



Correlações das classes pedológicas com características geotécnicas aplicadas ao uso e ocupação do solo

Correlations of pedological classes with geotechnical characteristics applied to use and occupation of the soil

Tiago Barbosa da Silva^a, Maria Isabela Marques da Cunha Bello^a, Silvio Romero de Melo Ferreira^b

^a Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Centro Acadêmico do Agreste. Rodovia BR-104, Km 59, s/n, Nova Caruaru, Caruaru, Pernambuco, Brasil. CEP: 55002-970. E-mail: tgbarbosa91@hotmail.com, isabelamcvbello@hotmail.com.

^b UFPE, Centro de Tecnologia e Ciências. Avenida Prof. Moraes Rego, n. 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 50670-901. E-mail: sr.mf@hotmail.com.

ARTICLE INFO

Recebido 03 Abr 2020
Aceito 04 Set 2020
Publicado 21 Set 2020

ABSTRACT

The information about pedological of the soils can indicate the occurrence of the water table, degree of saturation, soil activity, presence of expansive minerals, such as drainage characteristics, erodibility, and plasticity, the occurrence of porous, permeable and impermeable soils, in addition to providing information about deposit materials of interest to geotechnical projects. The study aims to indicate the use of soils for the construction of dams in the municipality of São Bento do Una, Pernambuco, Brazil, using a Geographic Information System (GIS), considering the characteristics of the soil based on Geotechnics with soil properties of the Pedological Classes. Maps showing areas of susceptibility to problematic soils concerning collapse, expansion, erosion, dispersion, being soft soil, and an indication of areas with loan materials (deposits) for the construction of dam's elements are presented. The mapping helps to locate areas with potential for deposits of materials for use in engineering applications and allows the identification of the susceptibility of problematic soils for use in Civil Engineering. These checks enable efficiency and savings of materials, as well as building security.

Keywords: Geotechnology, soil deposits, mapping.

RESUMO

A avaliação do comportamento hidromecânico dos solos é de suma importância para o uso e ocupação dos solos em suas múltiplas aplicações. Os levantamentos pedológicos permitem indicar a ocorrência do lençol d'água, o grau de saturação, a atividade do solo, a presença de minerais expansivos, as características de drenagem, erodibilidade e de plasticidade, a ocorrência de solos porosos, permeáveis e impermeáveis, além de trazer informações acerca dos solos de jazidas que sejam de interesse em projetos geotécnicos. O estudo objetiva indicar o uso de solos para construção de barragens no município de São Bento do Una, Pernambuco, Brasil, utilizando um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), considerando as características dos solos com base na Geotecnia com as propriedades dos solos das Classes Pedológicas. São apresentados mapas com indicação de áreas de susceptibilidades de solos problemáticos quanto ao colapso, a expansão, a erosão, a dispersão, de ser mole e indicação de áreas com materiais de empréstimo (jazidas) para construção dos elementos de barragens. Os mapeamentos auxiliam na localização de áreas com potencial de jazidas de materiais para o uso em aplicações na engenharia, e permite identificar a susceptibilidade dos solos Problemáticos para uso na Engenharia Civil. Estas verificações possibilitam eficiência e economia de materiais, assim como segurança da obra.

Palavras-Chave: Geotecnologia, jazidas de solos, mapeamento.

Introdução

A obtenção dos parâmetros dos solos em grandes áreas exige muitas vezes uma campanha de investigação bem ampla, que inclui a realização de sondagens, ensaios de campo e de laboratório, pois a quantidade de informações a ser obtida dependerá, por exemplo, da complexidade geológica da área e da confiabilidade que se deseja (Silva, 2003). Quando uma localidade não possui dados de engenharia disponíveis, pode-se consultar mapas pedológicos, muito úteis para avaliar de forma preliminar, o solo superficial e suas propriedades (Gusmão Filho, 2002).

Os levantamentos pedológicos permitem indicar, o grau de saturação, a atividade do solo, a presença de minerais expansivos, as características de drenagem, erodibilidade e de plasticidade, a presença do nível d'água, ocorrência de solos porosos, permeáveis e impermeáveis, além de trazer informações acerca dos materiais de jazidas que sejam de interesse em projetos geotécnicos, tais como estradas, projetos de desenvolvimento ambiental e barragens (Lima et al., 1996).

Antunes et al. (2013) comentam que os levantamentos pedológicos estudam a camada superficial dos solos, abrangendo, geralmente, profundidades médias de 1,50m, podendo, em determinados casos, ultrapassar 3,00m

Mapas pedológicos foram utilizados para indicar suscetibilidade de ocorrência de solos colapsíveis e expansivos por Ferreira (1990), Ferreira (1993), Vasconcelos (2001), Silva (2003), Amorim (2004), Ferreira et al. (2005). Aquino (2020) usa mapas pedológicos para indicar suscetibilidade de ocorrência de solos colapsíveis, expansivos, dispersivos, erodíveis e moles e indicação de solos para uso em obras de terra.

Cada unidade dos mapas pedológicos caracteriza um ambiente e possui associações intrínsecas com a geologia, geomorfologia, hidrologia e o clima da região. Na caracterização de uma unidade pedológica são considerados dados sobre propriedades morfológicas, mineralógicas, físicos, químicos e biológicos. Estas informações, quando interpretadas em conjunto, podem indicar limitações e potencialidades do meio físico para fins de aplicação na área geotécnica (Medina, 1961; Nogami, 1965; Antunes et al., 2013, Antunes & Salomão, 2018).

O relevo é um dos fatores que interfere na variabilidade do solo. Nas superfícies onduladas a suaves onduladas estão presentes os planossolos de profundidades médias, fortemente drenados e com pH variando de ácidos a moderadamente ácidos, e os podzólicos de profundidade alta e textura argilosa. Ambos possuem fertilidade natural média a alta. Nas elevações, predominam os solos litólicos de profundidade rasa e textura argilosa e

os regossolos de profundidade média e textura arenosa. Nos vales dos rios e riachos, ocorrem os planossolos de profundidades médias, mal drenados, textura média/argilosa, moderadamente ácidos, fertilidade natural alta e problema de sais. Solos pouco desenvolvidos, apresentam reduzida capacidade de retenção hídrica (Embrapa, 2006).

Este artigo apresenta correlações determinadas entre as características geotécnicas das associações de classes pedológicas de solos com suas susceptibilidades ao colapso, expansão, erosão, dispersão e solo mole, além das prováveis ocorrências de material de empréstimo (jazidas) para construção dos elementos de uma barragem localizada no município de São Bento do Una, Pernambuco, Brasil, utilizando um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para uma melhor visualização dessas relações.

