

Estabilidade de Taludes do Aterro de Resíduos da Construção Civil no Jardim Chapadão em Bauru-SP

Slope Stability of Civil Construction Waste Landfill at Jardim Chapadão in Bauru-SP

Estabilidad de taludes del relleno sanitario de residuos de construcción civil en Jardim Chapadão en Bauru-SP

Nelson Júlio Silveira Silva

Especialista em Certificações Ambientais e Perícias em Engenharias, UNESP, Brasil
andremquintana@gmail.com

Celso Antonio Donizeti da Silva

Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, UNESP, Brasil
rosane.battistelle@unesp.br

Edvaldo José Scoton

Professor Doutor, UNISAGRADO, Brasil.
edvaldo.scoton@unisagrado.edu.br

RESUMO

O processo de ocupação, desde 1998, no município de Bauru, em alguns casos; ocorreu de forma inadequada, com um procedimento sem nenhum planejamento e se ocupando de espaços até então tidos como adequados à finalidade de suportar o despejo de tais resíduos inertes, bem como a possibilidade da recuperação ambiental do local. Este trabalho diz respeito à finalização do processo de recuperação da “cava do Jardim Chapadão”, em especial à avaliação técnica e científica das estabilidades dos diversos taludes finalizados e que cujos platôs deverão receber uma camada de vegetação com a finalidade de recuperar parte do bioma local. A partir dos ensaios realizados das amostras coletadas “in loco”, os resultados demonstraram um ângulo de atrito interno de 75°, superior ao ângulo de 45° dado como limite para o terreno seco em solo do tipo areia e argila. Dessa forma, conclui-se que no perfil crítico da poligonal, o talude apresenta instabilidade e, portanto, são sugeridas medidas com o objetivo de se atingir a estabilidade e auxiliar na recuperação do bioma local.

PALAVRAS-CHAVE: Degradação do solo. Recuperação de área degradada. Ocupação do solo.

SUMMARY

The occupation process, since 1998, in the municipality of Bauru, in some cases; it occurred inappropriately, with a procedure without any planning and dealing with spaces previously considered adequate for the purpose of supporting the dumping of such inert waste, as well as the possibility of environmental recovery of the place. This work concerns the finalization of the recovery process of the “Jardim Chapadão pit”, in particular the technical and scientific assessment of the stability of the various finished slopes and whose plateaus should receive a layer of vegetation in order to recover part of the local biome. From the tests carried out on the samples collected “in loco”, the results demonstrated an angle of internal friction of 75°, superior to the angle of 45° given as limit for the dry ground in sand and clay type soil. Thus, it is concluded that in the critical profile of the polygonal, the slope presents instability and, therefore, measures are suggested in order to achieve stability and assist in the recovery of the local biome.

KEYWORDS: Soil degradation. Recovery of degraded area. Soil occupation.

RESUMEN

El proceso de ocupación, desde 1998, en el municipio de Bauru, en algunos casos; Ocurrió de manera inapropiada, con un trámite sin planificación alguna y atendiendo espacios previamente considerados adecuados para sustentar el vertido de dichos residuos inertes, así como la posibilidad de valorización ambiental del lugar. Este trabajo se refiere a la finalización del proceso de recuperación del “Pozo Jardim Chapadão”, en particular la evaluación técnica y científica de la estabilidad de los diversos taludes terminados y cuyas mesetas deben recibir una capa de vegetación para recuperar parte del bioma local. De las pruebas realizadas a las muestras recolectadas “in loco”, los resultados demostraron un ángulo de fricción interna de 75°, superior al ángulo de 45° dado como límite para el suelo seco en suelos arenosos y arcillosos. Así, se concluye que en el perfil crítico de la poligonal, el talud presenta inestabilidad y, por lo tanto, se sugieren medidas para lograr la estabilidad y ayudar en la recuperación del bioma local.

PALABRAS CLAVE: Degradação del suelo. Recuperación de área degradada. Ocupación del suelo.

1 INTRODUÇÃO

As implantações de aterros de resíduos da construção civil, conhecidos como RCC, fazem parte da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010), dentro do planejamento e manuseio ambiental urbano preconizando dentro de “seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis”.

No entanto, o processo de ocupação, desde 1998, no município de Bauru, em alguns casos; ocorreu de forma inadequada, com um procedimento sem nenhum planejamento e se ocupando de espaços até então tidos como adequados à finalidade de suportar o despejo de tais resíduos inertes, bem como a possibilidade da recuperação ambiental dos mesmos.

A necessidade de caixas de empréstimos de solo para servir às necessidades das obras municipais, anteriores ao ano de 1998, para atender aterros de cabeceiras de pontes, correções de terrenos para praças, escolas, creches, bem como a recomposição da estrutura básicas de estradas e ruas afetadas pelos efeitos erosivos provenientes das chuvas intensas das quais o município de Bauru sempre se vitimou; conduziu as empresas e instituições particulares e municipais locais a explorarem, em diversos pontos no limite do perímetro urbano, a remoção de grandes volumes de solo.

A remoção destes volumes comprometeu as características locais das quadras escolhidas, em paisagem e relevo, promovendo altíssimos impactos ambientais em nível de fauna e flora nos locais chamados de “cavas”.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, em atuação conjunta com a Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SEMMA, desenvolveu um trabalho no qual versava na identificação destas “cavas”, e notificou a quem de direito a proceder aos projetos de recuperação ambiental com recomposição da fauna e flora local, bem como ao relevo e paisagem dos biomas afetados.

Desta forma, se identificou, em 2003, a “cava do jardim Chapadão”. Esta cava tem como origem um processo desordenado de retirada de solo, após remoção da vegetação local, com a finalidade de servir como material para aterros e recomposição de processos erosivos em estradas e ruas no município de Bauru.

Este trabalho diz respeito à finalização do processo de recuperação da “cava do Jardim Chapadão”, em especial à avaliação técnica e científica das estabilidades dos diversos taludes finalizados e que cujos platôs deverão receber uma camada de vegetação com a finalidade de recuperar parte do bioma local.

Se valendo de uma fase final de recuperação do volume retirado na década de 90 até o ano de 2003, em uma área dentro do bioma da serra do mar, no jardim Chapadão, cidade de Bauru; atendendo às leis ambientais e às notificações da CETESB e SEMMA, a cava do Jardim Chapadão foi interditada e dentro das diversas possibilidades de “tratamento”, serviu à empresa Associação dos Transportadores de Entulhos e Agregados de Bauru (ASTEN) para ser utilizada como depósito de RCC, como preconiza a Lei Nacional dos Resíduos Sólidos.

