo com as definições apresentadas pode-se observar que há uma clara distinção entre as características dos materiais de 1ª e 2ª categorias, mas não entre os materiais de 2ª e 3ª categorias.

De acordo com os critérios estabelecidos na especificação da CAGECE (2004), os materiais de 1ª categoria são formados por solos cujo desmonte pode ser realizado a partir da utilização de ferramentas manuais simples, como pás, enxadas, enxadões, baldes, etc. Estes materiais são constituídos, quando granulares, por materiais soltos (baixa compacidade), e quando argilosos, por materiais de baixa consistência, que apresentam grande facilidade à escavação.

No caso dos materiais de 2ª categoria, são enquadrados os solos granulares compactos, os solos argilosos de grande consistência, além das rochas em adiantado estado de decomposição, mas que oferecem apenas alguma resistência ao desagregamento. São, portanto, materiais cujo desmonte em alguns casos ainda pode ser feito com a utilização de ferramentas manuais, como por exemplo, picaretas, alavancas, cunhas, etc., mas que apresentam elevada resistência à escavação, principalmente quando comparado à facilidade de escavação dos materiais de 1ª categoria (solos granulares soltos ou solos argilosos moles).

Pelas definições apresentadas, os materiais de 3ª categoria (rocha branda e rocha sã) são aqueles que oferecem grande dificuldade ao desmonte, sendo necessários equipamentos mais potentes e eficientes. Para as rochas brandas menciona-se ainda a utilização de ferramentas como picaretas, alavancas, talhadeiras, e até mesmo fogachos e explosivos, mas no caso das rochas sãs, o critério é bastante claro, quando se estabelece que para o seu desmonte deve-se ter a utilização de explosivos.

A investigação no campo para classificação do material em uma das três categorias descritas anteriormente não é tarefa fácil, já que não existe um sistema de classificação normalizado, nem parâmetros definidos, que permitam a classificação clara e precisa dos materiais, sendo, portanto, uma classificação bastante subjetiva, e muitas vezes só comprovada durante a execução da obra, na qual se pode constatar a real dificuldade de desmonte dos materiais. Entretanto, considerando as definições apresentadas anteriormente, e os resultados obtidos em sondagens de simples reconhecimento, pode-se relacionar a dificuldade de desmonte, ou escavação, e assim a

classificação dos materiais em 1ª, 2ª e 3ª categorias, com a dificuldade de avanço e o grau de compacidade observado para os materiais nas sondagens a trado e à percussão, e também com o nível de recuperação obtido nas sondagens rotativas, no caso dos maciços rochosos.

As sondagens a trado são perfurações feitas no terreno, normalmente utilizando-se trados manuais do tipo concha, helicoidal, cavadeira, etc. Em terrenos mais compactos, pode-se utilizar de trados acionados mecanicamente. Os trados manuais são geralmente utilizados até profundidades da ordem de 6,0 metros, e conseguem avançar em situações de terrenos com baixa compacidade e acima do nível de água, podendo ser utilizados para a realização de sondagens em materiais de 1ª categoria (trado do tipo concha e trado do tipo cavadeira) e 2ª categoria (trados helicoidais no caso de argilas de grande consistência). Em materiais granulares compactos (pedregulhos, areias, siltes, ou combinações entre eles), solos argilosos rijos a duros, que caracterizam os materiais de 2ª categoria, não é possível o avanço de uma perfuração com trados manuais, especialmente os trados manuais do tipo concha e do tipo cavadeira. Em materiais de 3ª categoria, como alterações de rocha, rochas brandas e rochas sãs, não se consegue o avanço com o trado manual, devido à incapacidade de desagregação do material pelo equipamento.

As sondagens à percussão são habitualmente utilizadas em solos e em rochas brandas. No Brasil, nas sondagens à percussão utiliza-se o equipamento do ensaio SPT (*Standard Penetration Test*, normalizado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) como a NBR 6484 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio (ABNT, 2001).

