

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA - UNIFOR
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
PAULO ANTÔNIO PEREIRA GONÇALVES

**CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DE DOIS TIPOS DE
SOLOS DE PAINS-MG ASSOCIADOS À OBRAS DE CONTENÇÃO**

FORMIGA – MG

2014

PAULO ANTÔNIO PEREIRA GONÇALVES

CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DE DOIS TIPOS DE
SOLOS DE PAINS-MG ASSOCIADOS À OBRAS DE CONTENÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira
Thebaldi.

FORMIGA – MG

2014

G635 Gonçalves, Paulo Antônio Pereira.
Caracterização dos parâmetros físico-hídricos de dois tipos de solos de Pains-MG associados à obras de contenção / Paulo Antônio Pereira Gonçalves. – 2014.
69 f.

Orientador: Michael Silveira Thebaldi.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR - MG, Formiga, 2014.

1. Taludes. 2. Densidade do solo. 3. Porosidade do solo. I. Título.

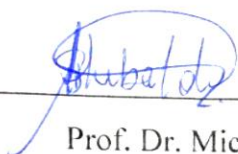
CDD 624.152

Paulo Antônio Pereira Gonçalves

CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DE DOIS TIPOS DE
SOLOS DE PAINS-MG ASSOCIADOS À OBRAS DE CONTENÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador



Profª Drª Mirian Aparecida Isidro dos Santos

UNIFOR



Prof. Ms. Ronan Souza Sales

UNIFOR

Formiga, 07 de Novembro de 2014.

A Deus por me conceder a oportunidade de realizar meus sonhos,
aos meus pais pelo carinho e apoio em todos os momentos,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde, dar força e fé para realizar este trabalho.

A minha família por estar todos os momentos ao meu lado e fazendo de tudo para o meu melhor.

Ao meu orientador Michael Silveira Thebaldi pela orientação exemplar, inúmeras ajudas e atenção nos momentos difíceis.

Ao Rotaract Club de Pains por ter me ajudado na formação profissional.

Aos meus irmãos de sala Thiago Alves, Duarniqui e Hedrumon, verdadeiros irmãos que poderei contar sempre pelo resto da vida.

A todos os meus colegas de sala por todos esses anos juntos nessa importante etapa de nossas vidas.

Aos professores que nos passaram conhecimento durante todos esses anos.

A Unifor por conceder a oportunidade de fazer o curso.

E a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram positivamente com a realização deste trabalho.

Muito Obrigado !

RESUMO

O solo possui diversas utilidades na engenharia civil, como os movimentos de terras, receber fundações e as contenções, assim, o objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização físico-hídrica de dois tipos de solos encontrados no município de Pains-MG, para determinar a mais viável obra de contenção a ser realizada em cada solo estudado. Para tal, foram colhidas amostras (deformadas e indeformadas) dos dois tipos de solos em maior predominância encontrados neste município, sendo que as mesmas foram levadas ao laboratório de Ciências da Terra do UNIFOR para determinação de parâmetros necessários como: densidade do solo, densidade de partículas, textura, índice de vazios, porosidade, argila dispersa em água e a relação entre silte e argila, além da umidade gravimétrica e volumétrica. Os parâmetros obtidos dos solos estudados indicam que se deve focar na estabilidade e drenagem das contenções, pois a falta de atrito e alta porosidade dos solos solicitam que as obras tenham otimização da estrutura e drenagem eficiente.

Palavras-chave: Taludes. Densidade do solo. Porosidade do solo.

ABSTRACT

Soil has many uses in civil engineering, such as earth moving, receive foundations and retaining walls, so the purpose of this task was the hydro-physical characterization of two types of soils found in the city of Pains-MG to determine the most practicable containment work to be performed for each soil studied. For such samples (disturbed and undisturbed) of the two types of soils in higher prevalence found in this city, in which they had been taken to the laboratory of Ground Sciences of UNIFOR to determine the necessary parameters that were collected like texture, voids, porosity, water dispersible clay and the relationship between silt and clay, in addition to gravimetric and volumetric moisture. The parameters obtained from soils studied indicate that one should focus on stability and draining of retaining walls, because the lack of friction and high porosity of soils demand that the buildings have a better structure of optimization and an efficient drainage.

Keywords : Slopes. Bulk density. Porosity of the soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Solo e suas fases.....	24
Figura 2 – Triângulo textural.....	26
Figura 3 – Empuxo sobre um anteparo.....	30
Figura 4 – Muro de gravidade de concreto.....	33
Figura 5 – Muro de gravidade de alvenaria em pedras.....	33
Figura 6 – Muro de gabiões.....	34
Figura 7 – Crib-wall	34
Figura 8 – Muro de sacos de solo-cimento.....	35
Figura 9 – Muro de pneus.....	35
Figura 10 – Muro de gravidade com seção aliviada.....	36
Figura 11 – Perfil de muro de flexão.....	37
Figura 12 – Muro com contraforte	38
Figura 13 – Execução de terra armada	39
Figura 14 – Aterro de geossintético.....	40
Figura 15 – Cortina de estacas-pranchas	41
Figura 16 – Planta e corte de paredes de estacas metálicas com pranchões de madeira.....	42
Figura 17 – Execução de parede de estacas metálicas com pranchões de madeira.....	42
Figura 18 – Parede diafragma.....	43
Figura 19 – Muro de estacas escavadas.....	44
Figura 20 – Solo grampeado (soil nailing)	45
Figura 21 – Cortina atirantada	46
Figura 22 – Localização do município de Pains no Estado de Minas Gerais e este no mapa do Brasil.....	47
Figura 23 – Drenagem Superficial da Bacia do Rio São Miguel	49
Figura 24 – Área de estudo.....	51
Figura 25 – Mapa de Solos da região de Pains-MG.....	53
Figura 26 – Amostras deformadas.....	54
Figura 27 – Amostra indeformada.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos.....	20
Tabela 2 – Valores de Δ/H necessários para se alcançar os estados ativos e passivos para vários tipos de solos	31
Tabela 3 – Coordenadas dos pontos de coleta.....	60
Tabela 4 – Parâmetros físicos dos solos	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 Solos	16
4.1.1 Origem e formação dos solos	16
4.2 Elementos constituintes do solo	18
4.2.1 Fase sólida	19
4.2.2 Fase líquida	20
4.2.3 Fase gasosa	21
4.3 Classes de solo predominantes em Pains-MG	21
4.3.1 Latossolo vermelho distrófico	22
4.3.2 Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	22
4.4 Índices físicos e hídricos do solo	23
4.4.1 Densidade do solo	24
4.4.2 Densidade de partículas	25
4.4.3 Textura	25
4.4.4 Umidade gravimétrica	26
4.4.5 Índice de vazios	27
4.4.6 Porosidade	27
4.4.7 Relação silte/argila	27
4.5 Obras de contenção de solos	28
4.5.1 Critérios de escolha	29
4.5.2 Critérios de projeto	29
4.5.3 Empuxo	30
4.5.4 Estruturas de contenção com reaterro	32
4.5.5 Estruturas de contenção sem reaterro	40
5 MATERIAL E MÉTODOS	46
5.1 Caracterização da área de estudo	46

5.1.1	Localização	47
5.1.2	Clima	48
5.1.3	Hidrografia	48
5.1.4	Topografia	50
5.1.5	Geologia e solos	50
5.1.6	Mapa da área de estudo	51
5.1.7	Uso e ocupação do solo	52
5.2	Plano amostral	52
5.2.1	Determinação dos pontos de coleta	52
5.2.2	Procedimento amostral	53
5.3	Análises físicas e hídricas do solo	55
5.3.1	Densidade do solo	55
5.3.2	Densidade de partículas	56
5.3.3	Textura	56
5.3.4	Umidade	57
5.3.5	Porosidade	57
5.3.6	Índice de vazios	58
5.3.7	Relação Silte/Argila	58
5.4	Determinação dos empuxos	58
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
7	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O solo é sinônimo de vida, provido do intemperismo das rochas e é nele que são gerados todos os alimentos necessários para consumo humano, itens necessários para a vida no planeta, além de revestir toda a crosta terrestre. Cada região do planeta contém solos característicos local, podendo ser variado sua formação, cor, textura, granulometria.

Devido as suas diversas utilizações, e por ser a base e princípio na terra, o solo recebe alterações pelas mãos humanas, fato que acontece bastante na área da construção civil, pois para que se execute uma obra seguindo à risca os critérios de projeto, necessita-se em casos executar cortes, aterros, movimentações de terra, dentre outros trabalhos.

As obras iniciadas em terrenos onde o solo se encontra instável, sendo em encostas, ou contem taludes, deformações, necessitam de ser executadas obras de contenção, sendo o princípio da mesma é conter os solos, para que evite desmoronamentos e problemas futuros.

Estudando-se o solo, podemos definir qual a melhor contenção a ser utilizada ao mesmo, pois os índices físicos e hídricos do solo podem ser diferentes de região para região, país para país.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar a caracterização físico-hídrica de dois tipos de solos encontrados no município de Pains-MG, para determinar a mais viável obra de contenção a ser realizada em cada solo estudado.

2.2 Objetivos Específicos

- Correlacionar os dados obtidos aos tipos de obras de contenção e definir a mais viável para cada tipo de solo.

3 JUSTIFICATIVA

O solo é usado de diversas maneiras pelo ser humano, e como nas obras de engenharia, que diretamente distribuem cargas aos solos, e, devido ao crescimento das cidades e da infraestrutura urbana e rural, deve-se promover um estudo do solo em questão para que se evite problemas futuros.

Devido ao grande crescimento urbano em terrenos de relevo irregular, é muito comum executar obras de contenção de solos, seja com reaterro ou sem reaterro. Para se executar, necessita-se então saber quais são as características do solo para que assim, associemos à qual estrutura de contenção melhor se adapta ao montante em estudo.

Diante desta necessidade, o objetivo deste trabalho é de estudar de maneira aprofundada os tipos de solos mais abundantes encontrados nas delimitações do município de Pains-MG, executando estudo físico e hídrico, para que assim, saibamos qual a melhor estrutura de contenção viável ao tipo dos solos recolhidos e estudados. Como é de suma importância realizar estudos antes da execução das obras, tendo em vista que estudos como esse não foram realizados na cidade de Pains-MG, o objetivo deste trabalho se torna inédito e necessário para se evitar problemas futuros com tais obras, tanto na execução quanto economicamente.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Solos

O solo é um recurso básico que suporta toda cobertura terrestre, sem a qual os seres vivos não poderiam existir, pois, nessa cobertura estão localizados todos os recursos que o homem necessita para seu uso, como árvores, gramíneas, raízes e herbáceas, não sendo somente a cultura em si, além de ser uma das maiores fontes de energia (BERTONI; NETO, 2010).

De acordo com Nogueira (1988), o solo possui concepções diferentes para o geólogo, engenheiro agrônomo e civil. Para os dois primeiros, o solo é visto como material encontrado à superfície terrestre e que serve de sustentação aos vegetais, já para o engenheiro civil, solo é entendido como todo material encontrado na camada superficial da crosta terrestre, sendo facilmente removido por um instrumento cortante qualquer e formado por elementos pertencentes às fases sólida, líquida e gasosa.

Segundo Bertoni e Neto (2010) quanto maior for a variedade de solos encontrada pela extensão territorial de um país, melhor será a qualidade de vida encontrada pela população, pois, maior será a área para produção de alimentos, de itens para vestuário, de área de exploração, transporte e indústrias, e também para recreação populacional, em vista de um bem estar físico e mental.

De acordo com Caputo (1988), a necessidade de o homem trabalhar com os solos vem de uma época remota tão quanto antiga à civilização. Nas grandes construções representadas pelas pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a Grande Muralha da China, os aquedutos e as estradas do Império Romano, recorda-se o surgimento de problemas de fundações e de obras de terra.