Para tanto, estudos ambientais pertinentes à necessidade da perfeita caracterização da área afetada habilitaram a ASTEN ao processo de ocupação, promovendo o depósito assistido de caçambas e caminhões das mais diversas capacidades na área em questão.

Resultante do processo natural do intemperismo ou também meteorização das rochas pela sua desintegração mecânica e decomposição química, o solo possui propriedades variadas para cada região. Seu estudo consiste na determinação destas características para um conhecimento técnico e específico do local em análise (CAPUTO, 1987). Segundo o mesmo autor, a identificação e determinação destas propriedades físicas demandam grande trabalho, levando em consideração que há a interferência de vários fatores atuantes, tais como os

minerais constituintes, estrutura, textura, condições químicas e físicas resultantes do intemperismo, dentre outras.

A área hoje se encontra em seu limite de ocupação, tendo-se grande volume sedimentado de entulhos provenientes das atividades construtivas no município de Bauru. Assim, a CETESB e SEMMA solicitaram estudos de finalização dos diversos aterros e depósitos no local, devendo ser avaliada a estabilidade dos diversos taludes e platôs formados.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho possui como objetivo avaliar a estabilidade de taludes formados por resíduos de construção civil, resultantes de entulhamento, através do estudo de dados coletados “in loco” na cava do Jardim Chapadão, na cidade de Bauru.

3 METODOLOGIA

A área ocupada pela Cava do Chapadão (Figura 6) possui uma variação do volume estocado uma vez que o relevo do local varia e a alteração do cenário foi intensa (em dados coletados de 2014 a 2020). Em alguns pontos tem-se uma altura de aproximadamente 10,0m e em outros uma altura de 3,5m. Algebricamente, adotou-se uma média de 6,5m; para os demais lados, de forma recorrente, adotou-se uma altura de 2,0m. A superfície final, devidamente corrigida receberá uma camada de 1,0m de material de cobertura. Com os últimos resultados coletados pela empresa IGL – Ambiental, a área de superfície da cava é de 48.647,813m², o que projeta em estimativa o acondicionamento de um volume de 316.210,78m³.

A Figura 1 apresenta a vista aérea dos taludes de empilhamento da ATT-RCC, sendo que a sobra visível possui em média de altura 6,5m e área dos platôs de aproximadamente mais de 48,6 mil m² (IGL-Ambiental)

Figura 1- Localização da ATT-RCC-ASTEN (2020)



Fonte: IGL - Ambiental (2020)

O formato da estrutura entulhada e totalmente irregular e o volume disponível assemelham-se a um tronco de pirâmide bem irregular em vários pontos, prevalecendo cortes longitudinais e transversais no formato de trapézios irregulares. No relatório de 2014, estimava-se um volume natural (considerando a área sem nenhuma intervenção e projetando e reconstruindo as curvas de níveis do local), escavado de 488 m³ (considerando o empolamento abaixo de 0,28).

3.1 Caracterização geológica da região

Embora regionalmente ocorram outras formações rochosas, a cidade de Bauru e seu entorno apresentam como substrato rochoso os arenitos do GRUPO BAURU (Formação Marília nas partes topograficamente mais elevadas – cota superior a 540 m. em média, e Formação Adamantina nas partes topograficamente mais baixas. O solo ocorrente é predominante uma areia média e fina argilo-siltosa de fofa a muito compacta avermelhada resultante da ação de agentes externos que atuaram no substrato rochoso, como se pode verificar no resultado de ensaio em anexo das amostras coletadas em 3 pontos dentro do terreno onde atua a ASTEN).

A área do empreendimento apresenta como substrato rochoso a Formação Marília, de idade cretáceo superior, que é constituída por arenitos, conglomerados e lamitos, intercalados entre si, sucessivamente, sendo que em direção ao topo, predominam arenitos imaturos.

Os conglomerados apresentam seixos de composição variada, estando agrupados próximo aos paleoaltos, sendo os seixos geralmente de quartzo, calcedônia, quartzo e arenito e algumas vezes, de calcário e argilitos. Os arenitos são de granulação fina a grossa, frequentemente conglomeráticos (seixos de quartzo, basalto, quartzito, gnaiss, arenito, argilito), com cimento carbonático, de cores bege, cinza claro e vermelho quando alterado. Os grãos de quartzo, feldspato (até 20%), magnetita, illmenita e piroxênio, no geral, são sub-angulares, mal selecionados e, os arenitos têm localmente, matriz argilosa e siltosa em quantidade notável. Suas propriedades texturais e mineralógicas são de arenitos imaturos.

Alteram-se com facilidade, originando solos residuais avermelhados de grande espessura. Apresentam-se estruturadas em bancos com espessura média de um metro. São maciços, com estratificação paralela incipiente e descontínua. Localmente pode apresentar estratificação cruzada de porte médio com níveis de seixos concentrados na base e nos estratos cruzados.

Devemos ressaltar a presença de estruturas nodulares carbonáticas centimétricas que predominam no topo dos bancos (platôs). Também é comum a intercalação de bancos arenosos. Ainda que os argilitos (lamitos) são comuns, tendo coloração variegada, porém, geralmente cinzas. Comumente são arenosos.

A Formação Marília ocupa as cotas topograficamente mais elevadas (superiores a 510 m em Bauru). Porém, apresenta-se bastante lixiviada, originando solo avermelhado de grande espessura. Quando a ação intempérica foi pequena, temos rocha muito próxima à superfície, originando relevo “movimentado”, com escarpas bem delineadas. Regionalmente, esta formação pode atingir espessura de 200 metros, embora em Bauru os valores máximos fiquem entre 80 e 90m.

O contato basal da Formação Marília com Formação Adamantina é transicional, pois na parte superior da Formação Adamantina (topo da Fácies Taciba) há intercalações de arenitos calcíferos com nódulos carbonáticos até predominar a litologia típica do Marília.

O contato superior é com o cenozóico e definida por uma superfície erosiva irregular, com linha de seixos. Baseado no conteúdo fossilífero e a contribuição do vulcanismo alcalino neo-cretáceo, esta formação é datada como cretáceo superior.

