

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO SOBRE PROCEDIMENTOS DE USO DE FATORES DE SEGURANÇA
EM ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE TALUDES**

Monique Aristides Azevedo

Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio Medeiros Marinho

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF – 17/39)

São Paulo
2017

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA – TF 17/39

Monique Aristides Azevedo

Aluna

Prof. Dr. Fernando Antônio Medeiros Marinho

Orientador

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa o fim de um ciclo repleto de desafios, aprendizados e satisfações. Por isso dedico este trabalho a todos aqueles que caminharam ao meu lado nos últimos 5 anos (ou muito mais!) e tornaram este momento possível.

À minha família, em especial, à minha mãe, Luciane, meu pai, Edmilson, e minha irmã, Nicolly. Deus sabe como eu amo vocês, e Ele foi perfeito em sua decisão de me permitir viver a minha vida desde o início ao lado de vocês. Aos meus avós, a quem também amo muito. E à minha eterna companheirinha, Susi, que foi um anjo especial com quem dividi momentos maravilhosos nos últimos 11 anos.

Ao meu noivo, Marco Antonio, aquele que escolhi para ser meu companheiro na vida e que Deus me enviou para amar. Você não poderia ser mais maravilhoso para mim, e esta vitória que comemoro hoje certamente também é sua. Agradeço todos os dias pela sorte de poder dividir minha vida com você.

Aos amigos que fiz durante esta caminhada, com que vivi momentos indescritíveis, e que guardarei para sempre em meu coração. Agradeço especialmente à Caroline, minha amiga mais teimosa e mais fiel de todas, Ianny, minha amiga-gêmea guerreira e inspiradora, Laura, minha amiga fofurinha a quem tenho enorme carinho, e Carina, minha amiga meiga e com imenso coração.

Aos professores que souberam transmitir o seu conhecimento com amor, dedicação, respeito e humildade. Lembrarei sempre de todos vocês com muito carinho e admiração. Agradeço especialmente ao Professor Fernando Marinho, meu orientador, sempre gentil e muito solícito. Obrigada por todo o suporte e incentivo!

Aos motoristas, pessoal da portaria e demais funcionários do Instituto de Geociências que foram sempre muito simpáticos e prestativos comigo. Meu profundo respeito e admiração pelo trabalho que exercem, e pela amizade que muitos de vocês plantaram em mim.

Aos colegas e amigos que fiz durante minha passagem nas empresas Núcleo de Projetos, Enfil e Conteste Engenharia. Agradeço por todas as experiências, risadas e bons almoços compartilhados.

E, finalmente, meu agradecimento mais profundo e genuíno pertence a Deus, que me agraciou com o dom da vida, e guiou todos os meus passos para que o sonho de me tornar geóloga fosse possível. À Ele, toda honra e toda glória para sempre!

PALAVRAS-CHAVE

Análise de estabilidade; fator de segurança; parâmetros de resistência; Região Metropolitana de São Paulo.

RESUMO

O estudo de estabilidade tem como função principal analisar as condições de segurança de taludes e encostas, verificando se existe a necessidade de aplicação de medidas de prevenção ou correção contra possíveis deslizamentos. Tal análise tem adquirido fundamental importância para o desenvolvimento das áreas urbanas e das atividades exercidas pela sociedade, uma vez que o estudo em questão influi diretamente na segurança, na economia e na qualidade de vida da população.

O presente projeto tem como objetivo avaliar procedimentos de análise de estabilidade a partir da verificação de fatores de segurança, observando duas diferentes metodologias propostas da Norma Brasileira ABNT NBR 11682 para o tratamento do coeficiente de segurança, e apresentando uma proposta para se obter coeficientes de segurança parciais a serem utilizados diretamente nos parâmetros de resistência efetivos. Pretende-se também avaliar a influência da variação dos parâmetros de resistência na análise de estabilidade de taludes, tendo como embasamento dados geotécnicos de solos tecnogênicos, quaternários, terciários e residuais da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), compilados a partir da literatura.