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), o procedimento de ensaio consiste na cravação do amostrador–padrão no fundo de uma escavação realizada (revestida ou não), por meio de quedas sucessivas do martelo de 65kg, caindo de uma altura de 75cm. O valor do N_{SPT}, índice de resistência à penetração, é o número de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar 30cm, após uma cravação inicial de 15cm. A cravação do amostrador é interrompida e o ensaio de penetração suspenso quando se obtiver penetração inferior a 5cm após 10 golpes consecutivos, ou quando o número de golpes ultrapassar 50 num mesmo ensaio, caracterizando-se assim a impenetrabilidade no ensaio SPT.

Além da definição da estratigrafia do solo, as sondagens à percussão do tipo SPT são úteis porque fornecem um valor numérico (N_{SPT}) que é um indicativo do grau de compacidade (solos granulares) ou consistência (solos finos) dos solos. A NBR 6484 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – apresenta a relação entre compacidade, ou consistência, dos solos em função do valor obtido para o N_{SPT}, que representa um índice de resistência à penetração do amostrador no solo (ABNT, 2001). Conforme mostrado no Quadro 1 pode-se observar que quanto mais compacto, ou consistente, for o solo, maior será o valor do N_{SPT}.

As sondagens à percussão podem ser também utilizadas na perfuração de rochas duras, e tanto nestes materiais, como até mesmo em rochas brandas, pode-se observar que o seu avanço é muito lento, sendo muito difícil a perfuração pelo esforço de percussão aplicado. Isto mostra que este tipo de sondagem pode ser utilizado com facilidade para prospecção de materiais de 1ª categoria, e com grande dificuldade nos materiais de 2ª e 3ª categoria (rochas brandas).

Nos casos em que não se consegue o avanço na perfuração de uma rocha à percussão, ou que se deseja obter amostras contínuas deste material, para verificação do seu grau de alteração ou fraturamento, pode-se utilizar as sondagens rotativas. Segundo DNER (1997), nas sondagens rotativas com recuperação contínua de amostra, a ferramenta de perfuração é uma coroa, constituída, na maioria das vezes, por metais duros (tungstênio), ou diamante, ligada a um sistema de hastes metálicas acionadas por uma sonda rotativa mecanizada. As sondagens rotativas podem ser utilizadas com sucesso para a classificação dos materiais de 3ª categoria, definidos como rochas brandas pouco alteradas, ou rochas sãs, uma vez que nestes materiais obter-se-á um elevado grau de recuperação do material no barrilete.

Quadro 1 – Classificação dos solos quanto à compacidade ou consistência (ABNT, 2001).

Solo	Índice de resistência à penetração	Designação
Areia e silte arenoso	< 4 5-8 9-18 19-40 >40	Fofa Pouco compacta Medianamente compacta Compacta Muito compacta
Argila e silte argiloso	< 2 3-5 6-10 11-19 >19	Muito mole Mole Média Rija Dura

3 – CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE 1ª, 2ª E 3ª CATEGORIA

De acordo com as definições apresentadas anteriormente, observa-se que os materiais definidos como 1ª categoria são formados basicamente por solos granulares (pedregulhos, areias, siltes ou quaisquer combinações) soltos, ou por solos argilosos com baixa consistência, ou seja, são materiais que apresentam grande facilidade de escavação. Nestes materiais, a escavação é feita facilmente com ferramentas manuais como pás, enxadas, baldes, etc..

Considerando a capacidade de avanço das sondagens a trado e as características de compacidade e consistência obtidas nas sondagens à percussão do tipo SPT, pode-se considerar que os materiais de 1ª categoria são solos cujo avanço nas sondagens a trado ocorre com facilidade, e que apresentam valor de N_{SPT} inferiores a 19 golpes/30cm, para solos granulares (areias e silte arenosos), e inferiores a 11 golpes/30cm, para argilas e siltes argilosos.