4.1.1 Origem e formação dos solos

A terra em si possui uma forma elipsoidal, sendo constituída por três camadas: a crosta terrestre ou litosfera, o manto e o núcleo. (NOGUEIRA, 1988).

Ainda segundo Nogueira (1988), a crosta terrestre possui uma espessura média de 50 km, possuindo uma formação inferior por rochas, predominantemente, basálticas constituindo o fundo dos oceanos e a base dos continentes e que neste suportam uma camada formada predominantemente, por rochas graníticas. Já o manto possui uma espessura média de 2.900 km, e, supõe-se que seja formado por silicatos ferro-magnesianos de massa específica elevada. Após o manto, se encontra o núcleo que possui um raio de 3.400 km, e supõe-se que sua formação seja de ferro e níquel.

Os solos se resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, que pode ocorrer pela desintegração mecânica ou decomposição química (CAPUTO, 1988).

De acordo com Caputo (1988) a desintegração mecânica ocorre-se devido a água, temperatura, vegetação e vento, formando os pedregulhos e areias, que por si são solos de partículas grossas, e até mesmo os siltes, que são constituídos de partículas intermediárias. Somente em condições especiais formam-se o solo constituinte de partículas finas, no caso as argilas. Já a decomposição química é o processo em que a rocha de origem sofre uma modificação química ou mineralógica, sendo o principal agente a água e os mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. O último produto a sofrer pelo processo de decomposição são as argilas.

Segundo Pinto (2006), o conjunto dos processos supracitados são muito mais atuantes em climas quentes do que em climas frios, pois no processo de formação do solo, há uma mistura de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química. A maior ou menor concentração de partículas, depende diretamente da composição da rocha de origem.

Nos processos de intemperismo das rochas, são gerados fragmentos ou sedimentos que poderão ser ou não transportados por agentes da natureza e depositados em qualquer outro local, próximo ou distante, semelhante ou diferente ao seu de origem. Estes sedimentos sendo transportados ou não, podem se transformar em solos com características diferentes as encontradas inicialmente, podendo então, tornar-se um outro solo (NOGUEIRA, 1988).

4.2 Elementos constituintes do solo

A formação do solo se dá por um conjunto de partículas sólidas, deixando entre si vazios que podem ser preenchidos pela água e ar. Logo, um sistema disperso formado por três fases: sólida, líquida e gasosa (CAPUTO, 1988).

Ainda segundo Caputo (1988), as camadas que constituem um perfil do solo são conhecidas por horizontes e designam-se pelas letras A, B e C, no qual referem-se a camada superficial, subsolo e camada profunda, respectivamente. Esses horizontes, que se diferenciam pela cor e composição química, são ainda subdivididos em outros: A₀, A₁, ... B₁, B₂, ... De acordo com o critério pedológico, os solos são classificados em três divisões: zonais ou climatogênicos, intrazonais e azonais.

A camada superficial, denominada horizonte A, em contexto geral possui uma coloração mais escura e tem mais matéria orgânica. A camada seguinte denominada horizonte B possui uma coloração diferente, bem mais clara que a anterior e contem mais argila. Abaixo da camada B vem o horizonte C, constituído do material original, e o horizonte R, que é a rocha. Quando a camada superficial apresenta características mais afastadas do material original, como as camadas orgânicas dos solos minerais, é denominada horizonte O (BERTONI; NETO, 2010).

De acordo com Lepsch (2010), os horizontes do solo, que surgem a partir de uma rocha e saprolito relativamente homogêneos, constituem-se de quatro componentes principais: partículas minerais, materiais orgânicos, água e ar, normalmente misturados, sendo possível separá-los por métodos específicos em laboratório. Os dois primeiros componentes supracitados, formam a fase sólida, sendo que, a quantidade de material orgânico pode ser mais abundante próximo à superfície, podendo também variar de solo pra solo e entre horizontes de um mesmo perfil. Já os dois últimos componentes citados, água (fase líquida) e ar (fase gasosa), ocupam os vazios encontrados entre os conjuntos de partículas sólidas, podendo variar suas proporções em um espaço de tempo relativamente pequeno, como no caso de uma forte chuva, os poros existentes serão todos preenchidos pela água, mas após a drenagem do mesmo, parte da água se infiltra e escoar pela profundidade, permitindo que o ar volte a ocupar os poros novamente.

4.2.1 Fase sólida

De acordo com Nogueira (1988) o solo é um sistema trifásico, onde os componentes minerais do mesmo são distribuídos de forma a conter poros que comportarão as outras fases, líquida e gasosa. Tais componentes são denominados sólidos, enquanto os poros são denominados de vazios do solo.

O solo é composto por partículas de variadas dimensões, no qual são denominadas de “frações constituintes”, que de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT) são: Pedregulho – suas partículas possuem dimensões equivalentes entre 76 e 4,8 mm; Areia – dimensões entre 4,8 e 0,05 mm; Silte – dimensões entre 0,05 e 0,005 mm; Argila – dimensões inferiores a 0,005 mm (CAPUTO, 1988).

A caracterização da areia se apresenta por grãos soltos visíveis a olho nu, não sendo um solo coesivo, nem plástico e pegajoso quando em contato a água, predominando grandes poros na massa, não sendo higroscópica e não possuindo deformações e troca de cátions praticamente ausente. A caracterização do silte se apresenta por uma fração não perceptível a olho nu e ao tato humano. Um material pouco coesivo, possuindo poros de tamanho intermediário, sendo pouco ou quase nada plástico e baixa capacidade de troca de cátions. A caracterização da argila se apresenta por um solo imperceptível a olho nú, que, em contato com a água se torna plástica e pegajosa, e quando seca se torna dura e muito coesa. Seus poros são muitos pequenos, e ocorre de formar agregados com outras partículas. Também possui uma alta troca de cátions (RIBEIRO, 2013).

Segundo Caputo (1988), as argilas são constituídas por pequenos minerais cristalinos, denominados de minerais argílicos, dos quais se resumem em três grupos principais: caolinitas, montmorilonitas e ilitas. As estruturas desses minerais possuem formato de um tetraedro, que é formado por um átomo de silício equidistante de quatro de oxigênio, e, por um octaedro, formado com um átomo de alumínio no centro envolvido por seis de oxigênio.

De acordo com Pinto (2006) a primeira diferença entre os solos é o tamanho de suas partículas, pois alguns solos possuem grãos visíveis a olho nu, e outros possuem grãos que ao entrar em contato com água se tornam barro, não sendo possível visualizar suas partículas individualmente. De acordo com a TAB. 1, a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – adota os seguintes valores para os tamanhos de grãos.

Tabela 1 – Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	de 2 mm a 4,8 mm
Areia média	de 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0.005 mm a 0.05 mm
Argila	inferior a 0,005 mm

Fonte: Pinto (2006).

De acordo com Caputo (1988), para que se descubra qual o tipo de granulometria do solo, utiliza-se a curva granulométrica, que se resume em um diagrama onde se marcam pontos relativos a proporção da “dimensões das partículas” x “Porcentagem de peso do material que possui dimensão menor que a dimensão considerada”, logo, a curva encontrada distingue qual o tipo granulométrico de um determinado solo, se é contínuo, descontínuo, uniforme, bem graduado ou mal graduado, e mais dois parâmetros: diâmetro efetivo e grau de uniformidade.

4.2.2 Fase líquida

Segundo Moniz (1972), a fase líquida se caracteriza pela água que está preenchendo os vazios do solo sob diferentes tensões conforme o seu teor. Diretamente, a retenção dessa água será devido a fenômenos da superfície do solo, e relacionando com o tamanho, forma, quantidade e arranjo das partículas existentes no mesmo.

De acordo com Caputo (1988), a água contida no solo possui as seguintes classificações:

- Água de constituição: é a que faz parte da estrutura molecular da partícula sólida;
- Água adesiva ou adsorvida: é aquela película de água que envolve e adere fortemente a partícula sólida;
- Água livre: é a que se encontra em uma determinada zona do terreno, enchendo todos os seus vazios;
- Água higroscópica: é a que ainda se encontra em um solo seco ao ar livre;

- Água capilar: é aquela que nos solos de grãos finos sobe pelos interstícios capilares deixados pelas partículas sólidas, além da superfície livre da água.

Ainda segundo Caputo (1988), as águas livres, higroscópicas e capilares podem ser evaporadas por completo pelo efeito do calor, a temperaturas maiores que 100° C.

4.2.3 Fase gasosa

De acordo com Moniz (1972), esta fase gasosa se dá pelo ar do solo, que provém de gases da atmosfera e das reações processadas pelo sistema água-solo-planta. A medida que o solo perde líquidos, no caso a água, esse ar irá preencher os espaços vazios, ocupando primeiramente os poros maiores, depois os médios e por fim os menores, movimentando-se pelos espaços vazios do solo. Esse ar diferentemente do ar atmosférico, provém mais de gás carbônico e umidade, possuindo pouco oxigênio, chegando facilmente a 100% de umidade relativa.

Segundo Caputo (1988), a fase gasosa é constituída por ar, vapor d'água e carbono combinado, tendo o papel de preencher os vazios das demais fases. A sua consideração é de interesse em certos casos especiais de consolidação de aterros, quando então a necessidade de calcular as pressões neutras desenvolvidas em função da redução de volume desta fase.

4.3 Classes de solo predominantes em Pains-MG

As classes de solo presentes com maior predominância no município de Pains são os latossolos, de classe latossolo vermelho distrófico e os argissolos, de classe argissolo vermelho-amarelo eutrófico (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al., 2010).

4.3.1 Latossolo vermelho distrófico

São solos constituídos por material mineral, em avançado estágio de intemperização, muito bem drenados, podendo existir tipos que tenham drenagem moderada ou uma má drenagem, o que seria um indicativo de formação com um certo grau de gleização. São normalmente profundos, pois raramente seu solum é encontrado com espessura inferior a 1 m. Em geral, este tipo de solo é fortemente ácido, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos, podendo ocorrer solos com bases de média à alta saturação, e são tipicamente encontrados nas regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos por superfícies amplas e antigas onde houve erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente de relevos planos e ondulados, mas podendo ser encontrados em terrenos montanhosos, sendo originados a partir dos mais diversos tipos de rochas, clima e vegetação (EMBRAPA, 2013).

“Os latossolos vermelhos distróficos são solos com saturação por bases baixa ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)” (EMBRAPA, 2013, p. 200).

Segundo Embrapa (2013), os latossolos possuem horizonte A, B e C com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas e graduais, sendo que, o horizonte A é o mais escuro, o horizonte B possui cores mais vivas e o horizonte C comparado com os outros dois acima é o menos colorido.

4.3.2 Argissolo vermelho-amarelo eutrófico

Esta classe de solos é formada por material mineral com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico, possuindo um horizonte B textural que apresenta um alto índice de argila entre os horizontes superficiais, com o qual encontra-se logo abaixo, exceto o hístico. Este solo possui profundidade variável, podendo ser forte ou imperfeitamente drenados e forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa (EMBRAPA, 2013).

“Os argissolos vermelho-amarelos eutróficos são solos eutróficos (saturação por bases $\geq 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)” (EMBRAPA, 2013, p. 121).