Quanto à origem local, atribuem um ambiente de leques aluviais, justificando através da litologia, granulometria e estruturas sedimentares que indicam correntes de elevada velocidade associada à carga elevada com transporte e rápida sedimentação, conforme Figura 7. O clima árido à semiárido com regime torrencial é inferido pelo baixo teor de matriz solo.

Os nódulos carbonáticos arenosos mais abundantes no topo dos corpos arenosos, sugere origem epigenética, em virtude da prolongada exposição das areias a processos pedogenéticos do tipo caliche.

3.2 Geomorfologia local

Bauru se encontra localizada na parte central do Estado de São Paulo, situada na bacia do Paraná, na província geomorfológica denominada Planalto Ocidental Paulista – zona áreas Indivisas, constituindo relevo de degradação em planaltos dissecados. No local de análise, apresenta relevo colinoso (predominância de baixas declividades – até 15 % e amplitudes locais inferiores a 100,0m) com colinas amplas onde predominam interflúvios com área superior a 200 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos, consequentes da litologia. Drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

3.3 Sondagem a percursão – método SPT

A determinação da resistência do solo à penetração do barrilete (SPT), foram executadas com amostrador de 50.8mm e 34.9mm de diâmetro externo e interno respectivamente, usando-se para cravá-lo o impacto de um peso de 65 kg em queda livre (vertical) a uma altura de 75cm, sendo sua resistência expressa em números de golpes/cm de penetração. Foi ainda utilizado revestimento de 64 mm de diâmetro nominal e hastes de 2.229kg/m. O avanço de perfuração foi executado a trado espiral. Foram executados três pontos de estudo. O ponto SP-01 está ilustrado na Figura 9, a seguir (vértice M-01, da poligonal). Para amostragem das camadas foram seguidas as normas NBR 7250/82, NBR 6484/80 e NBR 8044/83. O material foi colhido nos dias 12 e 13/08/06, conforme Figura 2:

Figura 2 - Sondagem tipo SPT – Furo SP 01



4 RESULTADOS

Observando o levantamento planialtimétrico no ano de 2014 e relatado em relatório perfeitamente autenticado pela ART nº 92221220151220114 é possível concluir que o terreno em estudo faz parte da sub-bacia oeste de captação do Córrego Vargem Limpa, conforme apresentado abaixo, a planilha de coordenada Datum Sad 69 (Fuso 22) da locação dos pontos extremos da poligonal que define a área em questão, sendo feitas as seguintes análises:

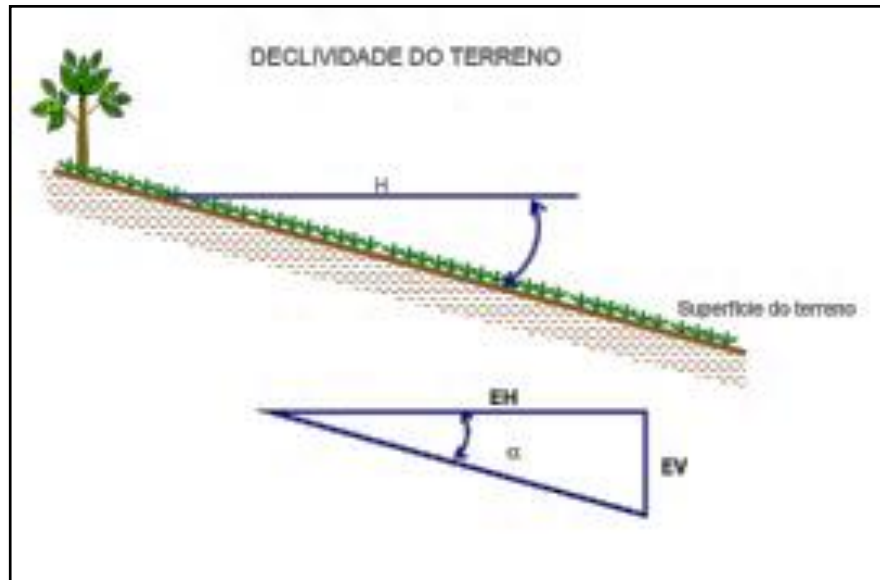
4.1 Análise crítica do levantamento planialtimétrico do aterro do Jardim Chapadão– 2014

O terreno original que fazia parte da paisagem, onde se encontram os pontos M-01 ao M-05 nos informa que houve uma grande agressão ambiental neste local. Inserida claramente dentro de uma reserva caracterizada pelo bioma cerrado, há pelo menos três décadas vinha sofrendo um “desmatamento progressivo”; e para acentuar a degradação ambiental, servindo como “caixa de empréstimo”, “caixa de remoção” de solo para diversas finalidades, seja para atender a demanda da própria administração pública em relação à retirada sistemática de volumes constantes de solo.

Todo o processo de degradação ocorreu às expensas dos órgãos públicos sem necessariamente se dar conta e até aquela época pouco se fazia ou pouco se planejava quanto à minimização de impactos ambientais. Empresas particulares trabalharam também neste local em um processo exploratório desmedido, sem planejamento ou mesmo autorização dos órgãos responsáveis.

O solo, como a água é um recurso vital para toda humanidade. O impacto ambiental provocado pela ação antrópica neste local potencializando a ocorrência de eixos erosivos no sentido do córrego, ou seja, no sentido do fundo do vale, distante pelo menos a 80,0m em seu ponto médio (M-04). O plano inclinado que contém o plano da sub-bacia, em especial, o que contém o terreno em questão forma um ângulo médio com a horizontal de $\alpha = 12^\circ$ (Figura 13) em uma extensão média horizontal de 171,0m por uma cota média de 22,0m.

Figura 3 - Representação esquemática da inclinação do terreno



Levando em consideração estudos clássicos como a equação de Bertolini et al (1993) sobre processo erosivo em solo no caso, caracterizado como “areno-argilo-siltoso”, como demonstrado nas curvas granulométricas, tem-se que os principais atributos deste solo em questão são que pertence ao Grupo de Resistência a Erosão “Moderado”, permeabilidade rápida, textura areno-argilo-siltosa, razão textural entre 1,2 a 1,5, pertencente a um tipo definido de latossolo e índice $K = 1,10$; o que leva a conclusão a formação de erosão laminar de grau médio. É possível verificar em uma simples vistoria no local e em seus arredores a existências destas lâminas de erosão (erosão laminar = sulcos e voçorocas), apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Indicação do sentido de erosões laminares existente no terreno.