Os materiais definidos como 2ª categoria são formados por solos granulares (pedregulhos, areias, siltes, ou quaisquer combinações) com grande compacidade, e por argilas rijas, que apresentam grande dificuldade ao desmonte manual. Fazem parte também desta classe de materiais as rochas em estado elevado de alteração. A escavação destes materiais é realizada apenas com a utilização de ferramentas como picaretas, alavancas, cunhas, etc..

Assim sendo, pode-se considerar que as sondagens a trado, utilizando o trado concha, ou o trado cavadeira, não apresentam capacidade de avanço nos materiais classificados como 2ª categoria em virtude da sua elevada compacidade ou consistência. Por se tratar de materiais com grande compacidade/consistência são formados por areias, ou siltes arenosos, compactos a muito compactos (N_{SPT} > 19 golpes/30cm), ou argilas, ou siltes argilosos, rijas a muito duras (N_{SPT} > 11 golpes/30cm).

Os solos pedregulhosos com grande compacidade e as rochas com elevado grau de alteração podem também ser considerados como materiais de 2ª categoria, desde que seja possível a sua escavação, ou desmonte, com ferramentas como picaretas, alavancas, cunhas, etc.. No caso das rochas, a classificação se dará em função dos resultados obtidos nas sondagens à percussão e nas sondagens rotativas. Nos casos em que não for possível a penetração do amostrador–padrão do ensaio SPT, e que pelo avanço nas sondagens rotativas não forem obtidos testemunhos, o material será classificado como material de 2ª categoria, pois tratar-se-á de um pedregulho com elevada compacidade, ou uma rocha em elevado estado de alteração, cujo desmonte não pode ser feito com ferramentas manuais como pás, enxadas, mas sim por meio de ferramentas como picaretas, alavancas, ou via escavação mecanizada, sem ainda se tratar de rochas com alguma coesão (materiais de 3ª categoria).

Para a classificação dos materiais de 3ª categoria são considerados os resultados obtidos nas sondagens rotativas. Caso ocorra a impenetrabilidade do amostrador-padrão no ensaio SPT e haja qualquer recuperação do material rochoso, na sondagem rotativa que se seguirá, o material é classificado como de 3ª categoria.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos critérios de classificação propostos para os materiais de 1ª, 2ª e 3ª categoria existentes nas escavações de vala. Convém salientar, que qualquer que seja o tipo de solo, se o avanço na sondagem pode ocorrer por meio do trado manual, o mesmo será classificado como material de 1ª categoria.

Quadro 2 – Resumo dos critérios de classificação propostos.

Material	N_{SPT} (golpes/30cm)	Recuperação (%)	Classificação
Areias e siltes arenosos	< 19	–	1ª categoria
	> 19	–	2ª categoria
Argilas e siltes argilosos	< 11	–	1ª categoria
	> 11	–	2ª categoria
Pedregulhos	< 19	–	1ª categoria
	> 19	–	2ª categoria
	Impenetrável	0,0	
Rocha alterada, alteração de rocha, ou rocha sã	Impenetrável	0,0	2ª categoria
	Impenetrável	> 0,0	3ª categoria

4 – ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO MUNICÍPIO DE COREAÚ

4.1 – Localização do município de Coreaú e geologia local

O município de Coreaú situa-se na porção noroeste do Estado do Ceará, limitando-se com os municípios de Sobral, Tianguá, Alcântaras, Frecheirinha, Mucambo, Meruoca e Moraújo, abrangendo uma área de 815km². Conforme dados do IPLANCE (1997) e da SRH (1992), as condições climáticas locais são definidas por temperaturas entre 19ºC e 29ºC, e uma precipitação pluviométrica média anual em torno de 1100 mm.