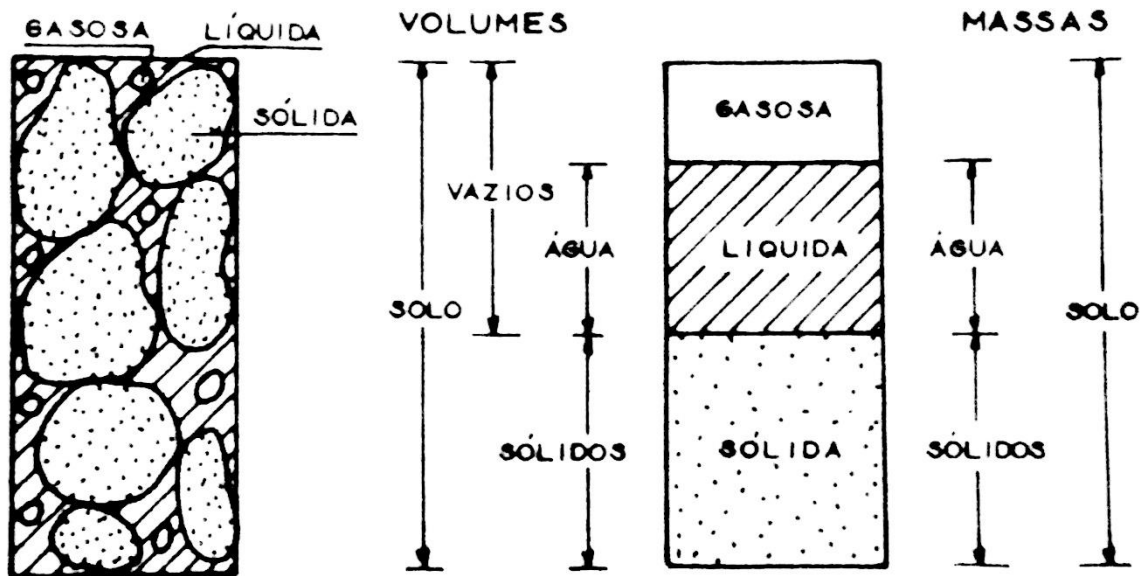
4.4 Índices físicos e hídricos do solo

O solo é formado pela fase sólida que é um conjunto de partículas minerais dispersas, formando poros de variados tamanhos em sua estrutura, onde localizarão as fases líquida e gasosa. Os componentes da fase sólida serão denominados de sólidos do solo, enquanto os poros serão denominados de vazios do solo. Tais índices físicos são utilizados na caracterização de suas condições, em um dado momento e por isto, podendo serem alterados ao longo do tempo. (NOGUEIRA, 1988).

De acordo com Fiori e Carmignani (2009), uma massa de solo pode ser considerada como um conjunto de partículas sólidas, possuindo vazios de variadas formas e tamanhos que podem estar preenchidos pela fase líquida ou gasosa. Logo, o solo pode ser equacionado da seguinte forma: solo = sólido + líquido + gases. Tal massa de solo pode ser descrita por suas propriedades físicas, como peso específico, teor de umidade, índices de vazios, entre outras.

A FIG. 1 representa uma amostra de solo, com seus grãos dispersos igualmente na natureza, e ao lado, uma amostra representando os níveis de suas fases sólida, líquida e gasosa dispostas deste mesmo.

Figura 1 – Solo e suas fases



Fonte: Nogueira (1988).

Segundo Fiori e Carmignani (2009), os índices físicos do solo expressam relações matemáticas entre pesos e volumes dos componentes presentes no solo, referente as três fases existentes, sólida, líquida e gasosa.

De acordo com Pinto (2006) os comportamentos do solo dependem da quantidade que se encontra de cada uma das três fases. Diversas relações são empregadas para expressar as proporções entre elas, sendo que as três fases normalmente ocorrem nos solos, ainda que, em alguns casos, todos os vazios possam estar ocupados pela água.

Os índices e as relações são de suma importância para o estudo das propriedades dos solos, pois tais propriedades dependem dos seus constituintes e das proporções relativas entre eles, assim como da interação de uma fase sobre as outras (CAPUTO, 1988).

Segundo Bertoni e Neto (2010), conhecer as características físicas do solo, cor, textura, estrutura, porosidade, é de grande importância para um manejo correto do solo.

4.4.1 Densidade do solo

A densidade possui uma grande importância no estudo dos solos, pois relaciona e fornece informações de maneira indireta a respeito de estrutura, porosidade, armazenamento e

condução de água. O solo que possui uma maior densidade, gera uma perturbação das condições de infiltração e restrição do fluxo de água no solo, comprometendo ao abastecimento de aquíferos, favorecendo o escoamento superficial direto, gerando assoreamento de cursos d'água, arraste de partículas e ainda aumenta a resistência mecânica à penetração radicular e reduz a aeração e a disponibilidade de água para as plantas (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

4.4.2 Densidade de partículas

O valor da densidade de partículas, ou dos grãos do solo, é função do seu constituinte mineralógico e quando não se dispõe de determinação mais precisa em laboratório, um valor médio de 2,65 é adotado, uma vez que este, corresponde à densidade do quartzo (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

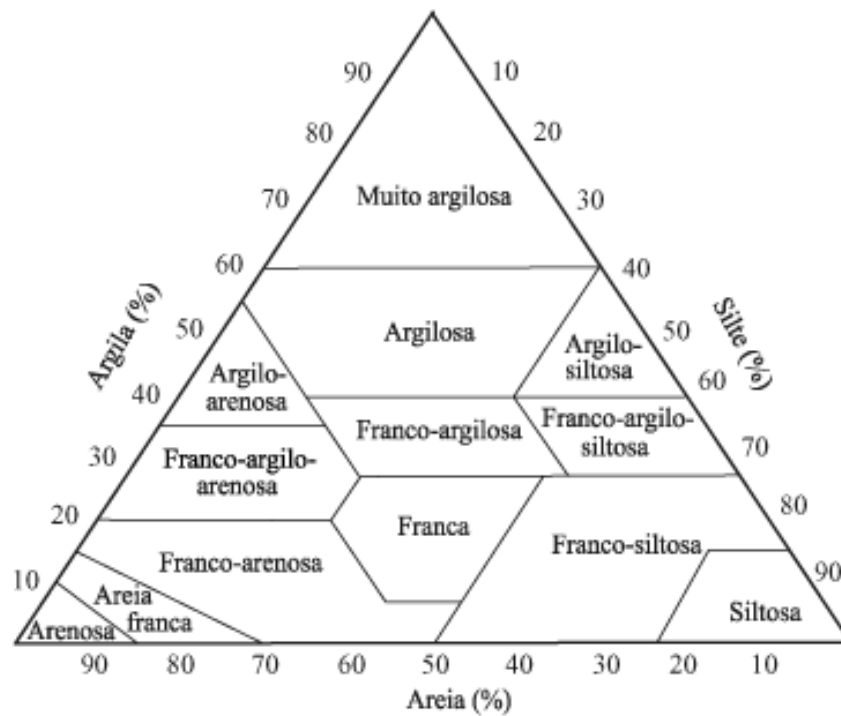
4.4.3 Textura

A parte sólida dos solos é constituída de partículas de diferentes tamanhos: areia (grossa + fina), silte e argila, constituindo a fração de terra fina (<2mm); cascalhos (2-20mm) considerados como elementos modificadores da classe textural quando presentes em quantidades significativas ($\geq 8\%$); calhaus (20-200mm) e matacões (>200mm) constituem a pedregosidade (RESENDE et al., 2007).

Segundo Resende et al. (2007) a textura refere-se à proporção das frações argila, silte e areia. Tal textura depende da rocha de origem o do grau de intemperização do solo em estudo.

Na FIG. 2 veremos a representação das frações granulométricas da areia (grossa + fina), silte e argila, representadas em termos de concentração relativa ou percentual nas arestas do triângulo textural.

Figura 2 – Triângulo textural



Fonte: EMBRAPA (2013).

4.4.4 Umidade gravimétrica

De acordo com Fiori e Carmignani (2009) o teor de água é definido como a razão da massa de água pela massa de material sólido, sendo expresso em porcentagem. O conteúdo de água dos solos úmidos gira em torno de 60%, os solos com aparência de secos em torno de 2 a 3%, e solos argilosos de origem lacustre, marinha ou vulcânica apresentam valores da ordem de 300 a 400%.

A umidade natural dos solos varia conforme a localização de onde a amostra foi retirada, se é próxima ou na superfície do terreno, se em profundidade, se nas proximidades de lagos, rios ou fontes, se coletada logo após uma chuva, dentre outras. Amostras coletadas acima do lençol freático apresentarão variação de umidade natural, já abaixo do nível do lençol freático, as mesmas estarão saturadas, não apresentando variações no conteúdo de água (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

4.4.5 Índice de vazios

Segundo Fiori e Carmignani (2009), o índice de vazios é uma medida de densidade e portanto, representa uma das características mais importantes para a definição de um solo, uma vez que dessa propriedade dependem por exemplo, a permeabilidade, a compressibilidade e a resistência à ruptura.

4.4.6 Porosidade

É a razão entre o volume de vazios da amostra de solo e o seu volume total, logo, o processo se resume em dividir o volume da água que preenche os vazios da amostra pelo volume total (FIORI; CARMIGNANI, 2009).

“Todo solo possui poros, mas seu número, tamanho, distribuição e continuidade são variáveis conforme o solo” (RESENDE et al., 2007, p. 69).

De acordo com Resende et al. (2007) os poros do solo são divididos em duas classes: microporos e macroporos, menores e maiores do que cerca de 0,05 mm de diâmetro, respectivamente. Logo, espera-se que solos argilosos apresentem grande microporosidade e solos arenosos uma grande macroporosidade, porém, a estrutura do solo tem influência marcante na distribuição do tamanho de poros.

4.4.7 Relação silte/argila

A relação de silte/argila é calculada dividindo-se os teores de silte pelos de argila de uma análise granulométrica de solo. Ela é usada para avaliar o estágio de intemperismo dos solos de regiões tropicais, para distinguir horizonte B latossólico de B incipiente quando os mesmos apresentam característica de solos com origem semelhante, e principalmente para identificar solos derivados de rochas cristalinas (EMBRAPA, 2013).

De acordo com Embrapa (2013) esta relação é empregada em solos de textura francoarenosa ou mais fina, indicando baixos teores de silte e, logo, um alto grau de intemperismo quando apresenta, na maior parte do horizonte B, valor inferior a 0,7 nos solos de textura média ou valor inferior a 0,6 nos solos de textura argilosa ou muito argilosa.

4.5 Obras de contenção de solos

Segundo Barros (2006) as estruturas de arrimo estão entre as construções humanas mais antigas, pois vem acompanhando a civilização desde as primeiras construções em pedra da pré-história, entretanto, o seu dimensionamento utilizando modelos teóricos em bases racionais só se desenvolveu a partir do século XVIII.

As obras de contenção são estruturas projetadas para resistir empuxos de terra e/ou água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços que estruturas, equipamentos, serviços executados venham transferir ao maciço (PINTO, 2012).

De acordo com Barros (2006), tais obras são construídas com a finalidade de prover estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha, fornecendo suporte a estes maciços e evitando deslizamentos causados pelo seu peso próprio ou por carregamentos externos.

Ao se analisar uma estrutura de contenção, deve-se focar na análise do equilíbrio do conjunto formado pelo maciço de solo e a própria estrutura. Este equilíbrio é afetado pelas características de resistência, deformabilidade, permeabilidade e pelo peso próprio desses dois elementos, além das condições que regem a interação entre eles. Pelo maciço, deve-se considerar seu peso próprio, resistência, deformabilidade e geometria, além dos dados sobre as condições de drenagem local e cargas externas aplicadas sobre o solo. Já pela estrutura, devem ser considerados sua geometria, material empregado e sistema construtivo adotado. Pelo ponto de vista da interação entre ambos, devem ser consideradas na análise as características das interfaces entre o solo e a estrutura, além da sequência construtiva (BARROS, 2006).