Estas direções se devem também à alteração e supressão da vegetação cerrado que estava no local, inclinação da superfície e baixa tensão de ruptura superficial do solo. Os taludes existentes se posicionam na parte oeste, uma vez que as cotas de desnível são mais acentuadas. Desta feita tem-se no trecho M-02 a M-05, partindo do primeiro um escalonamento que parte da cota 528m (M-02) passando pela cota intermediária (60% da extensão da linha) de 535 m chegando à cota 540m (M-01).

A cota plana, formada desde a entrada (acesso - sul) do terreno até os fundos (norte), prevalece o valor de 518 m (média). Esta configuração valida a direção do deslocamento das águas superficiais indicados. O gradiente hidráulico no caso de movimento de águas subterrâneas e percolação deverá ter uma direção aproximada do vetor de escoamento das águas superficiais.

O corte em plano oblíquo em relação à horizontal do talude, em especial os que se formam do ponto M-01 sentido M-02, até aproximadamente 50% da extensão, formam em média ângulos de 75º (muito maiores que os indicados na Figura 15), sendo estes significativos em relação à perda de estabilidade da massa terrosa.

Da metade abaixo, na linha de extensão acima apresentada, mais precisamente no sentido de M-02 já foi convenientemente estabilizada por deposição de RCC. Nota-se a importância do ângulo da superfície inclinada β , o centro de gravidade, o centro de giro da massa terrosa (O) e a tensão interna de estabilidade obtida do equilíbrio das forças resistentes ao giro e as forças motoras (peso na massa terrosa e peso do volume de água de saturação – solo não drenado).

Assim, é extremamente importante depositar na base do talude existente (M-01 até 60% da extensão até M-02), material para estabilizar (neutralizar) e evitar que se formem linhas de ruptura que poderiam, em determinado momento, perder a estabilidade promovendo o deslizamento de toda parte superior da massa terrosa, no trecho citado, para a cota 518m, com a promoção de dano ambiental no local e adjacências.

No caso, verificando a Figura 16, acima, temos a possibilidade de ocorrência de deslizamento do tipo “a”, “b” e “c”, sendo praticamente impossível em nosso caso de estudo a ocorrência dos tipos “d” e “e”.

É recomendado, assim, que, dentro dos limites de cálculo de carregamento do solo, dentro da possibilidade legal de execução ambientalmente correta do processo de deposição de RCC, com a finalidade de minimizar o impacto ambiental da área degradada pelo processo de retirada não autorizada e nem planejada de solo, com a finalidade de recuperação parcial da paisagem com possibilidade de corrigido o relevo o local sobre um trabalho de recuperação da vegetação biótica existente (cerrado), seja dada continuidade ao procedimento hoje praticado.

4.2 Caracterização geotécnica do solo

As amostras representativas selecionadas foram as seguintes (Tabela 1):

Tabela 1 – Amostras representativas do solo

Nº	DESCRIÇÃO	TIPO DE SOLO
01	SP-01 - 7,07m	Solo arenoso avermelhado, com pouco silte e argila
02	SP-02 - 8,10m	Solo arenoso avermelhado, com pouco silte e argila
03	SP-03 - 7,10m	Solo arenoso avermelhado, com pouco silte e argila
04	SP-02 - 22,00m	Solo arenoso avermelhado, com pouco silte e argila

Foram estruturadas amostras médias representativas do solo da área do empreendimento coletadas na sondagem nas profundidades limites dos furos, amostra metro a metro. Estas amostras representativas foram encaminhadas para laboratório de solos da UNESP/Campus Bauru, para análise granulométrica (peneiramento utilizando as peneiras ASTM n° 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200, 230, 270, 325 e 400 e granulometria da fração fina). Com isto, conclui-se que se trata de solo arenoso avermelhado com pouco silte e argila, nas 15 amostras processadas. Ocorrência de pouca quantidade de pesados, sendo bastante arredondados e esféricos.

O perfil médio do solo na área do empreendimento é o seguinte: Análise dos perfis granulométricos = areia média fina argilo-siltosa, textura média homogênea, avermelhada, resultante de arenitos cretáceos de Formação Marília do Grupo Bauru.

4.3 Nível e posicionamento do lençol d'água subterrâneo

Na execução do SP-01/SP-02/SP-03 foi encontrada água nas seguintes profundidades (Tabela 2):

Tabela 2 – Nível e posicionamento do lençol d'água subterrâneo

SONDAGEM	NÍVEL D'ÁGUA (m)	PROFUNDIDADE (m)
SP-01	Encontrado	3,40
SP-02	Encontrado	4,10
SP-03	Encontrado	2,50
SP-04	Encontrado	19,50

O lençol freático (na área do empreendimento) foi encontrado em uma profundidade média 3,40 m na parte mais baixa (vértice M-03, da poligonal) e 19,50 m na parte mais alta (vértice M-01, da poligonal).

4.4 Percolação, gradiente hidráulico, permeabilidade e linhas equipotenciais

Os estudos de redes de fluxos auxiliam na visualização bidimensional da direção, do sentido e da velocidade do escoamento subterrâneo ao longo de uma região analisada, antecipando assim, a possibilidade estratégica de melhor implantar poços de monitoramento em determinados locais. Para isso, foram instalados 5 PM's no local, utilizados como expiadores, ou seja, como ferramentas complementares quanto à contaminação ou não por elementos adversos. No nosso caso, a região se encontra situada em média a 5 m de profundidade do plano médio na cota 446m. Na parte baixa, na poligonal M-03/M-04/M-05 foram executados 3 poços de monitoramento.

Na cota 446m e no vértice M-01, outros dois poços de monitoramento e, assim, se formaram duas curvas a serem analisadas relativas ao coeficiente hidráulico e ao gradiente hidráulico. Em relação às Redes de Fluxos, temos dois elementos essenciais que, em planos diversos, compõem sua formação que são: a) Linhas de Fluxos e b) Linhas Equipotenciais. Linhas de fluxo são paralelas às regiões sem fluxo nos limites da área de avaliação.