Material e Métodos

As características pedológicas da área de inserção da barragem São Bento do Una foram pesquisadas para entendimento do comportamento dos solos da área. Foi selecionada uma carta com o levantamento das unidades de mapeamento pedológico correspondente a uma quadrícula do estado de Pernambuco, chamada de São Bento do Una (Embrapa, 2001). As unidades de mapeamento encontradas são constituídas pela associação de diferentes classes pedológicas de solos. Esta carta foi transformada para o seu uso na ferramenta de geoprocessamento Quantum GIS.

Implementou-se inicialmente um critério para a classificação da suscetibilidade de cada classe pedológica ao colapso, expansão, erosão, dispersão, solo mole e para as potencialidades de ocorrência de materiais de empréstimo, e posteriormente, um critério para indicar o grau de suscetibilidade para as unidades de mapeamento. A classificação e as características dos solos foram apresentadas em Embrapa (2006).

Os resultados da classificação das ocorrências de material de empréstimo na carta das unidades pedológicas de São Bento do Una, foram comparados com as características dos materiais coletados das jazidas consideradas no Projeto Técnico Preliminar para implantação da barragem (SEINFRA, 2006), a fim de verificar a eficiência, economia de materiais e segurança da obra.

Foi utilizada a classificação do potencial de ocorrências do solo quanto a expansão e colapso, para as classes pedológicas de solo, segundo Amorim (2004). Foi atribuído grau para potencial de dispersão, erosão do solo, assim como presença de solo mole (Tabela 1). O potencial de ocorrência de jazidas para barragens está na Tabela 1.

Tabela 2. Resumo das potencialidades do solo em apresentar colapso, expansão, erosão, dispersão e solo mole para as classes pedológicas de solo. Baixo/Alto = o valor alto ou baixo depende da atividade alta (Ta) ou baixa (Tb) dos solos. Fonte: Modificado de Amorim (2004).

Horizontes	Classe Pedológica	Símbolo	Potencialidade de ocorrência				
			Colapso	Expansão	Erodibilidade	Dispersividade	Solo mole
B Latossólico	Latossolo Amarelo	LA	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Latossolo Vermelho-Amarelo	LV	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Latossolo Vermelho-escuro	LE	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Terra Roxa Estruturada	TR	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
	Podzólico Vermelho-Escuro	PE	Médio	(Baixo/Alto)	Alto	Médio	Baixo
	Podzólico Vermelho-Amarelo	PV	Médio	(Baixo/Alto)	Alto	Médio	Baixo
B Textural	Podzólico Amarelo	PA	Médio	(Baixo/Alto)	Alto	Médio	Baixo
	Podzólico Acinzentado	PZ	Baixo	Alto	Médio	Médio	Baixo
	Brunizem Avermelhado	BV	Baixo	Alto	Alto	Alto	Baixo
	Bruno não cálcico	NC	Baixo	Alto	Alto	Baixo	Baixo
B Solonétzico	Planossolo	PL	Baixo	(Baixo/Alto)	Baixo	Baixo	Baixo
	Solonetz-Solodizado	SS	Médio	Médio	Médio	Alto	Baixo
B Podzol	Podzol	P	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Podzol Hidromórfico	HP	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
B Câmbico	Cambissolo	C	Baixo	(Baixo/Alto)	Baixo	Baixo	Baixo
Plíntico	Plintossolo	PT	Baixo	(Baixo/Alto)	Baixo	Baixo	Baixo
Glei	Gleissolo	G	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Solos sem horizonte B ou pouco desenvolvido	Areias quartzosas	AQ	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Baixo
	Areias quartzosas marinhas	AM	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Baixo
	Solos Aluviais	A	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Baixo
	Vertissolo	V	Baixo	Alto	Alto	Baixo	Baixo
	Solo Litólico	R	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Rocha Inalterada	Regossolo	RE	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Afloramento de rochas	-	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Tabela 3. Resumo das potencialidades de ocorrência de jazidas para barragens nas classes pedológicas de solo. Fonte: Modificado de Amorim (2004).

Horizontes	Classe Pedológica	Símbolo	Potencialidade de ocorrência					
			Tapete impermeável	Cut-off	Filtro drenante	Poços de alívio	Dreno de pé	Rip-rap
B Latossólico	Latossolo Amarelo	LA	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
	Latossolo Vermelho-Amarelo	LV	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
	Latossolo Vermelho-escuro	LE	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
	Terra Roxa Estruturada	TR	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Podzólico Vermelho-Escuro	PE	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
B Textural	Podzólico Vermelho-Amarelo	PV	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Podzólico Amarelo	PA	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Podzólico Acinzentado	PZ	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Brunizem Avermelhado	BV	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Bruno não cálcico	NC	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
B Solonétzico	Planossolo	PL	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Solonetz-Solodizado	SS	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Podzol	P	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
B Podzol	Podzol Hidromórfico	HP	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
B Câmbico	Cambissolo	C	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Plíntico	Plintossolo	PT	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Glei	Gleissolo	G	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Solos sem horizonte B ou pouco desenvolvido	Areias quartzosas	AQ	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Alto	Médio
	Areias quartzosas marinhas	AM	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Alto	Médio
	Solos Aluviais	A	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Vertissolo	V	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
	Solo Litólico	R	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Alto
Rocha Inalterada	Regossolo	RE	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Alto	Médio
	Afloramento de rochas	-	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Com relação a ocorrência desses solos, os termos alto, médio ou baixo refere-se de forma qualitativa, à suscetibilidade de encontrar solos com maior ou menor intensidade. Quanto a utilização de solos em obras de barragens, os termos bom, médio ou ruim refere-se à suscetibilidade de indicação do uso do solo, também de forma qualitativa.

Características da área de estudo

A área onde será construída a barragem São Bento do Una possui características físico-

naturais e antrópicas bem particulares, que são: regime hidrológico deficiente, insuficiência de água para atividades da cadeia produtiva local, regime climático seco e limitações ao crescimento socioeconômico da área. Estas características influenciam a ocorrência dessa região ser uma zona que predomina a caatinga, como também influenciam para que o uso das terras seja voltado para a pecuária de corte e leite e criação de aves (ITEP, 2015). Na Figura 1 é apresentada a área que será alagada com a construção da barragem.