4.5.1 Critérios de escolha

De acordo com Pinto (2012) os critérios para escolha de uma obra de contenção mais viável aos casos se dão pelas seguintes premissas:

- Altura da estrutura;
- Cargas atuantes;
- Natureza e características do solo a ser arrimado;
- Natureza e características do solo de fundação;
- Condições do nível da água local;
- Espaço disponível para construção;
- Equipamentos e mão de obra disponíveis;
- Experiência e prática das equipes;
- Especificações técnicas especiais;
- Análise de custos;
- Podem ser executadas em caráter temporário (escoramentos de valas por exemplo) ou em caráter permanente (muros de arrimo por exemplo);
- Se a escavação for realizada abaixo do lençol freático, deve proceder-se previamente ao rebaixamento do nível da água;
- Quando for necessário diminuir as pressões da água sobre a estrutura definitiva, deve ser incorporado um dreno junto ao muro de arrimo.

4.5.2 Critérios de projeto

Segundo Pinto (2012) os critérios de projeto para elaboração das estruturas de contenção, são os seguintes:

- Natureza da estrutura (tipos diferentes para propósitos diferentes);
- Geometria do terreno e condições geotécnicas locais;
- Posição do nível da água e condições de drenagem;
- Empuxos de terra e cargas atuantes;
- Propriedades dos solos locais: peso específico, coesão, ângulo de atrito;

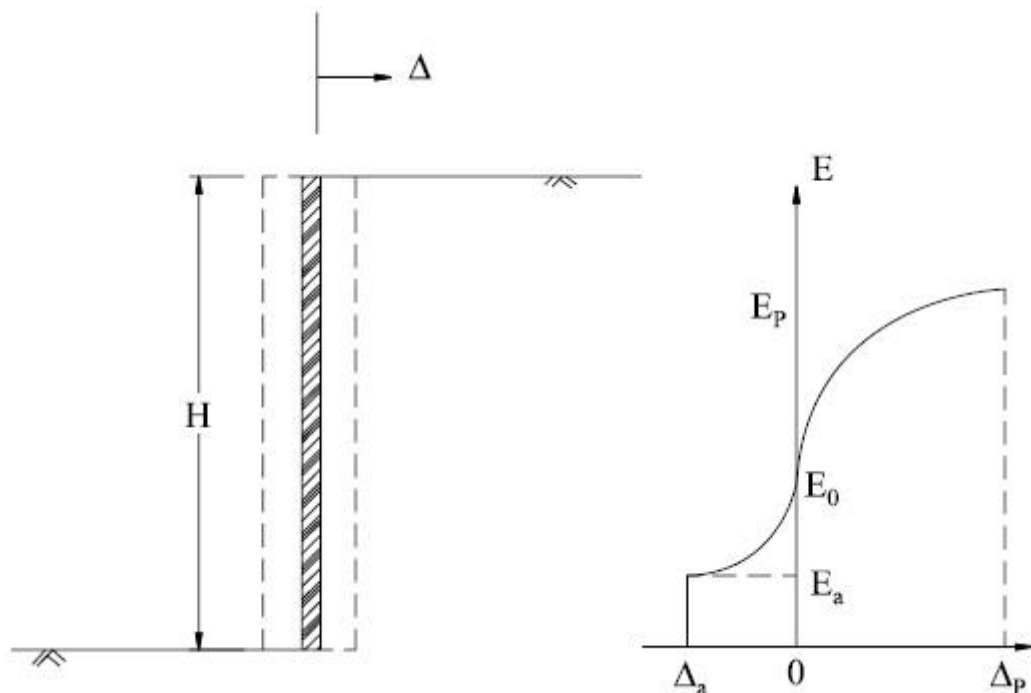
- Movimentos relativos solo – estrutura;
- Metodologias construtivas.

4.5.3 Empuxo

Segundo Barros (2006), entende-se por pressão lateral de terra também comumente chamado de empuxo lateral ou empuxo de terra, como sendo o esforço produzido por um maciço de solo sobre uma determinada estrutura de contenção ou arrimo que deve suportá-lo. Essas pressões podem ser devidas ao peso próprio do solo ou a sobrecargas aplicadas sobre ele.

O valor do empuxo sobre uma estrutura depende do deslocamento que esta sofre sob a ação deste empuxo. Pode-se visualizar esta interação através de um experimento que utiliza um anteparo vertical móvel, como ilustrado na FIG. 3, suportando um desnível de terreno. Verifica-se que a pressão exercida pelo solo sobre o anteparo varia à medida que este se desloca (BARROS, 2006).

Figura 3 – Empuxo sobre um anteparo



Fonte: Barros (2006).

Ainda segundo Barros (2006), quando o anteparo se afasta do solo arrimado, ocorre uma diminuição no valor do empuxo até um mínimo que corresponde à total mobilização da resistência interna do solo. Esta condição é atingida mesmo com um pequeno deslocamento do anteparo e é chamada de estado ativo. O empuxo atuante neste instante então é chamado empuxo ativo “Ea”. Se ao contrário, o anteparo for movido contra o solo arrimado, haverá um aumento no empuxo até um valor máximo onde haverá novamente a mobilização total da resistência do solo. A este valor máximo é dado o nome de empuxo passivo “Ep”, e a condição de deformação em que ocorre é chamada estado passivo. Diferentemente do estado ativo, o estado passivo só é atingido após um deslocamento bem maior do anteparo. Caso o anteparo, porém, se mantenha imóvel na posição inicial, o empuxo em repouso “Eo”, se manterá entre os valores do empuxo ativo e do empuxo passivo. Nesta condição não há uma completa mobilização da resistência do solo.

Na TAB. 2 estão mostrados valores típicos do deslocamento “ Δ ” da estrutura necessários para se alcançar a completa mobilização da resistência do solo e se alcançar os estados ativo e passivo. Verifica-se que para se alcançar o estado passivo é necessário um deslocamento dez vezes superior ao necessário para o estado ativo.

Tabela 2 – Valores de Δ/H necessários para se alcançar os estados ativos e passivos para vários tipos de solos

Tipo de solo	Valores de Δ/H	
	Ativo	Passivo
Areia compactada	0,001	-0,01
Areia mediantemente compactada	0,002	-0,02
Areia fofa	0,004	-0,04
Silte compactado	0,002	-0,02
Argila compactada	0,01	-0,05

Fonte: Barros (2006).

De acordo com Barros (2006), os muros de arrimo à gravidade em geral permitem a deformação do solo arrimado o suficiente para que sua resistência seja totalmente mobilizada. Assim devem ser dimensionados sob a ação do empuxo ativo.

4.5.4 Estruturas de contenção com reaterro

De acordo com Barros (2006) este tipo de estrutura utiliza seu peso próprio para estabilizar o talude. Os materiais utilizados e o formato da estrutura podem variar bastante, desde utilizar concreto ciclópico, pedras argamassadas, gabiões ou até a combinação de vários tipos de materiais, logo, em função do material utilizado para a sua construção, podem existir estruturas rígidas e flexíveis.

4.5.4.1 Muros de gravidade

Segundo Barros (2006), a estabilidade dos muros de gravidade frente ao empuxo pelo bloco de solo contido é provida por seu peso próprio, daí seu nome. Suas dimensões são de tal ordem que não se desenvolvem tensões de tração em nenhuma seção.

De acordo com Pinto (2012), existem diversos tipos de muros de gravidades, como os de concreto FIG. 4, alvenaria de pedras FIG. 5, gabiões FIG. 6, crib-wall FIG. 7, sacos de solo-cimento FIG. 8, pneus FIG. 9.

Figura 4 – Muro de gravidade de concreto



Fonte: Novidade diária (2011).

Figura 5 – Muro de gravidade de alvenaria em pedras



Fonte: Globo (2013).

Figura 6 – Muro de gabiões



Fonte: Lares engenharia (2014).

Figura 7 – Crib-wall



Fonte: Pinto (2012).

Figura 8 – Muro de sacos de solo-cimento



Fonte: Pinto (2012).

Figura 9 – Muro de pneus

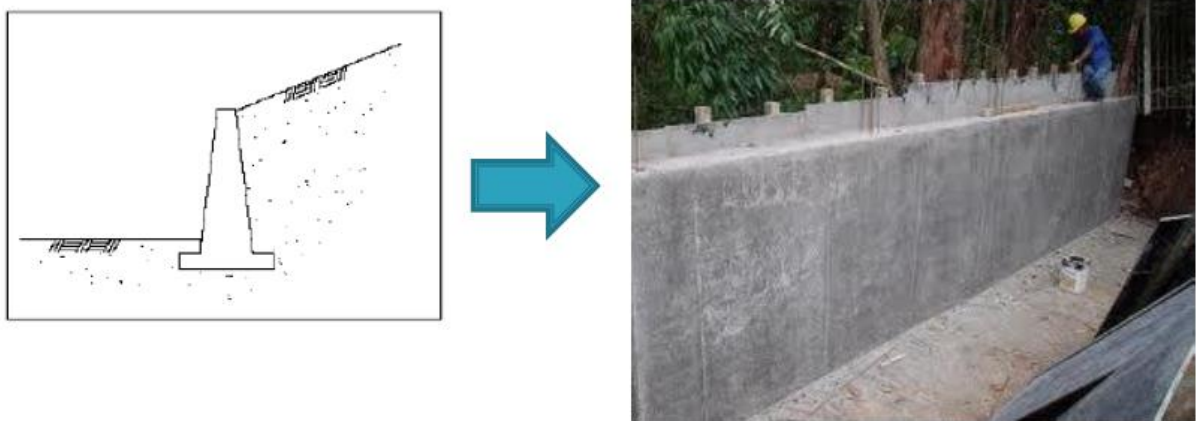


Fonte: Pinto (2012).

4.5.4.2 Muros de gravidade com seção aliviada

A seção deste tipo de muro é reduzida em relação ao muro de gravidade normal, utilizando-se uma armação para absorver os esforços de tração atuantes (PINTO, 2012). Abaixo um exemplo na FIG. 10.

Figura 10 – Muro de gravidade com seção aliviada



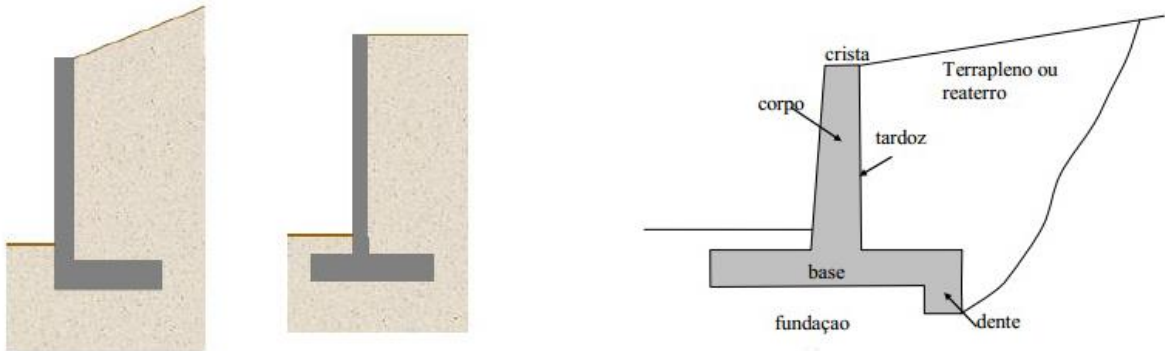
Fonte: Pinto (2012).

4.5.4.3 Muros de flexão

Este tipo de muro possui uma estrutura em concreto armado, normalmente sob as formas de “L” ou “T” invertido FIG. 11 (PINTO, 2012).

De acordo com Gerscovich (2008), os muros de flexão são constituídos de concreto armado, não sendo viáveis economicamente para alturas acima de 5 a 7 metros. A laje de base em geral apresenta largura entre 50 e 70% da altura do muro, e sua face trabalha à flexão. Este tipo de muro pode também ser ancorado na base com tirantes ou chumbadores para melhorar sua condição de estabilidade, geralmente aplicada quando na fundação do muro se encontra rocha sã ou alterada e quando há limitação de espaço disponível para que a base do muro apresente as dimensões necessárias para a estabilidade.