Linhas Equipotenciais são projeção em planta da intersecção de uma superfície potenciométrica com um plano de cota potenciométrica definida. As projeções das intersecções dessa superfície com diferentes planos, de diferentes cotas potenciométricas, gera um conjunto de linhas equipotenciais conhecido como Mapa Potenciométrico ou mapa de fluxo subterrâneo.

O sentido do movimento da água subterrânea e o gradiente hidráulico podem ser determinados se os seguintes dados estiverem disponíveis para três poços locados em um arranjo triangular qualquer:

- a) A posição geográfica relativa dos poços;

- b) A distância entre os poços;
- c) A carga total de cada poço.

Permeabilidade Intrínseca:

- a) Argila – 10-14 a 10-11 cm²
- b) Areia siltosa – Areia fina – 10-10 a 10-8 cm²
- c) Cascalho bem distribuído – 10-7 a 10-5 cm²

- 1) Quanto maior o tamanho médio dos grãos do solo, maior a permeabilidade (o que se percebe avaliando as curvas granulométricas);
- 2) Quanto maior o desvio padrão do diâmetro das partículas, menor a permeabilidade;

4.5 Ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade

Das amostras extraídas dentro dos critérios laboratoriais, foi possível realizar exames relativos quanto a granulometria. O perfil médio do solo na área do empreendimento é o seguinte: 0,0 a 5,0 m = AREIA média e fina com argila e pouco silte, predominantemente avermelhada, textura média, resultante da decomposição de arenitos da Formação Marília. Abaixo do solo superficial original da área, apresenta uma coloração um pouco diferente, isto é, marrom a marrom avermelhada.

A Tabela 3 apresenta a profundidade encontrada do lençol freático encontrada na área:

Tabela 3: Profundidade do lençol freático

PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05
3,40 m	4,10 m	2,50 m	6,0 m	19,50 m

Também foram verificados os índices físicos médios laboratoriais, por meio de análises no laboratório Unesp – Bauru, encontrando-se as seguintes propriedades:

- a) ORIGEM: Formação Marília (arenitos).
- b) TEXTURA: %areia = 69,4, %silte = 10,1, %argila = 20,5
- c) CLASSE TEXTURIAL: franco arenoso, finura (módulo afs): Solo natural 129, Fração areia = 69
- d) PERMEABILIDADE LOCAL : K solo natural = 3,9.10⁻³cm/s.
- e) MASSA ESPECÍFICA: 2,70 g/cm³.
- f) CONSISTÊNCIA (ALTIBERG): Limite de liquidez = 21,2, Limite de plasticidade = 13,6, Índice de plasticidade = 7,6

4.5.1 Ensaio de percolação – NBR 13.292

A partir dos resultados das sondagens, onde o terreno apresenta a ocorrência de material constituído predominantemente por uma camada vegetal, seguido de uma camada de areia fina a média argilosa e nível do lençol freático na profundidade de 3,40 (M-03), foram determinados 3 (M-03/M-04 E M-05) locais para ensaios na área de infiltração, onde adotamos as profundidades das cavas de 0,80 m e 0,30 m. Inicialmente foram abertas as cavas de diâmetro Ø 150 mm e preenchidas no fundo com brita nº 1 até 5 cm e saturadas com água até 30 cm, ao longo do dia. Posteriormente as cavas foram saturadas novamente e iniciados os ensaios de percolação, com nível de água inicial de 15 cm e após 30 minutos uma leitura de abaixamento. Os ensaios foram repetidos até que a diferença de rebaixamento dos níveis fosse inferior a 1,5 cm em pelo menos três medições, sendo adotado o valor da última leitura. Com base nestas leituras e a tabela das taxas de aplicação superficial da norma acima citada, determinou-se a taxa de aplicação superficial da área em estudo, como indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Taxa de aplicação superficial da área em estudo

Camada predominante (m)	Profundidade da cava (m)	Ensaio	Abaixamento final do nível d'água (m)	Taxa de percolação K (min/m)
Camada vegetal	0,30	E -01	0,05	600,00
	0,30	E-03	0,08	375,00
	0,30	E-05	0,02	1500,00
Areia fina a média argilosa	0,80	E-02	0,035	857,14
	0,80	E-04	0,06	500,00
	0,80	E-06	0,01	3000,00

Ensaio	$K \text{ médio} = \frac{\sum(k_i x h_i)}{\sum H_i}$ (min/m) (Local)	$K \text{ médio} = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$ (min/m) (Área)	Taxa de aplicação superficial (m ³ /m ² .d) Interpolação NBR 13.292
E-01	728,57	1.138,69	0,039
E-02	437,50		
E-03	2.225,00		

Após determinação dos valores da taxa de percolação de cada ensaio, verificamos o valor médio de cada local, através da média ponderada destes, onde fica K_i e H_i são respectivamente, as taxas e alturas das camadas onde foram realizados os ensaios e em seguida, o valor final da taxa de aplicação superficial, através da tabela a seguir da NBR 13.292.

Devido ao nível do lençol freático encontrado na profundidade de 3,42m e variação da espessura da camada vegetal, foram consideradas iguais as áreas infiltrativas das camadas. A taxa de aplicação superficial da área é de 0,039m³/m².d. A Tabela 5 apresenta Convertendo os valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial:

Tabela 5 - Convertendo os valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial

Taxa de percolação (min/m)	Taxa máxima de aplicação diária m ³ /m ² *d
40 ou menos	0,20
80	0,14
120	0,12
160	0,10
200	0,09
400	0,065
600	0,053
1.138,69	0,0386
1200	0,037
1400	0,032
2400	0,024

4.5.2 Ângulo de atrito interno – solo/entulho

Nas areias a retirada de amostras indeformadas, bem como a moldagem de corpos de prova para a execução de ensaios de laboratório, são operações extremamente difíceis de proceder. Por tais motivos, recorre-se, em geral, a procedimentos indiretos para se obter dados sobre as características “in situ” de resistência ao cisalhamento e também de compressibilidade desses solos, em especial. As sondagens de percussão, usualmente a única disponível em análises preliminares, são muito utilizadas nesses procedimentos.