A paisagem regional tem formas suaves, fracamente dissecadas, da Depressão Sertaneja, com a presença a leste do maciço residual granítico da serra da Meruoca. As altitudes encontradas variam desde 200 até 700 metros. Solos litólicos têm a maior distribuição na área, ocorrendo secundariamente os podzólicos.

O município de Coreaú apresenta um quadro geológico relativamente complexo, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, representadas por quartzitos, xistos, gnaisses e granitos. Sobre esse substrato repousam rochas metassedimentares de idade neoproterozóica, representadas por quartzitos conglomeráticos e arenitos grosseiros da Formação Trapiá, ardósias da Formação Caiçaras, calcários da Formação Frecheirinha e arcóseos, grauvacas e grauvacas conglomeráticas da Formação Coreaú. Ocorrem, ainda, granitóides de idade eopaleozóica e coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município.

4.2 – Estudos geotécnicos

Os estudos geotécnicos realizados para atender aos critérios de classificação dos materiais descritos anteriormente consistiram da realização de sondagens a percussão e sondagens mistas (percussão + rotativa). As sondagens mistas foram realizadas nas situações em que o avanço dos furos da sondagem à percussão com o trado manual, ou com alavanca, não foi possível, ou quando se atingiu a condição de impenetrabilidade do amostrador-padrão. A partir da condição de impenetrabilidade, o avanço da perfuração foi feito com uma sonda rotativa utilizando-se barriletes simples com manobras de 50cm (comprimento do barrilete), até que fosse atingida a cota da vala de escavação no trecho investigado, ou até que fosse obtida alguma recuperação no material investigado.

A partir dos resultados das sondagens à percussão e mistas (percussão + rotativa), aliadas às observações *in situ* das características dos materiais, foi feita, para cada perfil individual de sondagem, a definição das espessuras de ocorrências dos materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, de acordo com os critérios definidos anteriormente. As sondagens foram localizadas nas imediações dos poços de visita, de forma que se pudesse definir a ocorrência e fazer a classificação dos materiais a montante e a jusante de cada trecho. A profundidade das sondagens foi dada em função da cota de projeto dos poços de visita levantados.

4.3 – Cálculo dos volumes de escavação nos trechos investigados

A Fig. 1 apresenta esquematicamente um trecho compreendido entre dois poços de visita nos quais foram realizadas as sondagens de simples reconhecimento (trado, percussão e rotativas) para a classificação dos materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias.

Para cada trecho investigado foram estimados o volume total de escavação, V_T, que corresponde ao volume de interesse, como item orçamentário, não importando, para o presente problema o volume escavado após o empolamento, e os volumes de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias conforme Equações 1 e 2.

$$V_T = \frac{\left[L_M (H_{1ª,M} + H_{2ª,M} + H_{3ª,M}) + L_J (H_{1ª,J} + H_{2ªcat,J} + H_{3ª,J})\right]}{2} .L \qquad (1)$$

L_M – largura da vala no poços de visita (PV) de montante, em metros;
L_J – largura da vala no PV de jusante, em metros;
$H_{1ª,M}$ – espessura de material de 1ª categoria na sondagem realizada no PV de montante, em metros;
$H_{2ª,M}$ – espessura de material de 2ª categoria na sondagem realizada no PV de montante, em metros;
$H_{3ª,M}$ – espessura de material de 3ª categoria na sondagem realizada no PV de montante, em metros;
$H_{1ª,J}$ – espessura de material de 1ª categoria na sondagem realizada no PV de jusante, em metros;
$H_{2ª,J}$ – espessura de material de 2ª categoria na sondagem realizada no PV de jusante, em metros;
$H_{3ª,J}$ – espessura de material de 3ª categoria na sondagem realizada no PV de jusante, em metros;
L – comprimento do trecho entre poços de visita, em metros.

$$V_n = \frac{\left(L_M \; H_{n,M} \; + \; L_J \; H_{n,J}\right)}{2} \; L \qquad (2)$$

n – n-ésima categoria do material classificada segunda metodologia apresentada (n = 1ª, 2ª ou 3ª categoria);
V_n – volume do material de nª categoria, em metros cúbicos;
$H_{n,M}$ – espessura de material de n-ésima categoria na sondagem realizada no PV de montante, em metros;
$H_{n,J}$ – espessura de material de n-ésima categoria na sondagem realizada no PV de jusante, em metros.