Figura 11 – Perfil de muro de flexão



Fonte: Pinto (2012).

4.5.4.4 Muros de contraforte

Segundo Pinto (2012), são estruturas em concreto armado dotadas de contrafortes FIG. 12, o que possibilita que a rigidez do muro seja aumentada.

Segundo Gerscovich (2008), quando os muros de concreto armado possuem alturas superiores a cerca de 5 metros, é conveniente a utilização de contraforte para aumentar a estabilidade contra o tombamento. Se o muro possui laje de base interna, ou seja, sob o retroaterro, os contrafortes irão resistir a esforços de tração, no caso de laje externa ao retroaterro, os contrafortes resistiram à compressão. Os contrafortes são em geral espaçados de cerca de 70% da altura do muro.

Figura 12 – Muro com contraforte



Fonte: Sope engenharia (2014).

4.5.4.5 Aterros reforçados

São obras de terra cuja execução do aterro é realizada sobre solos de fundação com características de baixo índice de permeabilidade e de resistência ao cisalhamento, e alta deformabilidade, normalmente conhecidos como solos compressíveis. Existem dois tipos: terra armada FIG. 13 e os geossintéticos FIG. 14. O primeiro é constituído por três elementos principais: os reforços, o solo do aterro e os painéis do paramento exterior que são geralmente pré-fabricados. As principais funções dos reforços de um maciço de terra armada são a mobilização por atrito de tensões tangenciais ao longo da sua superfície e a resistência aos esforços de tração, logo, o material utilizado deve ter uma grande resistência à tração, ductilidade, durabilidade e excelente coeficiente de atrito ao solo (SILVA, 2012).

Já o segundo, de acordo com Sieira (2003 apud BARBOSA, 2013) são como elementos planos, produzidos a partir de polímeros sintéticos ou naturais, utilizados em combinação com o solo, rocha e/ou outros materiais geotécnicos. Ainda segundo Barbosa (2013), são

constituídos por materiais designados por plásticos, mais especificamente termoplásticos, que são materiais orgânicos sintéticos derivados do petróleo, estes materiais são compostos poliméricos, cujo monómero-base é uma molécula constituída por átomos de carbono e hidrogênio.

Figura 13 – Execução de terra armada



Fonte: Pinto (2012).

Figura 14 – Aterro de geossintético



Fonte: Tdm brasil (2014).

4.5.5 Estruturas de contenção sem reaterro

São estruturas destinadas a contrapor-se a tensões geradas em um maciço de solo cuja sua condição de estabilidade foi alterada por algum tipo de escavação e eventual reaterro que tenha ocorrido em um de seus lados (TACITANO, 2006).

4.5.5.1 Cortina de estacas – pranchas

Segundo Pinto (2012), são estruturas constituídas por estacas-pranchas adjacentes conforme FIG. 15, normalmente de aço ou de concreto, podendo serem de madeira em obras provisórias, que são cravadas ao terreno e que possuem engates laterais que permitem a conexão entre elas e a formação de uma cortina. Para que não sofram flambagem durante a cravação, as

estacas-pranchas metálicas possuem configurações especiais que lhe garantem a rigidez necessária, mesmo possuindo pequenas espessuras.

Figura 15 – Cortina de estacas-pranchas

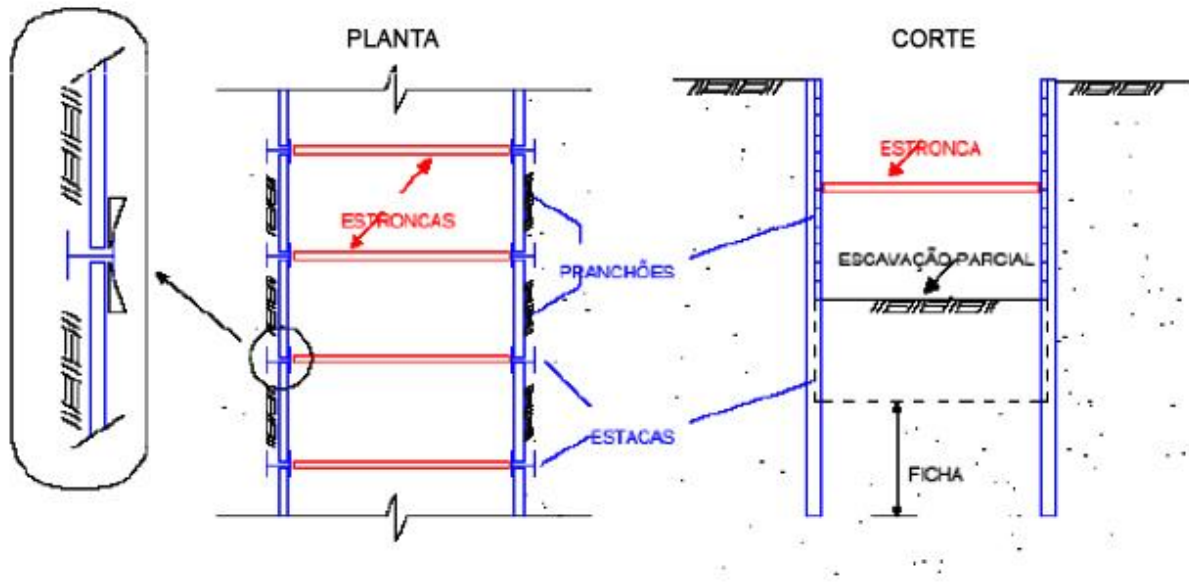


Fonte: Ufsc (2013).

4.5.5.2 Paredes de estacas metálicas com pranchões de madeira

De acordo com Pinto (2012), são constituídas de estacas metálicas, geralmente com sua seção em “H”, cravadas com certos espaçamentos nos limites da área a ser escavada, e logo após executado o cravamento são introduzidos pranchões de madeira entre elas e dispositivos transversais de escoramento conhecidos por estroncas, de acordo com o avanço da escavação, conforme vemos nas FIG. 16 e 17.

Figura 16 – Planta e corte de paredes de estacas metálicas com pranchões de madeira



Fonte: Pinto (2012).

Figura 17 – Execução de parede de estacas metálicas com pranchões de madeira



Fonte: Pinto (2012).

4.5.5.3 Paredes diafragma

São estruturas contínuas de concreto armado, conforme FIG. 18, concretadas em módulos ou painéis antes do início da escavação, normalmente com espessuras entre 0,40 e 1,00m ou mais e largura variando de 2 a 4 metros. Os painéis são escavados por meios de ferramentas especiais, a partir da superfície do terreno, atingindo profundidades superiores a 40 metros, e podem ser executados em sequência ou em trechos alternados (PINTO, 2012).

Segundo Pinto (2012) a estabilidade desta estrutura é garantida pelo preenchimento da escavação com lama bentonítica, constituída por água e bentonita e que apresenta propriedades tixotrópicas, ou seja, a lama tende a manifestar uma certa consistência quando em repouso e perder esta consistência quando agitada durante a escavação.

Figura 18 – Parede diafragma



Fonte: Ufrgs (2011).

4.5.5.4 Muros de estacas escavadas

São estruturas constituídas por estacas justapostas de concreto, conforme FIG. 19, moldadas in situ e escavadas por processo rotativo, utilizando-se revestimento metálico que é recuperado à medida em que se concretiza a estaca ou lama bentonítica quando a concretagem é submersa, por meio da substituição contínua da lama pelo concreto (PINTO, 2012).

Figura 19 – Muro de estacas escavadas



Fonte: Mísula engenharia (2014).

4.5.5.5 Solo grampeado (soil nailing)

De acordo com Pinto (2012) este tipo de estrutura de contenção FIG. 20 aplicado a cortes, contém em sua estrutura chumbadores, concreto projetado e drenagem superficial e

profunda. A execução consiste em fixar a primeira linha de chumbadores, aplicar o revestimento de concreto projetado e executar a drenagem, e assim por diante até chegar ao fundo da escavação, podendo trabalhar de forma ascendente ou descendente, de acordo com a conveniência da obra.

Figura 20 – Solo grampeado (soil nailing)



Fonte: Pinto (2012).

4.5.5.6 Cortinas atirantadas

Segundo Pinto (2012) são estruturas constituídas por placas de concreto que são ancoradas no terreno por tirantes, que transferem por tração esforços para o interior do maciço. Os tirantes podem ser de barra, de fios e de cordoalha e sua instalação ocorre de cima para

baixo, de acordo com o avanço da escavação comumente com um sistema de drenagem associado. Modelo de estrutura conforme FIG. 21.

Figura 21 – Cortina atirantada



Fonte: Pinto (2012).

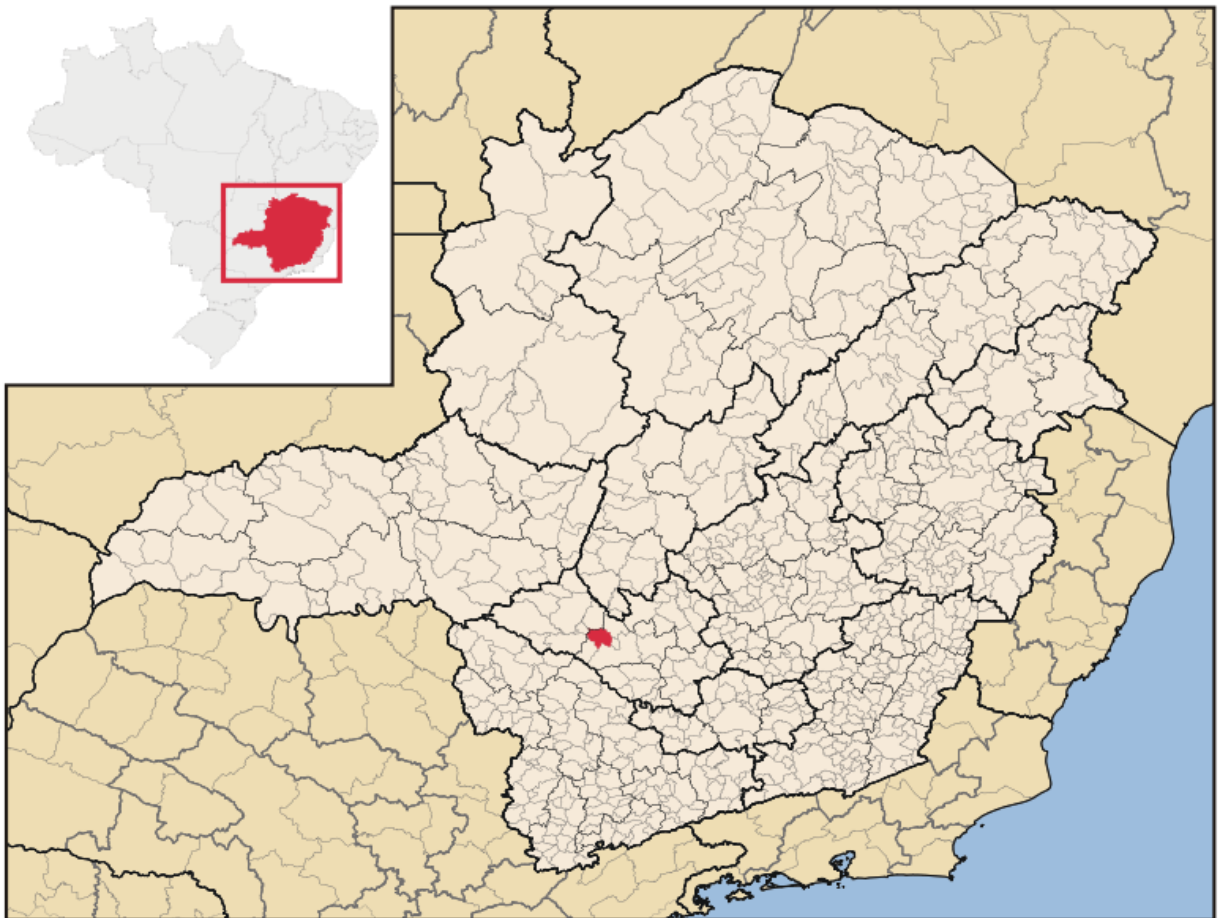
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

5.1.1 Localização

O Município de Pains–MG está localizado na região da Província Carstica do Alto São Francisco na porção centro-oeste do Estado de Minas Gerais/Brasil, a $20^{\circ}22'15''$ de latitude S e $45^{\circ}39'39''$ de Longitude FIG. 22. Com uma população estimada em 2014 de 8.329 habitantes, território de 421.862 km², distante aproximadamente 210 km de Belo Horizonte. A sede do Município está localizada, em média, a 693 metros de altitude. Sua posição é determinada pelas coordenadas geográficas de $19^{\circ}57'52''$ Latitude Sul e $44^{\circ}11'54''$ Longitude Oeste. O Município faz divisas com Formiga, Córrego Fundo, Pimenta, Piumhi, Doresópolis, Iguatama e Arcos (IBGE, 2014).