As resistências ao cisalhamento rápido foram obtidas através de ensaio de compressão simples sobre amostras indeformadas. Poderiam ser relacionadas com as resistências à penetração (N) obtidas em sondagens de percussão, ao nível de extração das amostras. Assim poderia se estabelecer, em um dado local, uma relação do tipo: $c \cong f(N)$ onde “c” seria a coesão do solo (metade da resistência à compressão simples, por exemplo). Dados disponíveis parecem indicar que o valor de c, em tsf, poderia ser grosseiramente estimado como sendo da ordem de $c \cong \alpha N$ onde α assumiria valores da ordem de 27 para argilas de baixa plasticidade e siltes argilosos, 13 para argilas medianamente plásticas e de 8 para argilas altamente plásticas. Terzaghi e Peck (1948) sugeriam um valor de α da ordem de 15.

Parece que, para uma mesma resistência (rápida), o valor de N tende a ser maior com o aumento da relação de pré-adensamento da argila (OCR = “overconsolidation ratio”). Segundo Schmertman (1975) e Mello (1917), o valor de N tende a decrescer com o aumento da sensibilidade do solo. Essa tendência parece decorrer do fato da resistência à penetração do amostrador depender, em especial, da aderência lateral do solo, e no caso a aderência (atrito superficial) se apresentou baixa, como se pode verificar na avaliação dos perfis e em relação ao número N, de resistência a penetração. Fato importante a observar é de que a cravação dinâmica provocou o surgimento de pressões neutras no solo que, quando positivas (solos pouco consistentes, ou pouco compactos, com baixa permeabilidade) tendem a reduzir o valor de N e, quando negativas (solos muito consistentes, ou muito compactos, com baixa permeabilidade) tendem a aumentar o valor de N. Esse fato é também observável nos ensaios de cone (qc). Uma redução na velocidade de penetração do cone pode acusar uma variação no valor de qc, que indicaria a ação de subpressão em condições mais rápidas de cravação da ponta cônica no solo (pouco permeável). Estudos consagrados resultaram na montagem da Tabela 6 de classificação dos solos, pela NBR 7250:

Tabela 6 - Tabela de classificação dos solos – NBR 7250

Solo	Índice de resistência à penetração	Designação
Areia e Silte arenoso	≤ 4	fofa (o)
	5 a 8	pouco fofa (o)
	9 a 18	medianamente compacta (o)
	19 a 40	compacta (o)
	> 40	muito compacta (o)
Argila e Silte argiloso	≤ 2	muito mole
	3 a 5	mole
	6 a 10	média (o)
	11 a 19	rija (o)
	> 19	dura (o)

Fonte: ABNT NBR 7250

Estudos avançados da comunidade científica produziram uma Tabela 7 de referência para estimativa do ângulo de atrito interno de alguns solos, sendo a mesma utilizada mundialmente.

Tabela 7 - Avaliação de Parâmetros dos Solos em Função do Estudo de Compacidade ou Consistência

Característica	Compacidade				
	Muito Fofa	Fofa	Média	Compacta	Muito Compacta
Densidade Relativa	0	0,15	0,35	0,65	0,85 – 1,0
SPT	0	4	10	30	50
ϕ (graus)	25 - 30°	27 - 32°	30 - 35°	35 - 40°	38 - 43°
γ (tf/m ³)	1,12 – 1,60	1,44 – 1,76	1,76 – 2,08	1,76 – 2,24	2,24 – 2,40

Característica	Compacidade					
	Muito Mole	Mole	Média	Rija	Muito Rija	Dura
qu	0	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0
SPT	0	2	4	8	16	30
γ (tf/m ³)		1,60 – 1,92	1,76 – 2,08		1,92 – 2,24	

Fonte: Boullès, 1997

Para a adoção do ângulo de atrito interno das areias (em nosso caso), pode-se utilizar as correlações estatísticas entre os pares de valores (σ_v , N) e os prováveis valores de ϕ , em que σ_v é a tensão vertical efetiva à cota de obtenção de N. Ainda para a estimativa de ϕ , Godoy (1983), por exemplo, menciona a seguinte correlação empírica com o índice de resistência à penetração (N) do SPT: $28,0,4N \leq \phi \leq +$ Enquanto Teixeira (1996) utiliza: $0 \leq \phi \leq 20N + 15$. A Tabela 8 apresenta Ângulo de atrito interno para areias, por meio de correlações empíricas em uso limitado a estudos preliminares.

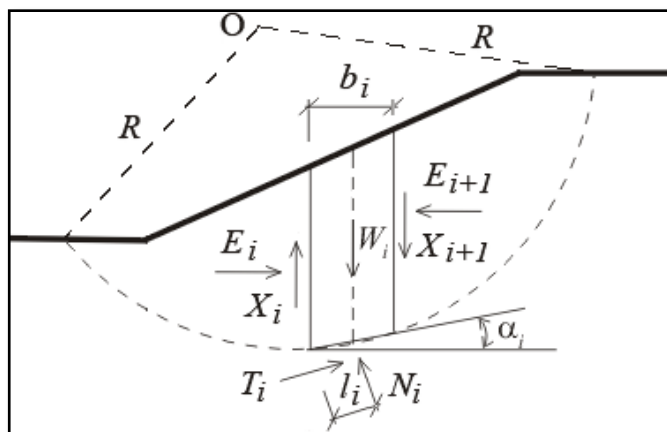
Tabela 8 – Ângulo de atrito para areias

Areia	Fina		Média e Grossa		Com pedregulho
	Grãos Esféricos	Grãos Angulares	Grãos Esféricos	Grãos Angulares	
Fofa	27	28	29	33	34
Intermediária	30	34	33	38	37 - 39
Compacta	33	36	36	44	40 - 45

Levando em consideração o que foi apresentado anteriormente neste trabalho, mais precisamente em relação ao possível ângulo de atrito interno de aterros e entulhos, onde se conclui que para a massa terrosa, para este tipo de solo, areia média argilo-siltosa, com grãos esfero-angulares, o ângulo de atrito interno ponderado chega próximo a 36°, inferior aos 45° preconizados em alguns estudos que não dispõem do estudo do “formato dos grãos”. Isto faz com que os níveis de segurança a serem considerados sejam mais rigorosos.

Por meio da Figura 5, se apresenta o “esquema esturutra” de giro por perda de estabilidade, quando vencido o atrito interno dos grãos da massa terrosa.