Das metodologias analisadas no presente trabalho, o procedimento mais adotado em obras de estabilidade se baseia na determinação de um valor de fator de segurança, que é comparado com um valor mínimo e padronizado, estabelecido segundo critérios de segurança propostos pela Norma Brasileira ABNT NBR 11682. A outra possibilidade estudada estabelece fatores de segurança parciais com base na variabilidade dos valores de peso específico (γ) e dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, sendo eles coesão efetiva (c') e ângulo de atrito efetivo (ϕ'). A comparação de ambas as metodologias permite observar as consequências do uso do fator de segurança de forma convencional, ou seja, como resultado da análise de estabilidade, e o resultado da aplicação de coeficientes de segurança parciais na coesão e no ângulo de atrito.

TITLE

Study of procedures for the use of factor of safety in slope stability analyzes.

KEYWORDS

Stability analysis; factor of safety; resistance parameters; Metropolitan Region of Sao Paulo.

ABSTRACT

The stability study has as main function to analyze the safety conditions of slopes, to verify if it is necessary to take measures of prevention or correction against possible landslides. This analysis has acquired fundamental importance for the development of urban areas and the activities of society, since this study can directly influence the safety, economy and quality of life of the population.

The objective of this project is to evaluate the procedures of stability analysis based on the verification of factors of safety, studying two different methodologies proposed by the Brazilian Standard ABNT NBR 11682 for the treatment of the safety coefficient, and presenting a proposal to obtain partial safety coefficients to be used directly in the effective resistance parameters. It is also intended to evaluate the influence of the variation of the resistance parameters in the slope stability analysis, based on the geotechnical datas of technogenic, quaternary, tertiary and residual soils of Metropolitan Region of São Paulo, coming from the literature.

From the methodologies analyzed in this project, the most adopted procedure in stability works is based on the determination of factor of safety value, which is compared with a minimum and standardized value, established according to safety criteria proposed by the Brazilian Standard ABNT NBR 11682. The other possibility studied establishes partial safety factors based on the variability of the values of specific weight (γ) and the parameters of resistance to shear of the soil, being effective cohesion (c') and effective angle of friction (ϕ'). The comparison of both methodologies allows to determine the implications of the use of the factor of safety in a conventional way, in other words, as a result of the stability analysis, and the result of the application of partial safety coefficients in cohesion and friction angle.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	2
2.	METAS E OBJETIVOS	3
3.	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	4
3.1.	Comportamento dos solos: resistência e deformação	4
3.2.	Equilíbrio limite em análises de taludes	5
3.3.	Solos da Região Metropolitana de São Paulo	8
3.3.1.	Embasamento cristalino	10
3.3.2.	Coberturas sedimentares terciárias	11
3.3.3.	Coberturas sedimentares quaternárias	13
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1.	Norma Brasileira ABNT NBR 11682	13
4.2.	Proposta para determinação do Fator de Segurança Parcial	14
4.3.	Cálculo do fator de segurança	15
4.4.	Compilação de dados de resistência de solos	19
4.5.	Programa para o cálculo do fator de segurança	21
5.	RESULTADOS OBTIDOS: INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES	22
5.1.	Variabilidade do peso específico e dos parâmetros de resistência	22
5.1.1.	Solos tecnogênicos	22
5.1.2.	Solos quaternários	24
5.1.3.	Formação São Paulo	27
5.1.4.	Formação Resende	34
5.1.5.	Solos residuais do embasamento cristalino	37
5.2.	Análise de estabilidade dos solos	46
6.	CONCLUSÕES	57
6.1.	Variabilidade dos parâmetros	57
6.2.	Análise de estabilidade	58
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. INTRODUÇÃO

Em virtude da grande expansão urbana, crescimento populacional e ampliação das atividades humanas ao longo dos anos, os estudos relacionados à estabilidade de taludes e encostas têm se tornado cada vez mais necessários, sendo indispensáveis para a garantia da segurança, da qualidade de vida e da economia para a sociedade atual. De acordo com GEO-RIO (2000), o estudo de estabilidade possui como objetivo principal analisar as condições de segurança de taludes e encostas, de modo a verificar se medidas de prevenção ou correção das áreas de estudo se fazem necessárias.