Figura 22 – Localização do município de Pains no Estado de Minas Gerais e este no mapa do Brasil



Fonte: IBGE (2014).

5.1.2 Clima

O clima predominante na região do município de Pains é temperado brando com verão quente, chuvas concentradas e inverno seco. A temperatura média anual é de 20,7° C, sendo julho o mês mais frio com temperatura média de 16,3° C, e janeiro o mês mais quente com temperatura média de 23,3° C. A precipitação média anual é de 1.427 milímetros (SANTOS, 2002).

5.1.3 Hidrografia

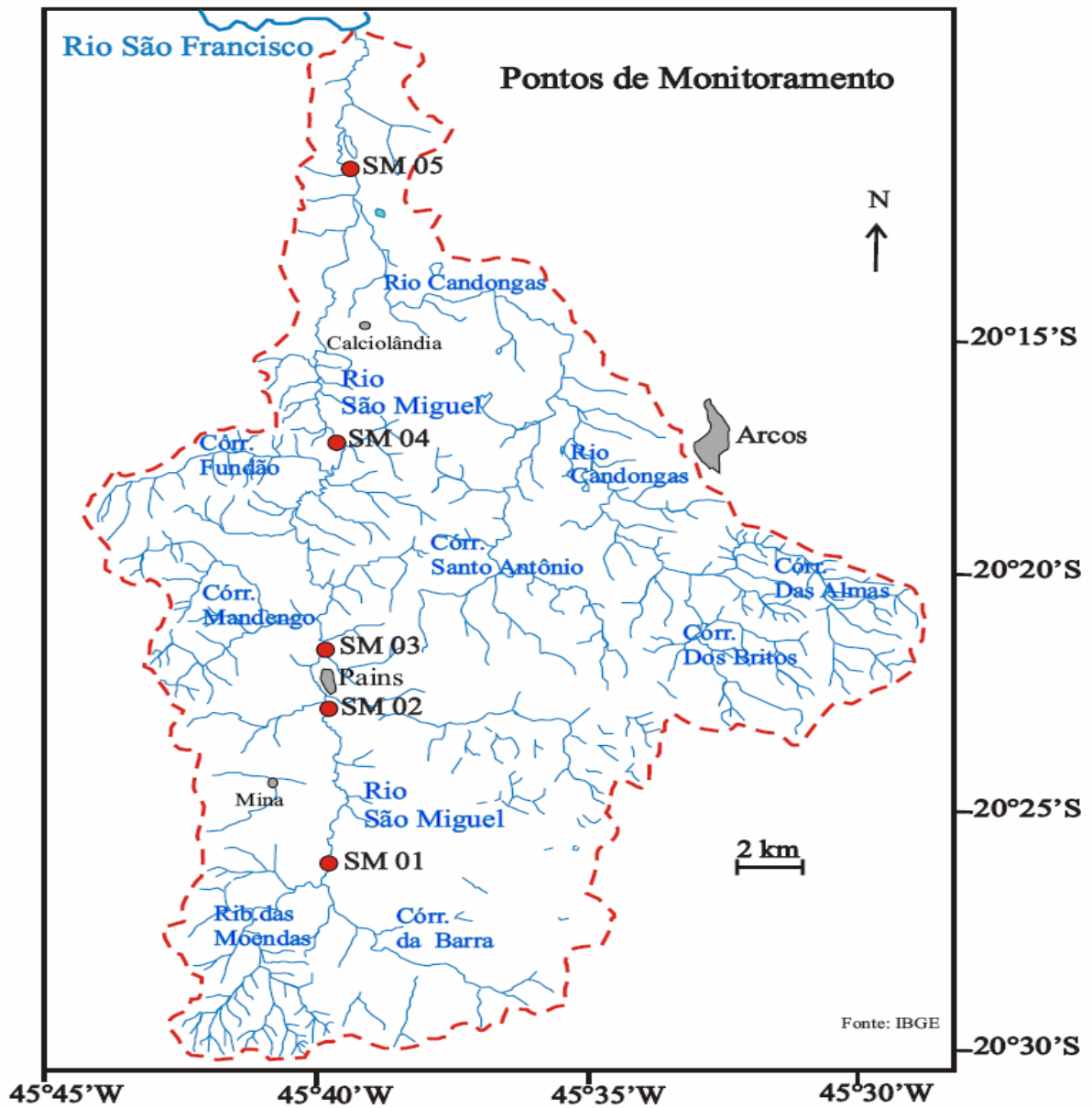
Segundo Freitas (2009), o Rio São Miguel, afluente da margem direita do Rio São Francisco, possui as nascentes ao sul do município de Pains em altitudes em torno de 875 metros. Corre na direção predominante S-N por 53 km, até desaguar no Rio São Francisco, na cota aproximada de 630 metros, o que representa um gradiente hidráulico de 0,216 m/km. Os principais tributários da margem direita são o Rio Candongas e os córregos Santo Antônio e Barra. Na margem esquerda os tributários são os córregos Fundão e Mandembo além do ribeirão Moendas.

A Bacia do Rio São Miguel FIG. 23, com uma vazão média de 7,6 m³/s, conta com uma contribuição subterrânea de 68,5% do escoamento total e 23% da precipitação. A contribuição subterrânea é cerca de 0,166 km³/ano e predomina sobre a superficial durante todo o ano, sendo mais preponderante nos meses mais secos, entre abril e outubro, chegando a 95% em julho e 54% em dezembro. Há um súbito aumento do escoamento subterrâneo entre novembro e dezembro, indicando haver boas condições de recarga (MENEGASSE; GONÇALVES; FANTINEL, 2000).

A bacia hidrográfica do Rio São Miguel possui área de 520 km², localiza-se no extremo sudoeste do cráton do São Francisco, estruturada sobre a sequência neoproterozóica pelítica e rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Apresenta uma rede hidrográfica superficial pouco densa, favorecida pela infiltração direta das águas superficiais nas feições de absorção cárstica, que proporcionadas pela rede interconexões do relevo cárstico com o sistema superficial, atingem o rio São Miguel, nível de base local. A qualidade da água do rio São Miguel é

monitorada pelo IGAM na localidade de Calciolândia, localizada a jusante do município de Pains, através da estação SF002. Permanece desde 2000 com média anual de Índice de Qualidade de Água – IQA – no nível médio (FREITAS, 2009).

Figura 23 – Drenagem Superficial da Bacia do Rio São Miguel



Fonte: Dias e Velásques (2002).

5.1.4 Topografia

Com altitudes que variam de 630 a 875 metros, grande parte da área do município de Pains e na maior parte da bacia do rio São Miguel predomina um relevo cárstico, definido pela dissolução de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. São comuns lapiás, dolinas, uvalas e cavernas. Apenas o extremo leste da área é dominado pelo embasamento cristalino. Ao sul da cidade de Pains as feições cársticas são exuberantes, com escarpamentos dominados por torres e inúmeras dolinas, cavernas e sumidouros (SAADI; MORAIS; CARDOSO, 1998).

Segundo Saadi, Morais e Cardoso (1998), a evolução geomorfológica da área se deu sob influência de atividade neotectônica, num contexto que favoreceu a reativação de estruturas antigas. As várias fases de evolução do carste, durante o terciário e o quaternário, se relacionam, ou com a simples presença de antigas falhas (controle passivo), ou com a movimentação de outras (controle ativo).

5.1.5 Geologia e solos

A Província Cárstica de Arcos - Pains - Doresópolis, onde estão inseridas as duas bacias hidrográficas deste estudo, constitui uma região de ocorrência das rochas carbonáticas e silto-argilosas pertencentes ao Grupo Bambuí (Proterozóico Superior) no limite sudoeste da porção sul do Cráton do São Francisco, em contato com a faixa de dobramentos Brasília, desenvolvida no Ciclo Brasileiro (MENEGASSE; GONÇALVES; FANTINEL, 2000).

Os solos da região cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis possuem grande potencialidade para o uso agrícola devido a gênese proveniente do substrato calcário. Por se tratar de um mineral rico em cálcio, há formação de solos com quantidades maiores de bases trocáveis, como o sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), e este fato é benéfico para o uso agrícola (SANTOS, 2002).

Segundo Santos (2002), entre Arcos e Pains, próximo aos afloramentos calcários, observa-se a presença de cambissolos e neossolos litólicos, ambos eutróficos. Podem ocorrer argissolos vermelho-amarelos eutróficos, apresentando restos de calcários, que são adequados ao uso agrícola, porém susceptíveis a erosão. Os solos distantes dos afloramentos calcários

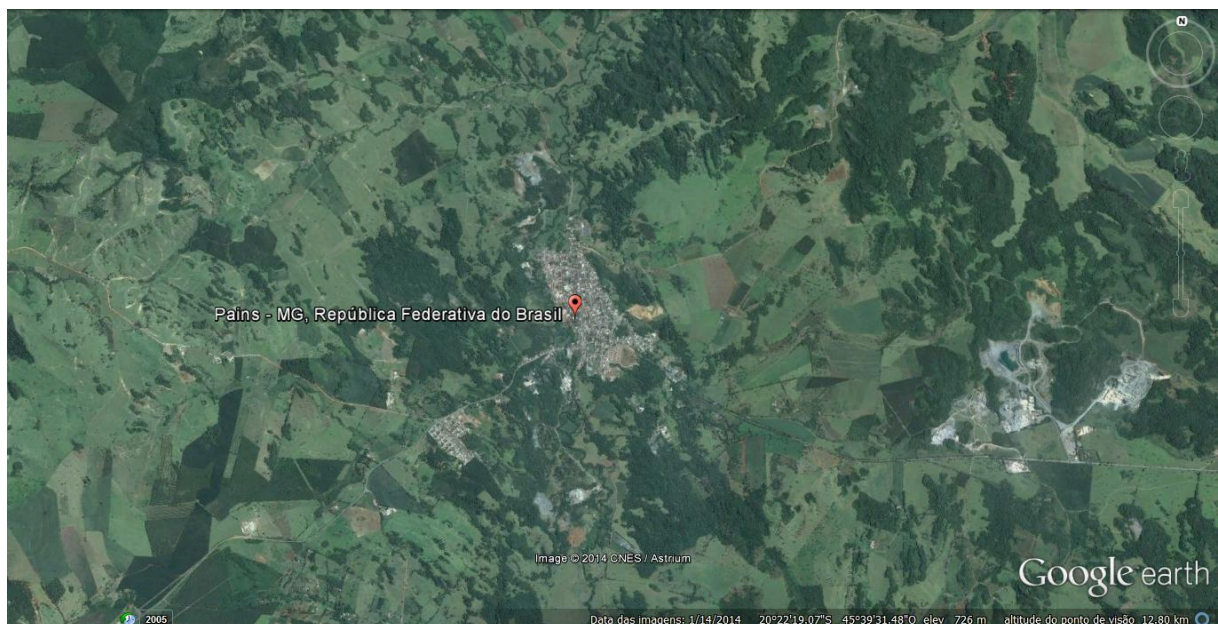
possuem coloração mais avermelhada, são os latossolos vermelho-escuros presentes em relevos planos e os argissolos vermelho-escuros em relevos acidentados. Já entre Pains e Doresópolis observam-se manchas de argissolos vermelho-amarelos e latossolos vermelho-amarelos, ambos distróficos e alicos provenientes de substratos fíliticos.