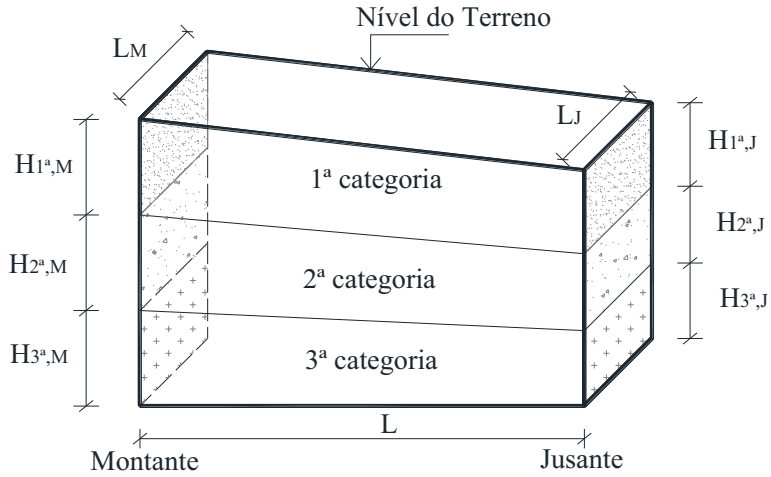

Fig. 1 – Representação dos materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias num trecho entre dois PV.

Após a estimativa dos volumes totais e dos volumes de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias em todos os trechos investigados, os percentuais de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias foram obtidos dividindo-se os volumes acumulados nos trechos estimados para cada categoria do material de escavação pelo volume total de escavação acumulado em todos os trechos.

5 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS APLICADOS AO ESTUDO DE CASO

Uma vez definidos os critérios técnicos baseados nos resultados obtidos em sondagens a trado, à percussão e mistas (percussão + rotativa) e nas definições apresentadas anteriormente sobre os materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, procedeu-se à realização das sondagens. Com base no conhecimento da planta do projeto de implantação do sistema de esgotamento sanitário do distrito de Ubaúna, as sondagens foram locadas em pontos adjacentes aos poços de visita (PV) existentes, e em alguns casos, em pontos para os quais os poços de visita ainda não foram executados. Desta forma foram definidos 83 locais para a realização das sondagens conforme metodologia descrita anteriormente.

As sondagens a trado, a percussão e rotativas foram realizadas de forma sequencial quando o perfil do furo de sondagem apresentava materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, não sendo dada nenhuma

pausa entre os procedimentos de sondagem. De uma forma geral, baseando-se nos resultados das sondagens, e na análise táctil-visual realizada em todas as amostras obtidas nos 83 furos de sondagem, foi observado que:

- o material superficial classificado como 1ª categoria era formado por algum destes três tipos de solo: areia fina e média, siltosa, com pedregulhos; silte arenoso, com pedregulhos e em alguns casos concreções; ou um silte argiloso, ou pouco argiloso, com pedregulhos e concreções em outros casos;
- o material classificado como 2ª categoria era formado basicamente por um pedregulho arenoso, com presença de silte, e concreções, compacto a muito compacto, na sua maior parte apresentando-se impenetrável ao amostrador-padrão, e com avanço utilizando-se alavancas com grande dificuldade;
- o material classificado como 3ª categoria era formado por um dos seguintes materiais: siltito muito alterado a são, muito fraturado a medianamente fraturado, apresentando em sua maior parte boa recuperação utilizando-se o barrilete simples; ou um arenito muito fino, medianamente alterado a pouco alterado, com recuperação de testemunhos utilizando-se o barrilete simples.