A análise de estabilidade de encostas e taludes é usualmente realizada com base em meios determinísticos, por meio da definição de valores de fator de segurança mínimos para um determinado talude, utilizando o método do equilíbrio limite. Esse é o caso da proposta da Norma Brasileira ABNT NBR 11682 para análises de estabilidade com o uso do fator de segurança, a qual é comumente utilizada para estudos e obras de estabilização em todo o país. Nesse procedimento, os valores de fator de segurança mínimos são padronizados e definidos com base no nível de segurança de taludes e encostas contra riscos de perda de vidas humanas e danos materiais e ambientais, além das análises de estabilidade locais e globais do maciço. Entretanto, para determinadas situações, a Norma Brasileira ABNT NBR 11682 indica realizar o estudo de estabilidade a partir de fatores de segurança parciais, determinados em função da variabilidade dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos.

Com base nisso, o projeto em questão tem como objetivo principal avaliar o uso de fatores de segurança para a análise de estabilidade em taludes, orientado pelos diferentes procedimentos propostos pela Norma Brasileira ABNT NBR 11682. O presente trabalho realizará uma avaliação do procedimento onde se busca um fator de segurança a ser comparado com valores mínimos e padronizados pela Norma Brasileira, usualmente adotado em projetos de estabilidade, e do procedimento onde se aplicam fatores de segurança parciais aos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, definidos com base na variação da coesão e do ângulo de atrito. Este último deve retornar um fator de segurança (obtido das análises de equilíbrio limite) menor e próximo a um.

Para tal análise, serão utilizados dados geotécnicos dos principais solos pertencentes à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo eles peso específico (γ), coesão efetiva (c') e ângulo de atrito efetivo (ϕ'), compilados a partir da literatura.

2. METAS E OBJETIVOS

O projeto em questão tem como objetivos principais:

- Avaliar e interpretar dois procedimentos de verificação de estabilidade de talude, sendo eles: procedimento de análise de estabilidade por meio da verificação dos coeficientes de segurança pré-estabelecidos pela Norma Brasileira ABNT NBR 11682, e aplicação de fatores de segurança parciais aos parâmetros, definidos com base na variação dos parâmetros de resistência dos solos, encontrados na literatura;
- Apresentar a variabilidade do peso específico e dos parâmetros de resistência (coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo) de alguns solos da Região Metropolitana de São Paulo, e verificar como esta variação pode afetar a análise de estabilidade de um talude pelo cálculo do fator de segurança.

As análises serão realizadas com base na Norma Brasileira ABNT NBR 11682. Esta referência é amplamente utilizada para orientar estudos de estabilidade de encostas e taludes no Brasil. O documento em questão propõe diferentes possibilidades para a determinação dos valores de fatores de segurança mínimos a serem adotados em obras de estabilidade de taludes e encostas. O projeto pretende, portanto, estudar e analisar comparativamente dois deles, sendo um padronizado e normalmente adotado em estudos de estabilidade, e o outro utilizado no caso de análises cujos ensaios geotécnicos apresentam grande variabilidade de resultados. Este trabalho permitirá observar as implicações do uso do fator de segurança nestes dois procedimentos para a análise de taludes.

No último caso, será feita uma adaptação ao preconizado, pois serão utilizados dados da literatura tratados. Serão assim definidos valores de fatores de segurança parciais a partir dos parâmetros de resistência de alguns solos pertencentes à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), compilados a partir da literatura.