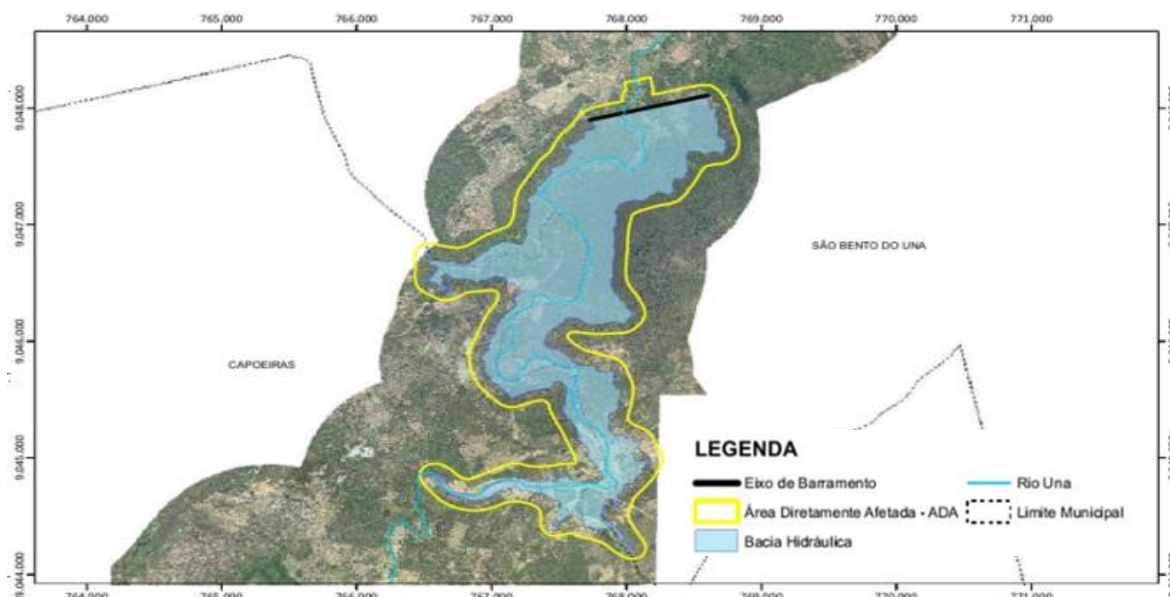


Figura 1. Área a ser alagada pela Barragem São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: ITEP (2015).

A barragem São Bento do Una, projetada sobre o rio Una, está localizada a cerca de 17 km a sudoeste da cidade de São Bento do Una, no Agreste do Estado de Pernambuco, cujas coordenadas em relação ao sistema de referência cartográfica SIRGAS 2000 UTM 24S são 9.047.889,721 N e 767.689,900 E, para a ombreira Esquerda e 9.048.114,744 N e 768.623,155 E, para a ombreira Direita. Tem o objetivo de atendimento à demanda de água para regularização de abastecimento humano e do polo avícola, um dos polos mais ativos da região do Nordeste. Apesar do eixo barrável estar situado no rio Una, duas importantes bacias hidrográficas fazem parte do município de São Bento do Una. O rio Ipojuca constitui 10,8% da área do município e rio Una ocupa 89,2% da área (ITEP, 2015).

Pedologia do local

As unidades de mapeamento pedológico da carta selecionada são formadas por classes pedológicas de solo e são representadas por um símbolo que as interliga com as suas descrições na legenda geral do mapa. A classificação taxonômica adotada na carta é a do Sistema de

Classificação de Solos da Embrapa (2006). Cada unidade de solo é constituída por associações de solos em que apenas as componentes principais são referenciadas.

As classes pedológicas de solos predominantes na área da quadrícula de São Bento do Una de acordo com o mapa de solos da Embrapa (2001) são: Podzólicos amarelo, Planossolo, Podzólico vermelho-amarelo, Solos Litólico, Regossolo e Solos Aluviais, cuja distribuição pode ser vista na Figura 2. As porcentagens das classes pedológicas de solos predominantes na área da quadrícula de São Bento do Una estão na Figura 3.

Classificação da susceptibilidade das classes pedológicas de solo

As características dos solos e dos materiais de empréstimo foram comparadas com as propriedades de cada classe pedológica de solo, sendo indicadas as potencialidades de ocorrência: Alto ($GS_{(solo)} = 3$); Médio ($GS_{(solo)} = 2$) e Baixo ($GS_{(solo)} = 1$), onde: $GS_{(solo)}$ é o número correspondente as susceptibilidades de cada classe de solo.