Os resultados das estimativas de volumes e percentuais mostraram que ocorre grande predominância de materiais de 2ª e 3ª categorias, estando inclusive compatíveis com as condições geológicas locais, também descritas anteriormente, e com as inspeções técnicas feitas nos locais de execução da obra de implantação do sistema de esgotamento sanitário do distrito de Ubaúna. O Quadro 3 apresenta o resumo dos volumes de escavação e percentuais de materiais obtidos de acordo com a metodologia proposta.

Quadro 3 – Volumes de escavação e percentuais de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias estimados para os trechos investigados.

Designação	Volume de material estimado (m^3)	Percentagem
Material de 1ª Categoria	472,0	9%
Material de 2ª Categoria	2245,7	42%
Material de 3ª Categoria	2568,7	49%
Total	**5286,4**	**100%**

6 – CONCLUSÕES

De acordo com os resultados e considerações apresentadas neste trabalho, pode-se concluir que apesar de nas obras de escavação em solos e rocha a classificação dos materiais para fins de orçamento se dar em função de definições abstratas sobre a dificuldade de desmonte dos materiais, é possível o estabelecimento de critérios de engenharia que permitam de forma objetiva e clara a classificação dos materiais, diminuindo assim as discrepâncias orçamentárias das obras.

Os critérios de engenharia apresentados anteriormente são baseados em resultados qualitativos e quantitativos de sondagens de simples reconhecimento (sondagens a trado, à percussão e rotativa), e podem ser empregados para fins de classificação de materiais de escavações em obras de abastecimento de água, esgotamento sanitário, e escavações de valas de uma forma geral.

A aplicação dos critérios de classificação para a quantificação dos materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias nas escavações para implantação do sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário do Distrito de Ubaúna, pertencente ao Município de Coreaú no Estado do Ceará, Brasil, se mostrou eficiente, de fácil aplicação, e foi capaz de resolver o conflito existente entre o órgão financiador da obra, e o governo municipal, quanto aos quantitativos destes materiais que deviam ser considerados no orçamento da obra, mostrando assim, a eficiência dos critérios.

Convém salientar que no Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte também trata das definições de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias em obras de escavação de maior porte quando da execução de estradas e rodovias federais. Os critérios estabelecidos pelo DNIT não foram abordados neste trabalho tendo-se em vista as características específicas e o porte das obras rodoviárias em comparação com aquelas para as quais os critérios de classificação aqui propostos podem ser aplicados.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (2001). NBR 6484 – *Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, Brasil, 17p.

Brady, B.H.G.; Brown, E.T. (1993). *Rock Mechanics for Underground Mining.* Ed. Chapman & Hall, 2nd Edition. London.

CAGECE (2004). *Manual de Encargos e Obras de Saneamento.* Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Ceará, Fortaleza, Brasil, 748p.

DAS, B.M. (2005). *Fundamentals of Geotechnical Engineering.* 2ª Edição. Ed. Thompson. Canadá, 566p.

DNER (1997). *DNER PRO-102/97 – Sondagem de Reconhecimento pelo Método Rotativo.* Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, Rio de Janeiro, Brasil.

IPLANCE (1997). *Atlas do Ceará.* Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, Fortaleza, Brasil, 65p.

Schnaid, F.; Odebrecht, E. (2012). *Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. 2ª Edição. Editora Oficina de Textos, São Paulo, Brasil. 224p.

SRH (1992). *Plano Estadual de Recursos Hídricos: Atlas.* Secretaria dos Recursos Hídricos, Fortaleza, Brasil, 4v, v.1.

Vaz, L.F. (1996). *Classificação Genética dos Solos e dos Horizontes de Rocha em Regiões Tropicais.* Solos e Rochas – Revista Brasileira de Geotecnia. Vol. 19, Nº 2, pp.117-136. São Paulo, Brasil.