O levantamento dos dados geotécnicos, por sua vez, contemplará solos tecnogênicos, solos aluvionares quaternários, solos terciários da Formação Resende e da Formação São Paulo, além de solos residuais, provenientes das rochas do embasamento da Bacia Sedimentar de São Paulo. A análise de estabilidade será realizada com base na geometria de um talude com indícios de movimentos de massa, o qual está localizado no campus da Cidade Universitária, e é composto por solo saprolítico migmatizado, segundo a estudos da geologia local.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3.1. Comportamento dos solos: resistência e deformação

A resistência interna que uma massa de solo pode oferecer ao longo de planos é denominada resistência de cisalhamento. Esta resistência tem papel fundamental em problemas de estabilidade, como aqueles relacionados a capacidade de carga, estabilidade de taludes, pressão lateral em estruturas de contenção de solo, dentre outros (e.g. Das, 2007).

De acordo com o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, a ruptura em materiais seria resultado da combinação entre tensão normal (σ) e tensão de cisalhamento (τ) no plano de ruptura. A tensão de cisalhamento (dada em kN/m^2 pelo Sistema Internacional de Unidades) é em geral considerada uma função linear. Tal função, representada pela **Equação 1**, apresenta dois parâmetros do solo: a coesão e ângulo de atrito interno, além da tensão normal no plano de ruptura. Assume-se ainda que, para solos saturados, a tensão normal total em um ponto é a soma entre tensão efetiva suportada pelos sólidos do solo e a poropressão da água.

$$\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg}\phi \quad [1]$$

sendo:

τ_f = resistência ao cisalhamento [N/m^2]

c = coesão [N/m^2]

σ = tensão normal ao plano de ruptura [N/m^2]

ϕ = ângulo de atrito interno [$^\circ$]

Aos descrevermos a equação 1 em termos de tensão efetiva, temos que:

$$\tau_f = c' + \sigma' \operatorname{tg}\phi' \quad [2]$$

sendo:

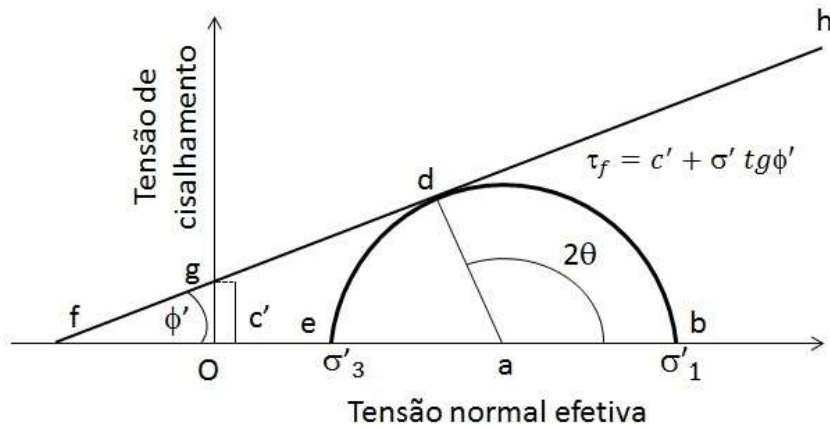
c' = coesão efetiva [N/m^2]

σ' = tensão normal efetiva [N/m^2]

ϕ' = ângulo de atrito efetivo [$^\circ$]

Caso as magnitudes da tensão normal efetiva e da tensão de cisalhamento em um determinado plano forem representadas graficamente em um ponto coincidente com a envoltória de ruptura, assume-se que a ruptura ocorrerá ao longo deste mesmo plano. O

gráfico da envoltória de ruptura, por sua vez, é definido pela **Equação 2**. A envoltória de ruptura é, em geral, definida por meio de ensaios de cisalhamento direto ou triaxiais. Quando são realizados ensaios triaxiais, a envoltória é obtida a partir do gráfico de círculo de Mohr, como o que segue na **Figura 1**:



sendo:

σ'_3 = tensão principal menor [N/m²]

σ'_1 = tensão principal maior [N/m²]

θ = ângulo entre o plano de ruptura e o plano principal maior [°]

Figura 1: Círculo de Mohr e envoltória de ruptura (Das, 2007).