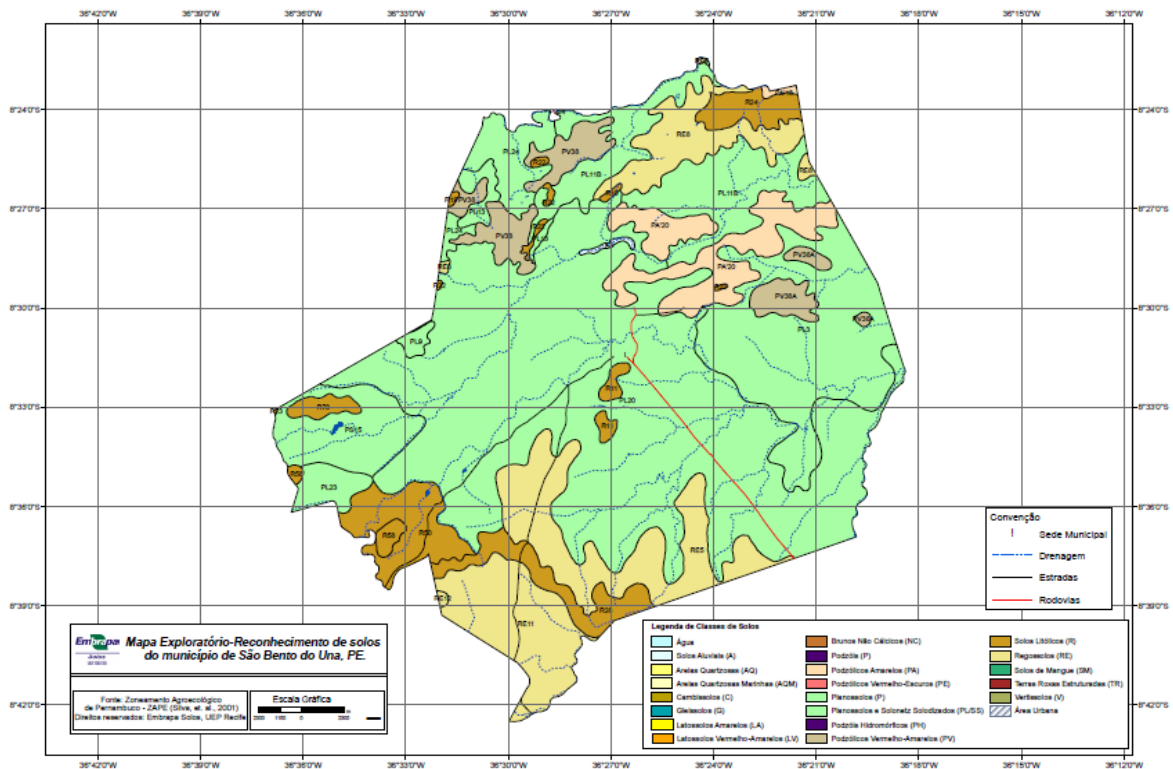


Figura 2. Mapa Exploratório de solos do município de São Bento do Una-PE, Brasil. Fonte: Silva et al. (2001).

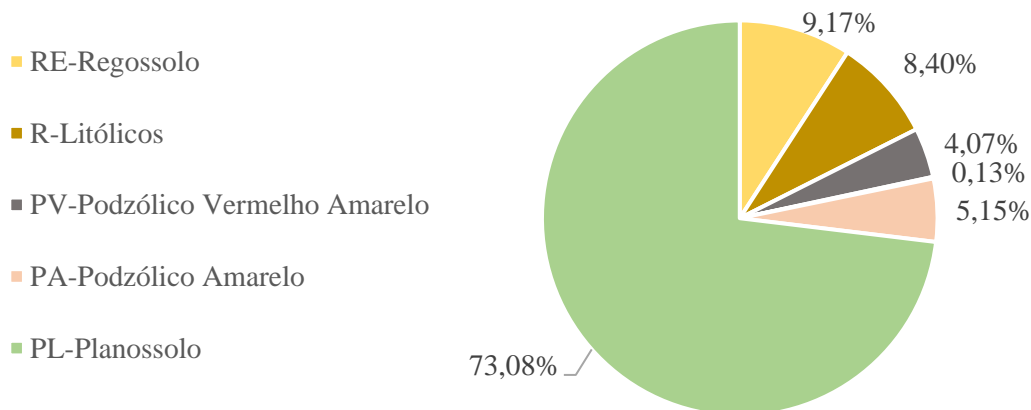


Figura 3. Porcentagens das classes de solo predominante em São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: Adaptado de Embrapa (2006).

Classificação do grau de susceptibilidade das unidades de mapeamento pedológico

Cada unidade de mapeamento foi classificada em três diferentes níveis de susceptibilidade: baixo, médio ou alto. Para chegar até a indicação destes níveis, foram realizados cálculos de ponderação para cada unidade de mapeamento (Equação 1).

$$GS_{(associação)} = \sum (\%_{(solo)} \times GS_{(solo)}) \quad Eq.(1)$$

onde: $GS_{(associação)}$ - número correspondente ao grau de susceptibilidade das unidades de mapeamento pedológico; $\%_{(solo)}$ - porcentagem da área referente a cada classe pedológica de solo dentro da unidade de mapeamento.

Para o cálculo do $GS_{(associação)}$ precisa-se da porcentagem da área referente a cada classe pedológica de solo dentro das unidades de mapeamento ($\%_{(solo)}$), e dos valores correspondentes as susceptibilidades de cada classe de solo. Após os cálculos de ponderação, o valor de $GS_{(associação)}$ de cada unidade de mapeamento foi colocado em uma linha de susceptibilidade que possui intervalos numéricos, para classificar as unidades quanto ao grau de susceptibilidade, onde:

- $GS_{(associação)} < 1,67$: suscetibilidade Baixa
- $1,67 \leq GS_{(associação)} < 2,33$: suscetibilidade Média
- $GS_{(associação)} \geq 2,33$: suscetibilidade Alta

Na área selecionada, em duas das unidades de mapeamento, foram identificados agrupamentos de classes parecidos, que se denominam “Podzólico Amarelo e Vermelho-Amarelo”, “Planossolo e Solonetz-Solodizado”. As classes que compõem estes agrupamentos possuem comportamentos semelhantes, por este motivo admitiu-se que as susceptibilidades para estas associações seriam as mais desfavoráveis dentre as apresentadas pelas classes de solo constituintes.

Para elaboração das cartas de susceptibilidade de ocorrência, com base na pedologia, foram elaboradas a partir do mapa pedologia de São Bento do Una (Embrapa, 2001), na escala 1:100.000 no formato digital em AutoCAD (Autodesk). Neste mapa há polígonos representando os solos do município. Cada polígono é o resultado de associações e grupamentos indiferenciados de solos.

Os mapas digitalizados no formato AutoCAD foram convertidos para o formato QGIS (Quantum GIS) um programa SIG (Sistema de Informação Geográfica), que permite ao usuário coletar, manusear e analisar dados georeferenciados.

Pesquisa de solos em áreas de empréstimo

De acordo com o Relatório Técnico Preliminar para Implantação da Barragem São Bento do Una (SEINFRA, 2014), foram realizados ensaios geotécnicos com finalidade de caracterização física, de permeabilidade,

resistência e deformação dos solos (Tabela 3). Foram pesquisadas 5 jazidas de solo para verificação do uso de materiais na construção dos elementos da barragem (Tabela 4).

Posteriormente, foi realizada uma nova e extensa campanha de ensaios geotécnicos nessas jazidas, incluindo ensaios de pressão de expansão e expansão livre, para caracterização do potencial expansivo dos solos (SEINFRA, 2014).

Tabela 3. Quantidade de ensaios realizados nas áreas de jazidas de solos em São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: SEINFRA (2014).

Pesquisa de jazida de solo / quantitativo	
Coleta de amostras	15
Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação	15
Limites de Atterberg (ensaio completo)	15
Compactação (Proctor Normal)	15
Densidade aparente seca	15
Umidade natural	12
Densidade "in situ"	12
Peso específico real	12
Permeabilidade com carga variável	12
Triaxial CU - ensaio consolidado e não drenado, com medida pressão neutra	8
Delimitação das áreas de jazidas com amarração topográfica ao eixo barrável	4
CRUMB TEST para argilas dispersivas	8
Ensaio químico	8

Tabela 4. Localização e classificação dos solos das jazidas analisadas para uso materiais na construção da Barragem São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: SEINFRA modificado (2014).