Figura 5 - Representação esquemática da perda de estabilidade



Na imagem, X_i e E_i representam as forças de cisalhamento e normal que atuam entre blocos, T_i e N_i representam as forças de cisalhamento e normal atuantes em cada segmento da superfície de deslizamento, W_i representa o peso de cada bloco

Analisando de forma crítica os perfis se conclui que, em se tratando de massa RCC sobre terreno natural composto basicamente por areia; a mesma não é um elemento homogêneo em sua composição interna (RCC). No entanto, podemos levar em consideração, em uma modelagem para estudo e providências, que a mesma apresenta consistência proveniente de alvenarias e blocos de demolição; porém, apresenta grande número de vazios internos devido a uma compactação precária do RCC.

Esta compactação não é prevista em nenhum procedimento normativo existente. O composto RCC apresenta grande capacidade de absorção de água, o que permite uma intensa percolação dentro dos alvéolos (espaços vazios internos do aterro RCC), sendo esta água um elemento danoso em relação ao enfraquecimento da coesão existente, o que prejudica a estabilidade e aumenta a possibilidade de movimentação destes maciços.

Esta movimentação e/ou saturação, altera o ângulo de atrito interno, reduzindo-o a situações imprevisíveis, onde não se tem metodologia de cálculos e estimativas para estudo. As superfícies inclinadas dos taludes apresentam ângulos acima de 35° , ângulo de conformidade com a base terrosa; pode-se verificar que temos uma situação crítica, com formação de ângulo externo de 75° .

4.6 Considerações das vistorias realizadas “in loco” – 2020

Por cinco vistorias “in loco” (datas: 18/03, 25/03, 14/4, 23/04 e 17/06), sendo priorizada a avaliação da superfície dos platôs a “olho nu”, não foi encontrada nenhuma linha de fissura ou rompimento (deslocamento de massa); nenhum tipo de anomalia na superfície em especial, do tipo afundamento ou deslocamento em alguma direção possível. Portanto, nesta avaliação, tem-se a certeza de que o sistema atual, com toda movimentação e vibração produzidas na massa de solo do local, provocada pela atividade de máquinas pesadas (de terraplanagem) e diversos caminhões de porte do tipo pesado ($\geq 6 \text{ m}^3$ a 12 m^3)

E no que diz respeito aos efeitos das águas pluviais e o possível saturamento da massa RCC, ainda que exista a situação de não conformidade do coeficiente de percolação e do gradiente hidráulico com a base; base está composta de uma areia média argilo siltosa, avermelhada. Ainda que o lençol freático se encontre próximo à superfície da base (interface com a base do aterro RCC), a uma profundidade média de 3,50m; são recomendadas as seguintes providências em relação ao nível de superfície do aterro (platôs):

- As cotas das cristas do aterro em relação ao centro dos platôs deverão apresentar elevações na ordem de 20 a 30cm em relação ao seu centro geográfico;

- As superfícies dos platôs deverão receber vegetação com enraizamento, para possibilitar uma melhor estabilização destas superfícies. Deve-se estudar um procedimento de reflorestamento, recuperando parte da paisagem de cerrado que foi removida;

- Na superfície dos taludes, deverá ser executada uma correção do ângulo do plano com a horizontal (bases da correção apresentada em seguida);

- Nestas superfícies dos taludes deverá ser compactada uma camada de terra vegetal, com a finalidade de aumentar a estabilidade, com a fixação de vegetação do tipo grama (prevendo que esta, ficará exposta ao sol constantemente);

- Nos pés dos taludes, deverá ser executada muretas de contenção, a uma altura de 1,50m, em concreto armado de classe não inferior a C45, tela soldada # 8mm, em formato de bloco, assentadas (muretas) em uma sapata corrida com dimensões previstas em projeto.

- No conjunto monolítico a ser executado formado entre a mureta de contenção e a sapata, poderá, no lado externo da mureta de contenção, ser executado de forma integrada uma canaleta com dimensões previstas em projeto, para auxiliar na condução das águas pluviais;

- Sob a sapata e na superfície de contato da mureta com o aterro RCC, deverá ser totalmente impermeabilizada por mantas do tipo BIDIN em todas as extensões, perfeitamente vedadas e emendadas de forma contínua. Ainda na extensão de fora da sapata, deverá ser prevista uma calçada de impermeabilização para proteger a estrutura;

- Dever-se-á, a cada 3,0m em média, na mureta de contenção, mais precisamente a 1/3 da base, sistema de drenagem do tipo barbacã, projetando esta água de percolação para dentro das canaletas;