Nas áreas calcárias observam-se os argissolos vermelho-escuro eutróficos ou distróficos. Há ocorrência de cambissolos nas dolinas aptos as atividades agrícolas menos desgastantes como é o caso da fruticultura. Solos heteromórficos são observados em dolinas pronunciadas e sujeitas a inundações. Em geral são solos ricos do ponto de vista nutricional e susceptíveis a lixiviação de nutrientes por estarem em localidades calcárias com excesso de umidade (SANTOS, 2002).

5.1.6 Mapa da área de estudo

A área de estudos foi delimitada utilizando o software Google Earth e compreende os limites municipais de Pains-MG, conforme FIG. 24.

Figura 24 – Área de estudo



Fonte: Google Earth (2014).

5.1.7 Uso e ocupação do solo

A vegetação nativa da área é do tipo cerrado, com gradações que vão das gramíneas à vegetação densa e de maior porte. No carste verifica-se a ocorrência da vegetação de florestas estacional decidual, sendo este tipo conhecido como “Mata de Pains”. Ocorre entre as altitudes de 500 a 800 metros, revestindo os afloramentos calcários e está relacionada diretamente a fatores climáticos, apresentando fitofisionomia verde nos meses chuvosos e completamente secos durante o período de estiagem (RADAMBRASIL, 1983).

Grande parte da vegetação primitiva foi arrasada e substituída por campos de cultivo de milho e pastagem para criação de gado. As formações florestais ainda existentes estão restritas às margens do Rio São Miguel e aos afloramentos rochosos de calcário que, devido a sua morfologia do relevo apresentam condições impróprias para o uso agrícola, muito embora se perceba a ameaça representada pelo avanço da atividade mineraria (TEIXEIRA; DIAS, 2003).

5.2 Plano amostral

5.2.1 Determinação dos pontos de coleta

Os pontos de coleta dos solos foram estabelecidos a partir do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, especificadamente da região de Pains FIG. 25, onde foram levantadas as áreas que se encontram cada tipo de solos e coletadas tais amostras para análise.

Figura 26 – Amostras deformadas



Fonte: O autor (2014).

5.2.2.2 Amostra indeformada

Segundo a EMBRAPA (2013), a amostra indeformada refere-se à coleta de um “pedaço” de solo ou porção de solo extraída com equipamento especial FIG. 27. Após definida a área de retirada das amostras, foram demarcados 3 pontos de coleta, removeu-se cerca de 5 centímetros de camada superficial do solo. Uniu-se 3 anéis volumétricos de altura de 5 centímetros e foi feita a cravação dos mesmos. Após, retirou-se o solo em volta dos anéis para que fossem removidos com solo indeformado, removeu-se o anel inferior e superior, aproveitando somente o do meio onde continua amostra indeformada dentro da profundidade ideal de 10 a 30 centímetros de solo. O anel foi envolto em tule e colocado num recipiente

vedado para que não perde-se umidade. Os anéis foram levados para laboratório, onde foram feitas as pesquisas necessárias e no final, foi feita a média de cada um dos dados obtidos.

Figura 27 – Amostra indeformada



Fonte: O autor (2014).

5.3 Análises físicas e hídricas do solo

5.3.1 Densidade do solo

Conhecida também por densidade aparente ou densidade global, representa a relação entre a massa de sólidos (M_s) e o volume total (V_t). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico que consiste em coletar uma amostra de solo indeformada em um anel volumétrico de volume conhecido (FERREIRA; JÚNIOR, 2001).

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (1)$$

Em que:

ρ_s = densidade do solo (g cm^{-3})

M_s = massa do solo seco (g)

V = volume total do solo (cm^3)

5.3.2 Densidade de partículas

Conhecida também por densidade real, representa a relação entre massa de sólidos (M_s) e o volume de sólidos (V_s). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (FERREIRA; JÚNIOR, 2001).

$$\rho_p = \frac{M_s}{V_s} \quad (2)$$

Em que:

ρ_p = densidade da partícula (g cm^{-3})

M_s = massa do solo seco (g)

V_s = volume do solo seco (cm^3)

5.3.3 Textura

Para determinação da textura, foi utilizado o método do hidrômetro (Bouyoucos), que baseia-se no princípio de que o material em suspensão (silte e argila) confere determinada densidade ao líquido com a ajuda de um hidrômetro. Neste método se relaciona as densidades com o tempo de leitura e com a temperatura, calculando com esses dados a percentagem das partículas (FERREIRA; JÚNIOR, 2001).

Para classificação do tipo de solo encontrado, foi utilizado o triângulo textural da Embrapa (2013).

5.3.4 Umidade

Para a determinação da umidade, foi utilizado o método da estufa que consiste em se determinar a massa de uma amostra de solo antes e depois da secagem em estufa a 105 – 110°C durante 24 horas ou até massa constante. Assim que determinada a umidade, pode ser expressa à base de peso ou à base de volume (FERREIRA; JÚNIOR, 2001).

Umidade à base de peso ou umidade gravimétrica (U):

$$U\% = \frac{\text{massa de água}}{\text{massa de solo seco em estufa}} \times 100 \quad (3)$$

Umidade à base de volume (θ):

$$\theta\% = \frac{\text{volume de água}}{\text{volume de solo seco em estufa}} \times 100 \quad (4)$$

5.3.5 Porosidade

Para a determinação da porosidade, foi utilizada a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume total (V_t) das amostras dos solos (CAPUTO, 1988).

$$n\% = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

n = porosidade (%)

V_v = volume de vazios (cm^3)

V_t = volume total (cm^3)

5.3.6 Índice de vazios

Para a determinação do índice de vazios, foi utilizada a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume da parte sólida de um solo (V_s) (CAPUTO, 1988).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (6)$$

Em que:

e = índice de vazios (adimensional)

V_v = volume de vazios (cm^3)

V_s = volume dos sólidos (cm^3)

5.3.7 Relação Silte/Argila

Para determinação da relação silte/argila, os dados foram obtidos da análise granulométrica. É utilizada como indicativo do grau de intemperismo do solo, sendo que valores abaixo de 0,7 para textura média e 0,6 para textura argilosa indicam solos com grau de intemperismo adiantado, podendo-se também avaliar se há movimentação de argila no perfil (EMBRAPA, 1997).

$$R = \frac{\text{Teor de silte}}{\text{Teor de argila}} \quad (7)$$

5.4 Determinação dos empuxos

Segundo Onodera (2005), em relação ao dimensionamento de uma estrutura de contenção pode-se dizer que existem três grupos básicos de métodos com características bem distintas: métodos clássicos, métodos modernos e métodos empíricos, conforme descrição adiante:

Métodos clássicos como o de Rankine, Coulomb, etc., cujas teorias permitem o cálculo de empuxos ativos e passivos com base apenas em parâmetros geotécnicos simples. Essa simplicidade faz com que esses métodos continuem a ser empregados. A grande vantagem dos métodos clássicos é que se baseiam apenas nos parâmetros de resistência ao cisalhamento: coesão, ângulo de atrito interno e massa específica, além de serem métodos de dimensionamento direto, fornecendo como resultado dos cálculos as dimensões da estrutura;

Métodos modernos (ou métodos numéricos) surgiram com o aparecimento dos computadores e começaram a ser utilizados permitindo levar em conta características de deformabilidade dos maciços e das contenções, dando origem a cálculos de interação entre o maciço e estrutura. Esses métodos exigem uma caracterização dos maciços através de parâmetros geomecânicos que possam descrever as leis de interação “solo-estrutura”. Tais parâmetros são mais difíceis de obter, exigindo ensaios mais sofisticados, além de medidas de deformações e deslocamentos em estruturas reais;

Métodos empíricos se valem de medições feitas em modelos, entre os quais cabe referir-se ao que foi publicado por Reimbert (1969 apud RANZINI, 1998) para materiais pulverulentos (não coesivos), além de modelos ensaiados em centrífugas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pontos de coleta e suas respectivas coordenadas UTM, bem como suas altitudes, estão dispostos na TAB. 3.

Tabela 3 – Coordenadas dos pontos de coleta

LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA			
Ponto	Coordenadas UTM (Zona 23K)		Altitude (m)
Amostra 1	0427253	7746492	733
Amostra 2	0429996	7746371	664

Fonte: O autor (2014).

Na TAB. 4 são apresentados a classificação textural, densidade do solo e de partículas, umidade gravimétrica e volumétrica, porosidade, índice de vazios e relação silte/argila, nos solos dos dois pontos amostrados.

Tabela 4 – Parâmetros físicos dos solos

Parâmetros	Amostra 1 Argissolo	Amostra 2 Latossolo
Textura		
Areia (%)	6,03	9,60
Silte (%)	41,30	32,57
Argila (%)	52,67	57,83
Classificação Textural	Argilo-siltosa	Muito-argilosa
ρ_s (g/cm³)	1,26	1,13
ρ_p (g/cm³)	2,73	2,35
U (%)	20,29	21,79
θ (%)	25,57	24,69
n (%)	53,81	51,88
e	1,18	1,08
S/A	0,81	0,57

Fonte: O autor (2014).

Nota: ρ_s : densidade do solo; ρ_p : densidade de partículas; U: umidade gravimétrica; θ : umidade volumétrica; n: porosidade; e: índice de vazios; S/A: relação silte/argila.

Diante dos dados apresentados na TAB. 4, vemos que ambos os solos possuem um baixo teor de areia em sua composição. A Amostra 1, da região de argissolo, possui teores de silte e argila bem próximos, contendo a predominância de argila. Já a Amostra 2, da região de latossolo possui uma boa diferença no teor de silte para o de argila, contendo mais ainda a predominância de argila nesta amostra do que na anterior. De acordo com Al-Shayea (2001), quanto maior o teor de argila, menor o ângulo de atrito interno do solo, pois as partículas de argila revestem a superfície das partículas de areia, diminuindo o atrito interno do solo. Vemos que nessa comparação dos teores de silte e argila na relação silte/argila feita, a Amostra 1 possui uma

relação bem maior que a Amostra 2 devido a aproximação da porcentagem de teor de ambos elementos constituintes do solo.

De acordo com a tabela de classificação textural da Embrapa (2013), a Amostra 1 da região de argissolo é um solo argilo-siltoso, e a Amostra 2 de latossolo é um solo muito-argiloso. De acordo com Nogueira (1988), o solo possui concepções diferentes para o geólogo, engenheiro agrônomo e civil. Para o engenheiro civil, solo é entendido como todo material encontrado na camada superficial da crosta terrestre, sendo facilmente removido por um instrumento cortante qualquer e formado por elementos pertencentes às fases sólida, líquida e gasosa. Logo, para um engenheiro civil, a importância maior da classificação textural de um solo não é a classificação empregada pela Embrapa (2013), e sim os índices que predominam e determinam qual o tipo de solo que se está trabalhando, como feito anteriormente.