Jazida	Coordenadas	Local	Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS
1	768060,40 E 9047503,56 N	montante	areia grossa
2	767723,32 E 9047413,49 N	montante	areias argilosas (SC) e areias siltosas (SM)
3	767871,77 E 9046705,58 N	montante	areias argilosas (SC)
4	768925,17 E 9048787,3 N	jusante	síltos de baixa compressibilidade (ML), areias argilosas (SC) e argilas de baixa compressibilidade (CL)
5	769139,51 E 9048818,40 N	jusante	argilas de baixa compressibilidade (CL) e areias argilosas (SC)

Resultados e Discussão

De forma geral, para o Município de São Bento do Una, os resultados da análise pedológica mostraram susceptibilidade média ao colapso em 10,87% da área e baixa em 89,13% da área. Amorim (2004) utilizando a mesma metodologia, obteve para o estado de Pernambuco, 60,3% de baixa suscetibilidade, 32,6% de média e 4,7% de alta suscetibilidade ao colapso. A suscetibilidade à

expansão foi 16,19% baixa, 62,17% média e 21,64% alta. Amorim (2004) também utilizando a mesma metodologia, obteve para o estado de Pernambuco, 60,7% de baixa suscetibilidade, 16,5% de média e 20,3% de alta suscetibilidade a expansão. O município de São Bento do Una tem suscetibilidade de ocorrência de solos colapsáveis menor do que Estado e uma suscetibilidade média de ocorrência de solos expansivos maior do que

no Estado. A suscetibilidade quanto à erosão foi 3,97% alta, 17,30% média e 78,20% baixa. O mapa para processos erosivos do Parque Estadual do Juquery (PEJ), localizado no município de Franco da Rocha, na Região Metropolitana de São Paulo, desenvolvido por Amorim et al. (2017), aponta que 95% da área possuem moderada suscetibilidade e que 5%, alta suscetibilidade a erosão. Os resultados da dispersão mostram

suscetibilidades média e baixa de 8,17% e 91,83%, respectivamente, enquanto para solos moles a suscetibilidade é 100% baixa.

A Figura 4 mostra o mapa exploratório dos solos do município de São Bento do Una. A Figura 5 mostra o mapa de suscetibilidade dos solos: (a) ao colapso, (b) à expansão, (c) à erosão, e (d) à dispersão do município de São Bento do Una, com a localização das jazidas analisadas.

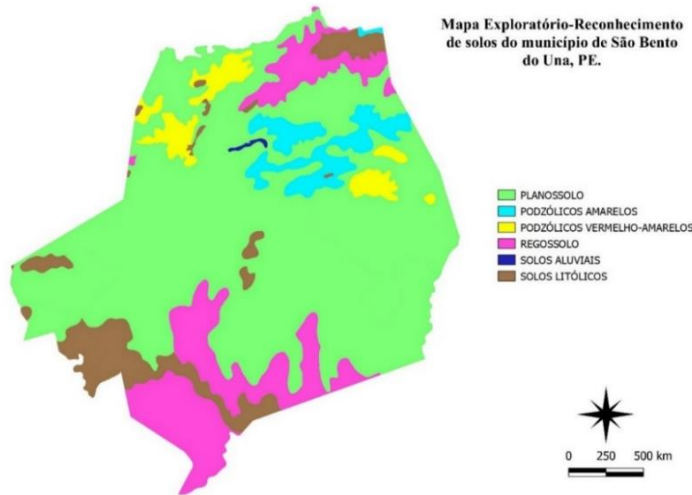


Figura 4. Mapa exploratório-reconhecimento de solos do município de São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