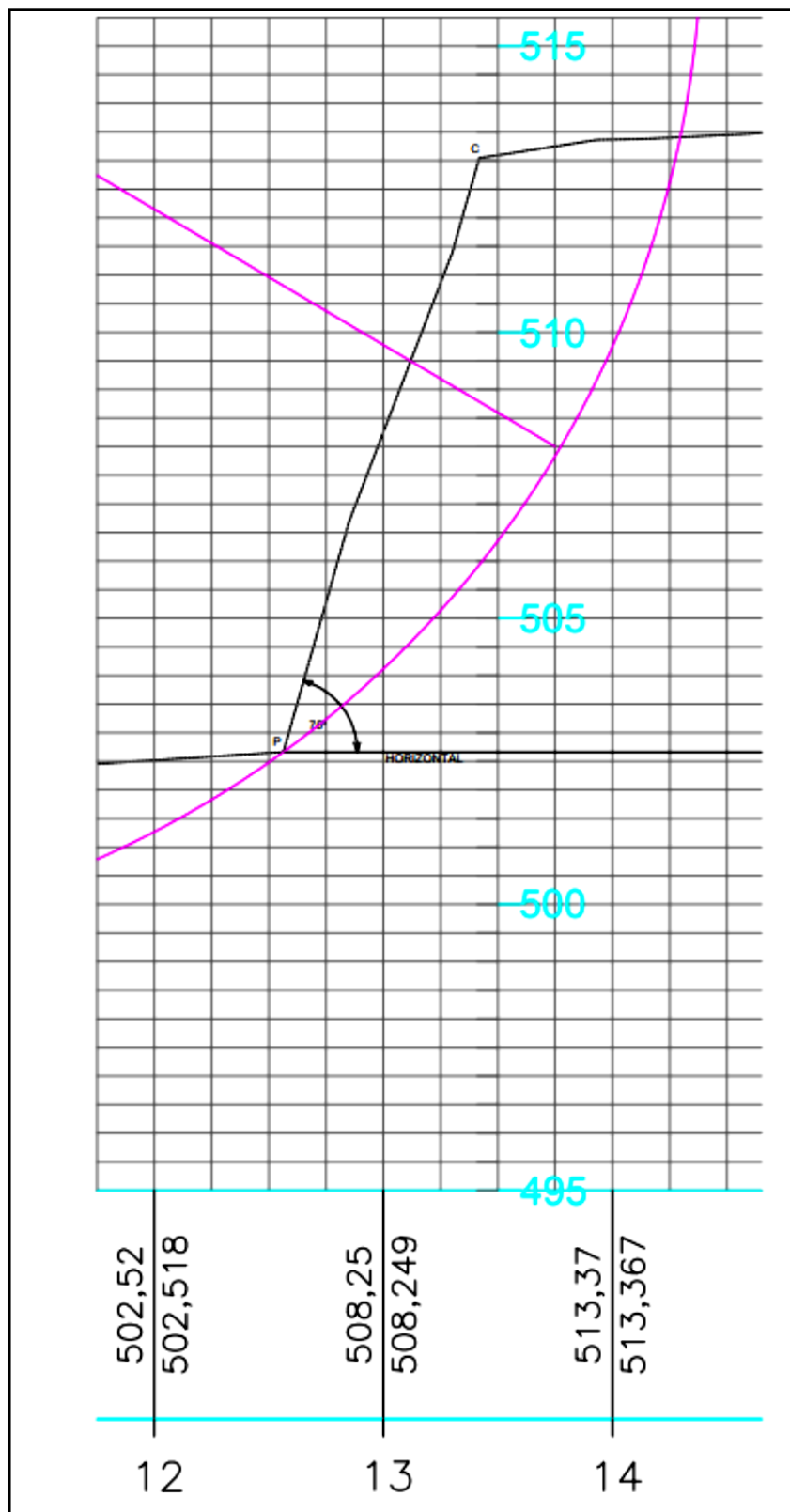
- O conjunto sapata, canaleta e mureta de contenção deverá ter juntas de dilatação a cada 5,0m em média, ou quando por outro motivo, for necessário;

- Mudanças de direção do conjunto, quando superior a 30º, deverá ser executado uma caixa de mudança de direção, com dimensões prevista em projeto;

A massa de RCC em questão, ainda está em processo de acomodação por sobre sua base. Esta acomodação deverá apresentar algumas alterações de superfície ou mesmo escorregamento de alguns trechos dos taludes. O movimento da água dentro do entulho RCC é imprevisível em algumas situações. Considerando a impossibilidade de se executar um sistema drenante eficiente devido à intensidade da movimentação e dos serviços na superfície do aterro, é necessário que se execute sistema de canaleta drenantes no pé dos taludes.

Apresentamos o estudo do perfil crítico (Figura 6), no perfil de alinhamento entre as estacas 12 a 14. A linha de formação da superfície inclinada do talude se encontra em ângulo com a horizontal de 75º. Concluímos que não apresenta expectativa de estabilidade.

Figura 6 – Estudo do perfil crítico



Os platôs deverão receber uma camada de solo de ótima qualidade, em uma espessura de 40cm que compactada apresente pelo menos a média de 30cm acabado. As cristas dos

taludes, para dentro dos platôs, deverão estar em uma cota um pouco mais alta, tendo por finalidade fazer com que a água pluvial escoe.

5 CONCLUSÃO

Os conhecimentos advindos dos estudos acerca de análise granulométrica, estabilidade de taludes, métodos de análise de ruptura e coeficientes de armazenamento e percolação permitiram a realização de uma análise empírica dos dados coletados na cava do Jardim Chapadão, visto que não há estudos suficientes sobre aterros de resíduos de construção civil para embasamento teórico.

A partir dos ensaios realizados das amostras coletadas “in loco”, os resultados demonstraram um ângulo de atrito interno de 75º, superior ao ângulo de 45º dado como limite para o terreno seco em solo do tipo areia e argila. Dessa forma, conclui-se que no perfil crítico da poligonal, o talude apresenta instabilidade e, portanto, são sugeridas medidas com o objetivo de se atingir a estabilidade e auxiliar na recuperação do bioma local.

Levando em consideração o sistema de contenção por leras e ainda a capacidade significativa de recuperação da paisagem que é uma característica ímpar do bioma cerrado, os resultados obtidos podem colaborar também com parte da recuperação da degradação ambiental a que a área foi submetida há décadas para atender necessidades da administração municipal e da sociedade do entorno.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. LEI, Nº. 12305 (Política Nacional de Resíduos Sólidos). Brasília, DF, 2010.
- CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. v. 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1987.
- CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. v. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.
- CRAIG, Robert F. **Mecânica dos Solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 7. ed. v. 1. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- DE ARAÚJO FILHO, Renisson Neponuceno et al. **Influência dos atributos físicos-mecânicos do solo na estabilidade do talude do baixo São Francisco**. *Scientia Agraria*, v. 18, n. 4, p. 107-113, 2017.
- DYMINSKI, Andréa Sell. **Noções de estabilidade de taludes e contenções**. Universidade Federal do Paraná, Notas de Aula, Estabilidade de Taludes. 28p, 2007.
- EHRlich, Maurício; BECKER, Leonardo. **Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- GERSCOVICH, Denise MS. **Estabilidade de Taludes** (2ª edição). Oficina de textos, 2016.
- GOMES, Claudio Luiz Ridente et al. **Retroanálise em estabilidade de taludes em solo: metodologia para obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento**. Unicamp, 2003.
- KANJI, Milton Assis. **Estabilidade de taludes rochosos em obras civis**. In: COBRAMSEG 2006–III Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia. ABMS, Curitiba, BRASIL. 2006.
- LEMES, Marta R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- SILVA, Apolino José Nogueira da; CARVALHO, Fabíola Gomes de. **Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 853-862, 2007.
- SILVA, Carolina H. C.; LANA, Milene S. **Influência da durabilidade no comportamento geotécnico dos filitos da Mina Pau Branco**. REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 65, n. 3, p. 413-418, set 2012.
- SILVA, Erico Rafael da. **Estudo da estabilidade de um talude com variação geométrica e aplicação de contenção em solo grampeado**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. FALA DE ENSAIO DE GRANULOMETRIA.