Quanto maior a umidade no solo todo em si, pior para uma obra de contenção, segundo Barros (2006) a presença de água no solo influencia o comportamento das estruturas de contenção de várias maneiras. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, em particular a coesão, diminuem quando a umidade aumenta. Também o peso específico do solo é aumentado pela presença de água nos vazios. Aumentando o peso do solo e perdendo a coesão das partículas de silte e argila, o empuxo na obra de contenção aumentará drasticamente.

A Amostra 1 é mais densa, porosa e possui um índice de vazios maior que da Amostra 2. Ambos os solos possuem mais poros que partículas, cerca de 54% da Amostra 1, e 52% da Amostra 2, em outras palavras, o volume de poros é maior que o volume de sólidos, e, com essa relação se obtém o índice de vazios, no qual o mesmo indica que a Amostra 1 possui 1,18, ou seja, 18% a mais de vazios, e a Amostra 2 possui 1,08, ou seja, 8% de vazios a mais que sólidos.

A Amostra 1 é mais densa e mais porosa, e a Amostra 2 é menos densa e menos porosa. No entanto, uma característica textural importante é observada, pois ambos possuem baixos teores de areia, o que afeta diretamente no atrito do solo, sendo baixo.

Em obras de contenção, os empuxos de terra são os fatores mais importantes para a definição da estrutura. Segundo Barros (2006), entende-se por pressão lateral de terra também comumente chamado de empuxo lateral ou empuxo de terra, como sendo o esforço produzido por um maciço de solo sobre uma determinada estrutura de contenção ou arrimo que deve suportá-lo. Essas pressões podem ser devidas ao peso próprio do solo ou a sobrecargas aplicadas sobre ele. O valor do empuxo sobre uma estrutura depende do deslocamento que esta sofre sob a ação deste empuxo.

Na TAB. 2 do item 4.5.3 são mostrados valores típicos do deslocamento “ Δ ” da estrutura necessários para se alcançar a completa mobilização da resistência do solo e se alcançar os estados ativo e passivo.

De acordo com Barros (2006), os muros de arrimo à gravidade em geral permitem a deformação do solo arrimado o suficiente para que sua resistência seja totalmente mobilizada. Assim devem ser dimensionados sob a ação do empuxo ativo. Para determinação dos empuxos, de acordo com Onodera (2005), existem três grupos básicos de métodos com características bem distintas: métodos clássicos, métodos modernos e métodos empíricos, conforme descritos no item 5.4.

Os solos estudados possuem uma alta porosidade, onde, gases e líquidos podem ocupar esses espaços. A influência da água é marcante na estabilidade dos muros de arrimo, já que o acúmulo de água por deficiência de drenagem pode duplicar o empuxo atuante sobre o muro. Lambe & Whitman (1979) citam que, à medida que o teor de água do solo aumenta, a água age como lubrificante entre as partículas do solo, diminuindo o atrito entre elas. Assim, a execução de um sistema eficaz de drenagem é imprescindível.

De acordo com Silva (2003), a drenagem pode ser feita de diversas maneiras. Alguns tipos de contenção, como os muros de pedras secas, gabiões e crib-walls, são auto drenantes, tendo em vista o material que empregam. Entretanto, mesmo nesses muros, é indicada a execução de canaletas no topo e na base do talude, para captar águas superficiais e evitar o rompimento das fundações do muro.

Também é indicada a execução de dreno de areia entre o solo e a estrutura para a coleta de água subterrânea, podendo ser acrescentada uma camada de manta geotêxtil para evitar o carreamento do solo. Em estruturas impermeáveis, como muros de concreto, pedra argamassada, concreto ciclópico, cortinas atirantadas ou mesmo muros de solo-cimento, devem ser acrescentados a esse conjunto de medidas os barbacãs. Esses elementos são tubos horizontais curtos instalados na parte inferior da estrutura de contenção para evitar o acúmulo de água junto à base. O número e diâmetro dos barbacãs variam de acordo com a dimensão da estrutura de contenção. A durabilidade da obra depende ainda da manutenção para evitar colmatação (entupimento) dos drenos.

De acordo com os critérios de escolha de obras de contenção, os que envolvem diretamente com a associação de solo/estrutura são: natureza e características do solo a ser arrimado; natureza e características do solo de fundação.

Para a Amostra 1 de solo argilo-siltoso e a Amostra 2 de solo muito-argiloso, as obras de contenção que melhor se adaptam e as que não se adaptam são as mesmas. Para as obras com reaterro, devido à falta de atrito, quando a estrutura receber o empuxo ativo necessitará de um empuxo passivo para que haja equilíbrio da estrutura, logo se a estrutura for muito robusta, a mesma sofrerá deslizamento, que segundo Barros (2006), ocorre quando a resistência ao escorregamento ao longo da base do muro, somada ao empuxo passivo disponível à frente da estrutura, é insuficiente para neutralizar o efeito do empuxo ativo atuante. Logo, obras de contenção mais apropriadas seriam muros com seções aliviadas.

Associando a seções aliviadas, nota-se que ambos tipos de solos são porosos, e necessitam de drenagem, deve-se portanto, utilizar métodos de drenagem apropriados a cada tipo de muro. E como citado anteriormente, segundo Silva (2003), muros como gabiões e crib-wall são auto drenantes, dependendo de qual seja o material de enchimento de ambos.

Logo, para o solo argilo-siltoso e muito-argiloso, as obras de contenção devem possuir seções aliviadas e uma boa drenagem. Todos os muros de gravidade podem ser utilizados, mas devem seguir as premissas destacadas. Muros de gabiões e crib-wall são as melhores escolhas por serem teoricamente auto drenantes.

Para as obras sem reaterro, o fator importante é novamente a falta de atrito no solo. Obras como parede diafragma, solo grampeado e cortinas atirantadas necessitam de chumbadores no solo para que tenham estabilidade, como o solo não possui atrito, os chumbadores não terão a eficiência esperada. Segundo Barros (2006), estruturas como as cortinas de estacas e paredes diafragma geralmente recorrem a métodos de suporte auxiliares para manterem-se estáveis. De acordo com Silva (2003), os tirantes são elementos lineares introduzidos no solo a ser contido, e ancorados no maciço por meio de um trecho alargado chamado de bulbo. Trabalham à tração, e podem ser escolhidas como suporte às estroncas se for julgada a solução mais adequada. O tirante é um elemento linear capaz de transmitir esforços de tração entre suas extremidades: a extremidade que fica fora do terreno é a cabeça, e a que fica enterrada é conhecida como bulbo de ancoragem. A grande maioria dos tirantes é constituída por um ou mais elementos de aço, geralmente barras, fios ou cordoalhas. O bulbo de ancoragem, na grande maioria das vezes é constituído por nata de cimento, aderindo-se ao aço do tirante e ao solo, mas, quando executa a injeção da nata de cimento para o bulbo de ancoragem, existe a possibilidade de levantamento da superfície do terreno sobre os tirantes em locais de solo argiloso, podendo resultar em danos em edificações vizinhas apoiadas sobre esse terreno.

Para obras sem reaterro, tirantes não são muito apropriados aos solos estudados, devido à falta de atrito necessária e do risco de levantamento da superfície do terreno com a injeção da nata de cimento.

Logo, para o solo argilo-siltoso e muito-argiloso, as obras mais viáveis são as cortinas de estacas-pranchas, paredes de estacas metálicas com pranchões de madeira e muro de estacas escavadas, pois nenhuma necessita de ancoragem ao solo, estabilizando com seus próprios perfis de estacas.

Finalmente, as obras de contenções associadas aos solos argilo-siltoso e muito-argiloso foram os muros de gravidade, contentando seções aliviadas e drenagem, e muros de estacas, pois somente seu perfil já contém o solo, não necessitando de serem ancorados.

7 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A taxa de atrito em ambos os solos estudados é baixa devido ao reduzido teor de areia;
- As baixas taxas de atrito nos solos estudados demonstram que obras robustas e obras ancoradas não são viáveis;
- As obras com reaterro devem ter seções otimizadas para que se evite escorregamento pela falta de empuxo passivo;
- As obras sem reaterro devem ser de estacas cravadas que contém o solo com seu próprio perfil sem ancoragem;
- Devido à alta porosidade dos solos estudados, é indispensável a utilização de drenagem junto as contenções;
- Devido ao alto índice de vazios, a compactação dos solos em estudo aumentará a resistência e diminuirá os poros para percolação da água.

REFERÊNCIAS

- AL-SHAYEA, N.A. **The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils**. Engineering Geology, v.62, p.319-342, 2001.
- BARBOSA, I. L. L. F. **Muros de contenção com geossintéticos em aterros sobre solos moles reforçados com colunas de jet grout**. 131p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2013.
- BARROS, P. L. A. **Obras de contenção: manual técnico**. Jundiaí, SP: Maccaferri, 2006. 219p.
- BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do solo**. São Paulo, SP: Ícone Editora, 2005. 355p.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 233p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Solos**. Manual de métodos de análise de solo. 2. Ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento. 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. 2013. 353p.
- FERREIRA, M. M.; JÚNIOR, M. de S. D. **Física do solo**. Lavras, MG: Editora Ufla, 2001. 117p.
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2. ed. Rev. e ampl. Curitiba: UFPR, 2009. 602p.
- FREITAS, P. M. C. de. **Estudo de intercomunicação hidráulica superficial – subterrânea no carste da área periurbana de Pains/MG, utilizando-se traçador rodamina WT**. 76 p. Tese (Dissertação de Mestrado). UFMG. Belo Horizonte. 2009.
- GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo**. 48p. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2008.
- GOOGLE EARTH. **Imagens 2014**. Acesso em: 09 set. 2014.
- _____. **IBGE Cidades**. 2014. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/2EBX>>. Acesso em 08 set. 2014.
- LAMBE, T.W.; WHITMAN, R.V. **Soil mechanics, SI version**. New York: John Wiley, 1979. 553p.

- LEPSH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010. 215p.
- MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. **Avaliação das disponibilidades hídricas da província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil**. 2000. 18 p.
- MONIZ, A. C.; MEDINA, H. P. et al. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. 459p.
- NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1988. 197p.
- ONODERA, L. T. **O uso de gabiões como estrutura de contenção**. 2005. 62p. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.
- PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006. 367p.
- PINTO, D. B. F. **Notas de aula**. Disciplina: Obras de Terra. 2012. 46p. Centro Universitário de Formiga.
- RADAMBRASIL. **Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra**. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, 1983. 780 p.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. rev. Lavras: UFLA, 2007. 322p.
- RIBEIRO, K.D. **Mecânica dos solos**. 2013. 79p. Notas de aula – Centro Universitário de Formiga – UNIFOR, Formiga, 2013.
- SAADI, A.; MORAIS, M. S., CARDOSO, G. G. C. **Evolução morfotectônica e carstogênese na região de Arcos Pains e Doresópolis**. In: II Simpósio Nacional de Geomorfologia, Florianópolis, 1998.
- SANTOS, C. I. F. **As relações entre endocarste e exocarste na província cárstica de Arcos – Pains – Doresópolis/MG**. 69 p. Tese (Dissertação de Mestrado). UFMG. Belo Horizonte. 2002.
- SILVA, D. A. **ECV 5356 - Técnicas de construção civil I**. 2003. 102p. Notas de aula – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- SILVA, N. H. **Muros de terra armada: verificação da segurança**. 105p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Nova de Lisboa. 2012.

TACITANO, M. **Análise de paredes de contenção através de método unidimensional evolutivo**. 268p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. 2006.

TEIXEIRA, P. S. D.; DIAS, M. S.. **Levantamento espeleológico da região cárstica de Arcos, Pains, Doresópolis, Córrego Fundo e Iguatama, frente as atividades degradadoras**. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia, Januaria, MG. Sociedade Brasileira de Espeleologia. 2003. p. 193-199.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <<http://www.dps.ufv.br/docs/Folha%203.pdf>>. Folha 3. Acesso em: 30 abr. 2014.**

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.