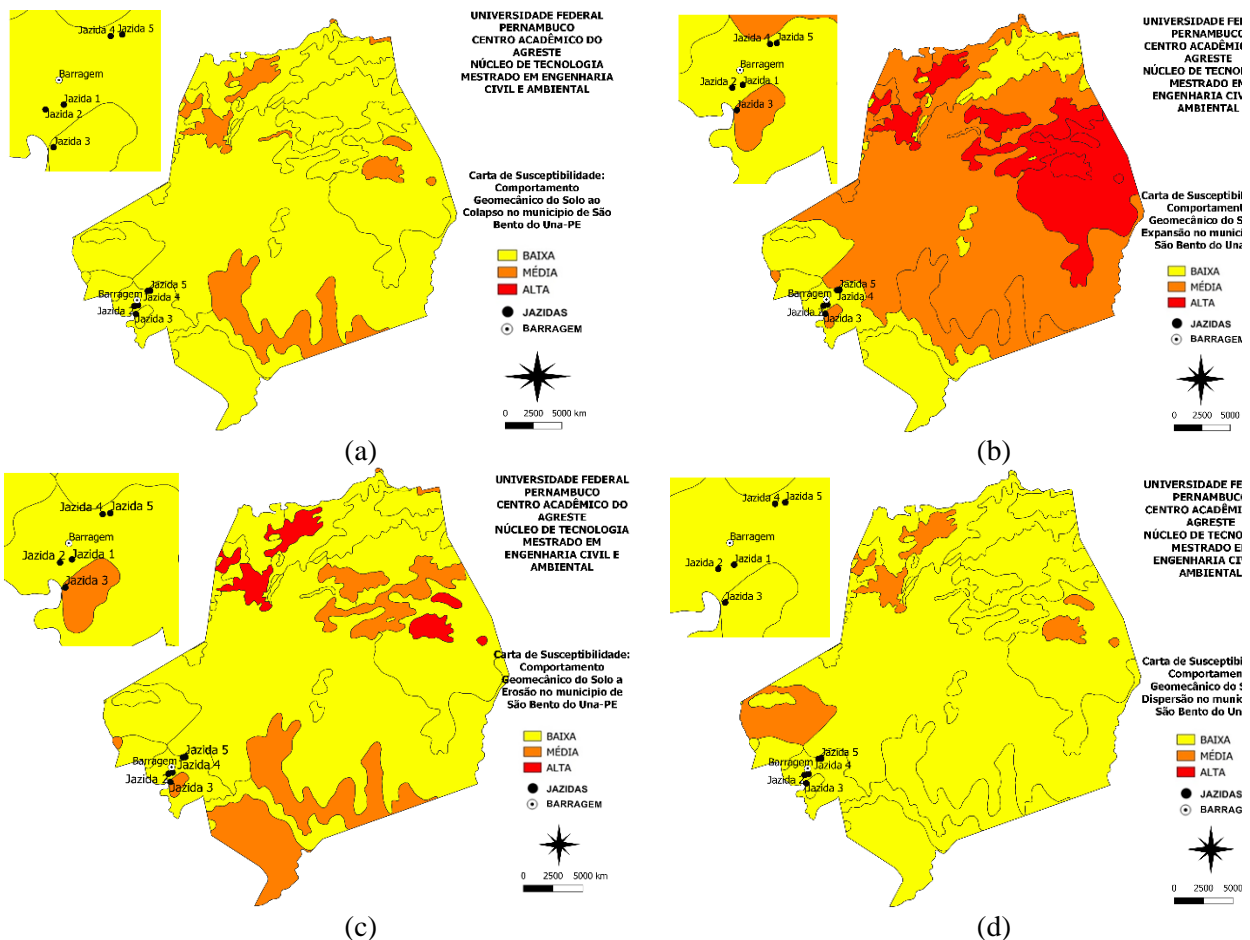


Figura 5. Mapa de suscetibilidade dos solos de São Bento do Una, Pernambuco, Brasil: (a) colapso; (b) expansão; (c) erosão; (d) dispersão. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

Quanto ao material de empréstimo para a construção de tapete impermeável, 3,97% da área apresenta boa qualidade, 68,16% média e 27,87% ruim. Para uso em *cut-off*, 3,97% da área apresentou boa qualidade, 25,16% média e 70,87% ruim. Para material de filtro drenante e poço de alívio, 5,21% da área apresenta boas características, 10,26% qualidade mediana e 84,52% apresenta características inadequadas.

Para dreno de pé, 8,75% dos solos da área foram considerados bons, 14,75% medianos e 76,51% ruins. Para rip-rap, 71,14% foram classificados como materiais medianos e 28,86% de ruins.

A Figura 6 mostra, respectivamente, as cartas de jazida para a construção: (a) do tapete impermeável, (b) do Cut-off, (c) do Rip-Rap, (d) dos poços de alívio, (e) do dreno de pé, e (f) do filtro drenante município de São Bento do Una.

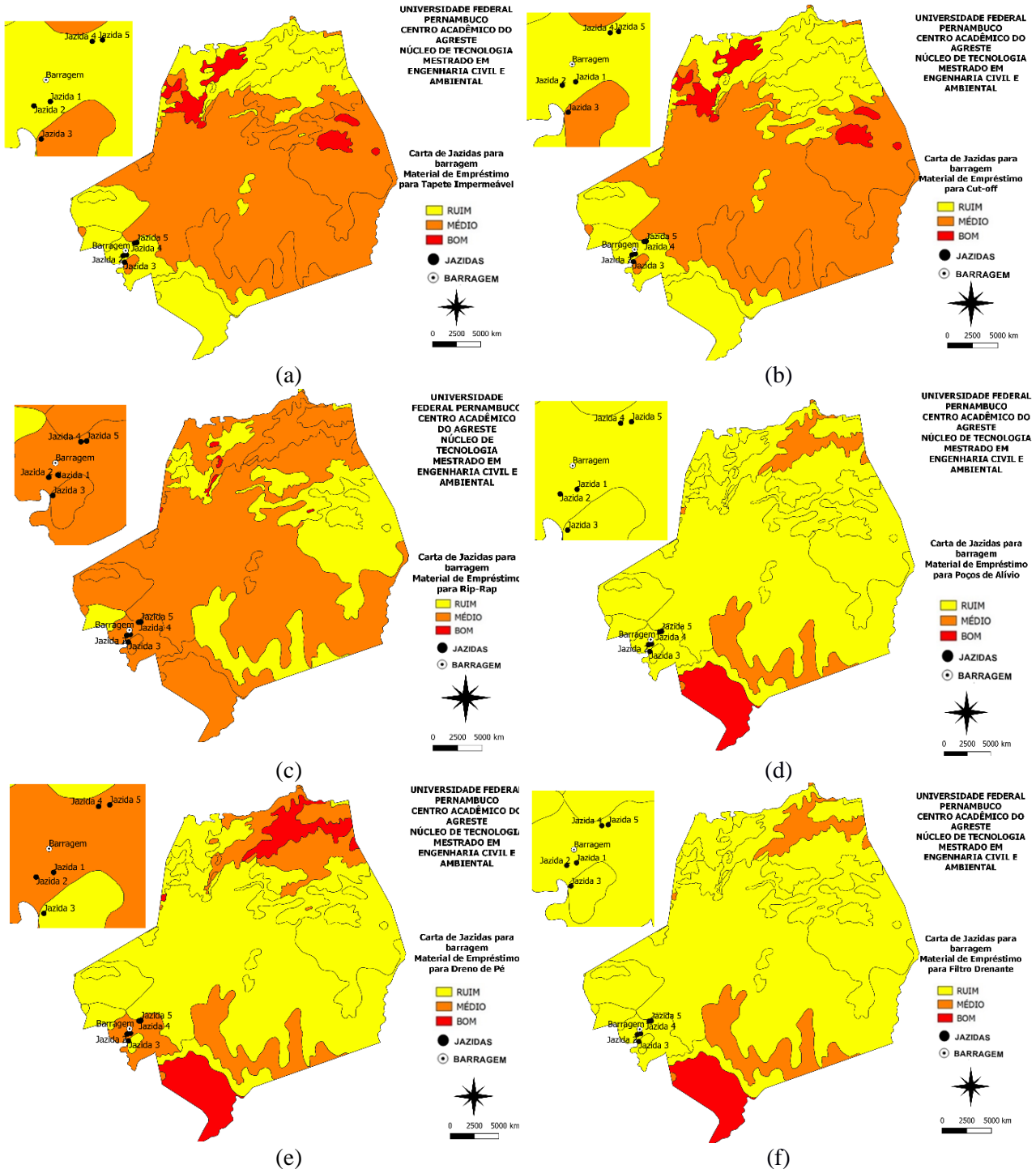


Figura 6. Carta de jazida de solos de São Bento do Una, Pernambuco, Brasil, para construção: (a) de tapete impermeável; (b) do *Cut-Off*; (c) do Rip-Rap; (d) dos poços de alívio; (e) de dreno de pé; (f) de filtro drenante. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

As Tabelas 5 e 6 apresentam, respectivamente, um resumo dos resultados numéricos de suscetibilidade de ocorrência dos solos na área do Município de São Bento do Una, e da qualidade dos solos para uso na construção dos elementos de barragem São Bento do Una. As Figuras 7 e 8 apresentam graficamente, essas diferenças de comportamento.

Verificou-se uma maior suscetibilidade de ocorrência de solos dispersivos na área analisada (Alta = 91,83%), seguido por solos expansíveis (Alta = 21,64% e Média = 62,17%).

Tabela 5. Resumo dos resultados de ocorrência dos solos na área do Município de São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

Solos	Suscetibilidade de Ocorrência (%)		
	Baixa	Média	Alta
Colapso	89,13	10,87	-
Expansão	16,19	62,17	21,64
Erosão	78,20	17,30	3,97
Dispersão	-	8,17	91,83
Solos Moles	100	-	-

Tabela 6. Resumo dos resultados de qualidade dos solos de jazidas para construção dos elementos da Barragem São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

Elementos da Barragem	Qualidade do Solo de Jazidas (%)		
	Boa	Média	Ruim
Tapete impermeável	3,97	68,16	27,87
Cut-off	3,97	25,16	70,87
Filtro drenante	5,21	10,26	84,52
Poço de alívio	5,21	10,26	84,52
Dreno de pé	8,75	14,75	76,51
Rip-rap	-	71,14	28,86

Esses resultados ocorreram conforme esperado, visto que solos expansivos e dispersivos são solos característicos de regiões semiáridas de clima tropical e temperado, em áreas onde a evapotranspiração excede a precipitação (Ferreira, 1993; Amorim et al., 2017; Antunes & Salomão, 2018). Esse cenário é encontrado na região estudada, conforme indicado em Amorim (2004). Ambos os solos necessitam de estudos especiais para entendimento de seu comportamento. Neste sentido, verifica-se que a campanha de ensaios geotécnicos, realizada nas jazidas, contemplou ensaios de pressão de expansão e expansão livre, para caracterização do potencial expansivo dos solos, ensaios químicos e ensaios para detectar argilas dispersivas.

Os solos de empréstimo da área do Município de São Bento do Una, em geral, apresentaram Baixa qualidade para uso na construção dos elementos da barragem, com resultados variando de 3,97 a 8,75%. Os resultados de Má qualidade variaram de 84,52% a 70,87%, não parecendo ser aconselhável o uso desses solos para construção de *cut-off*, filtro-drenante, poços de alívio e dreno de pé, de acordo com as características pedológicas, segundo Antunes & Salomão (2018).

Entretanto, para uso em tapetes drenantes e rip-rap, os solos da área apresentaram Média qualidade, respectivamente 68,16% e 71,14%, podendo ser indicado para construção desses elementos, de acordo com as características pedológicas, segundo Antunes & Salomão (2018). Para uso em tapetes drenantes são utilizados solos argilosos de baixa permeabilidade (Gusmão Filho, 2002). Para construção de rip-rap, são utilizados solos litólicos, areias quartzosas e os regossolos. Ambos os solos são característicos da área analisada.

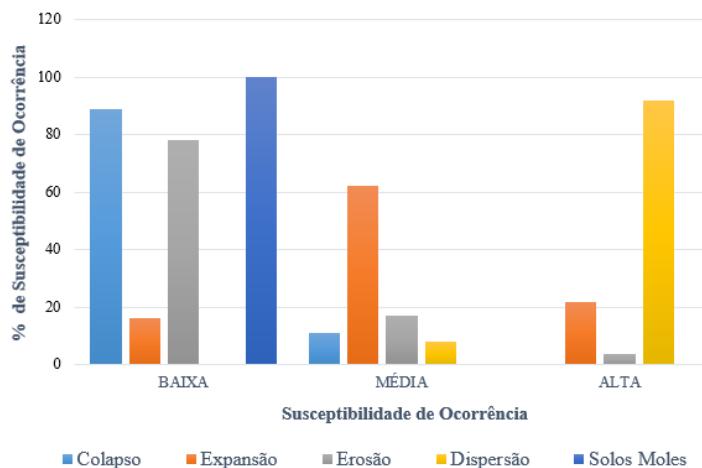


Figura 7. Qualidade dos solos de ocorrência na área das jazidas analisadas em São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Silva, Bello & Ferreira (2020).

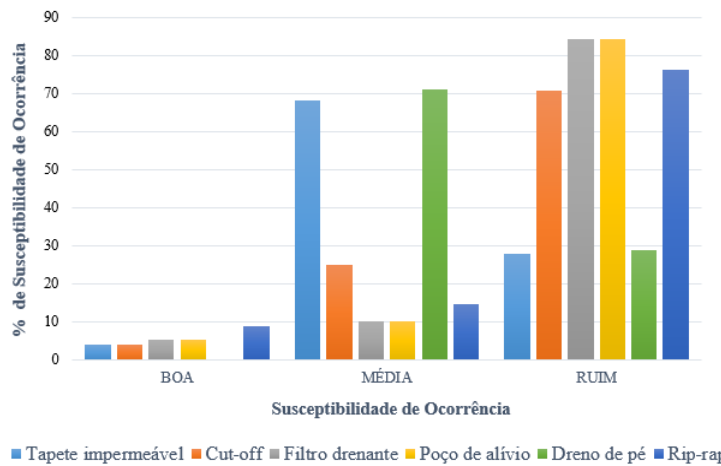


Figura 8. Gráfico de resultados de qualidade dos solos de jazidas analisadas para uso na construção dos elementos da Barragem São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

As Tabelas 7 e 8 apresentam, respectivamente, um resumo dos resultados de suscetibilidade de ocorrência dos solos na área das jazidas 1, 2, 3, 4 e 5 e a qualidade dos solos dessas jazidas, para uso na construção dos elementos da Barragem de São Bento do Una.

As jazidas apresentaram susceptibilidade baixa para colapso, dispersão e solo mole, com exceção da Jazida 3, a qual apresentou susceptibilidade média para solos expansivo e erosivo, de acordo com as características pedológicas, segundo indicado por Ferreira (1993) e Amorim et al. (2017).

Tabela 7. Resumo dos resultados de susceptibilidade dos solos na área onde foi utilizado o material para a construção da barragem, em São Bento do Una, Pernambuco, Brasil. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

Solos	Susceptibilidade de Solo da Jazida				
	Jazida 1	Jazida 2	Jazida 3	Jazida 4	Jazida 5
Colapso	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Expansão	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Erosão	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Dispersão	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Solos Moles	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

Tabela 8. Resumo dos resultados de potencialidades dos solos das jazidas para uso na construção dos elementos da Barragem São Bento do Una, em Pernambuco, Brasil. Fonte: Silva, Bello & Ferreira (2020).

Elementos da Barragem	Potencialidade do uso do Solo da Jazida				
	Jazida 1	Jazida 2	Jazida 3	Jazida 4	Jazida 5
Tapete impermeável	Ruim	Ruim	Médio	Ruim	Ruim
Cut-off	Ruim	Ruim	Médio	Ruim	Ruim
Filtro drenante	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
Poço de alívio	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
Dreno de pé	Médio	Médio	Ruim	Médio	Médio
Rip-rap	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio

Amorim (2004) e Amorim et al. (2017) ressaltaram a importância de realizar estudos complementares para o entendimento do comportamento desses solos em função do grau de suscetibilidade, recomendando a realização de ensaios geotécnicos especiais na fase de Projeto Técnico Preliminar para caracterização do potencial expansivo dos solos, ensaios químicos e ensaios para detectar solos erosivos.

Em relação aos materiais de empréstimo, para utilização como tapete impermeável e para

construção do *cut-off*, apenas a Jazida 3 apresentou material de potencial médio. Entretanto, as demais mostraram-se como material inadequado para esses usos, conforme as características pedológicas, Amorim et al. (2017) e Antunes & Salomão (2018).

Quanto à utilização no Rip-Rap, todas as jazidas foram classificadas como material de potencial médio. Para utilização do material na construção de poços de alívio e filtro drenante, todas as jazidas foram classificadas como

potencial ruim quanto ao uso. Considerando o uso como dreno de pé, apenas a Jazida 3 apresentou material de potencial ruim quanto ao uso, e as demais jazidas foram classificadas como potencial médio. Isto se deve ao comportamento hidro-geomecânico apresentado por estes materiais, conforme Gusmão Filho (2002).

Conclusão

O mapeamento com base na pedologia do município de São Bento do Una permitiu identificar a susceptibilidade dos solos da área ao colapso, à expansão, à erosão, à dispersão e à ocorrência de solos moles, contribuindo para preservar a integridade das construções em geral, pois se evitam possíveis danos ao ser verificado que a área é imprópria ou não recomendada. As áreas apresentam potencial de exploração de materiais para a construção dos elementos da barragem, possibilitando eficiência e economia de materiais, assim como segurança da obra.

Quanto às jazidas pesquisadas no Projeto Técnico Preliminar para a construção da Barragem do Una, verificou-se a presença de solos de potencialidade média a ruim para sua utilização na construção dos elementos da barragem.

Os resultados confirmam o potencial do mapeamento pedológico no enfrentamento de problemas, servindo de base para inter-relacionar seus resultados com problemas da Engenharia Geotécnica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), do Centro Acadêmico do Agreste (CAA), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo ao primeiro autor.

Referências

- Amorim, S. F. 2004 Contribuição à cartografia geotécnica: sistema de informações geográficas dos solos expansivos e colapsíveis do Estado de Pernambuco. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. 244p.
- Amorim, D. G. A.; Zaine, J. E.; Bocarde, D.; Rodrigues, F. H. A. 2017. Avaliação de suscetibilidade à erosão e movimentação gravitacional de massa no Parque Estadual do Juquery, Franco da Rocha (SP). Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. cient., 17, 2, 3-21.
- Antunes, F. S.; Campos, T. M. P.; Polivanov, H.; Calderano, S. B.; Andrade, A. G. 2013. Desenvolvimento de classes e unidades geopedológicas a partir da interação entre a pedologia e a geotecnia. Revista Geotecnia, 127, 61-79.
- Antunes, F. S.; Salomão, F. X. T. 2018. Solos em Pedologia. In: Oliveira, M. A. S.; Monticeli, J. J. (Editores). Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia e Ambiental, 2, 71-85.
- Aquino, A. E. B. 2020. Contribuição à cartografia geotécnica do município de Teresina-PI: cartas de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e prática de fundação com uso de geoprocessamento técnico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa índice das quadrículas do estado de Pernambuco. 2001. <http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/index.php?link=zapenet>
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Manual técnico de pedologia. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa, Serviço de Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 316p.
- Ferreira, S. R. M. 1990. Pedologia aplicada ao estudo de solos colapsíveis e expansivos. Seminário de Qualificação de Doutorado. (COPPE/UFRJ). 162p.
- Ferreira, S. R. M. 1993. Aplicações da classificação e levantamentos pedológicos aos estudos dos solos colapsíveis e expansivos. Revista Ciência e Engenharia, 3, 119-136.
- Gusmão Filho, J. A. 2002. Solos: da formação geológica ao uso na engenharia. Recife. Ed. Universitária da UFPE, 198p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual técnico de pedologia. 2. ed. Rio de Janeiro. Manuais Técnicos em Geociências, 4. 323p.
- ITEP - Instituto de Tecnologia de Pernambuco. 2015. Relatório de impacto ambiental – RIMA: Barragem São Bento do Una, Recife. 93p.
- Lima, D. C.; Bueno, B. S.; Fontes, M. P. F. 1996. Utilização de levantamentos de solos em geotecnia. O Solo nos grandes Domínios morfoclimáticos do Brasil e o

- Desenvolvimento Sustentado, SBCS, UFV, DPS, pp. 703-721.
- Medina, J. 1961. Lateritas e sua aplicação na pavimentação. ABPv-II Reunião Anual, RJ.
- Nogami, J. S. 1965. A aplicação da geologia e da pedologia no estudo de solos para pavimentação. SPT, nº 42, DER-SP.
- SEINFRA - Secretaria de Infraestrutura. 2014. Elaboração do Relatório Técnico Preliminar (RTP) e Projeto Básico para Implantação da Barragem São Bento do Una, localizada no Município de São Bento do Una, no Estado de Pernambuco. Relatório do Projeto Básico. Techne.
- Silva. M. J. R. 2003. Comportamento geomecânico de solos colapsíveis e expansivos em Petrolina: cartas de susceptibilidade. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. 110p.
- Vasconcelos, R. P. R. 2001. Mapas de Suscetibilidade de Solos Colapsíveis e Expansivos do Estado de Pernambuco. Dissertação (Mestrado, em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 93p.