Na **Figura 1**, σ'_1 e σ'_3 são, respectivamente, as tensões principais maior e menor aplicadas no solo, θ é a inclinação do plano de ruptura do solo em relação ao plano principal maior, e a envoltória de ruptura é dada por *fgh*.

3.2. Equilíbrio limite em análises de taludes

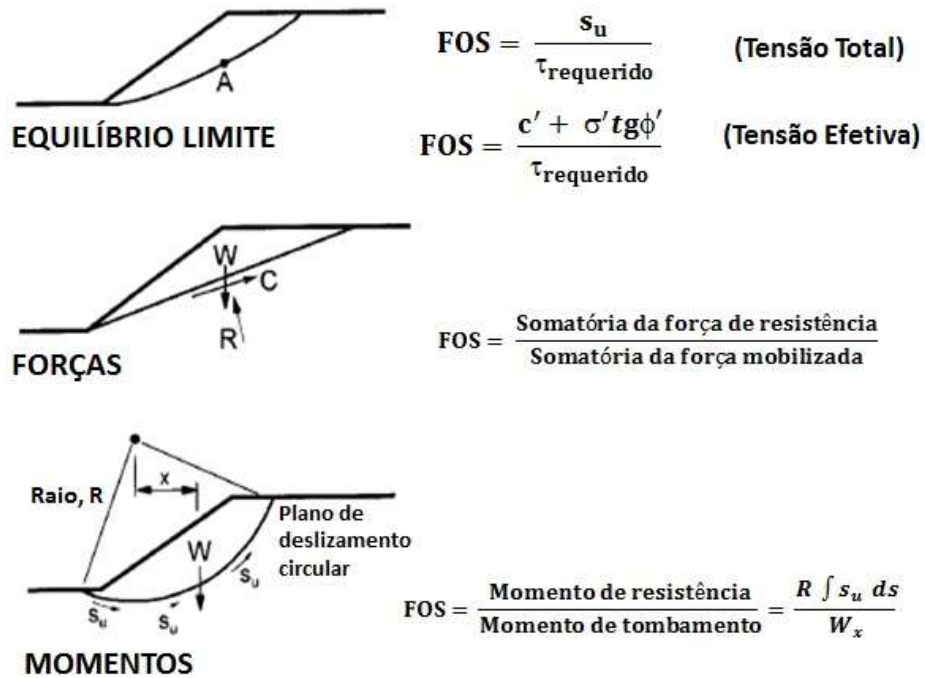
A análise de estabilidade por equilíbrio limite envolve a solução de um problema associado ao equilíbrio de forças e/ou equilíbrio de momentos. As forças envolvidas neste equilíbrio incluem aquelas geradas pela resistência do solo, sendo que a resistência pode ser expressa tanto em termos de tensão efetiva como tensão total (e.g. (Duncan, 1996). De acordo com Duncan (1996), muitos métodos têm sido desenvolvidos para analisar a estabilidade de taludes, de modo que os métodos de equilíbrio-limite são os mais usados. Entre eles estão o método de Bishop (1955), Morgenstern e Price (1965), Spencer (1967) Janbu (1968), U.S. Army Corps of Engineers (1970), entre outros.

Os métodos de equilíbrio limite assumem que o fator de segurança é constante ao longo da superfície de ruptura e que as equações de equilíbrio estático se aplicam até a eminência de ruptura do talude, ainda que, na realidade, o processo de perda de estabilidade seja progressivo e dinâmico. Todos os métodos adotados para análise de estabilidade empregam a mesma definição de fator de segurança, representada pela **Equação 3**. Ele também é definido como o fator no qual a resistência ao cisalhamento do solo pode ser dividida, levando a uma condição de equilíbrio metaestável. Portanto, com base nesta última definição, em condições metaestáveis, o valor do fator de segurança é igual a 1. Nesta situação, as forças atuantes no solo se igualam as forças resistentes.

$$FS = \frac{\text{Resistência ao cisalhamento do solo}}{\text{Força de cisalhamento para o estado de equilíbrio}} \quad [3]$$

De modo geral, há dois importantes critérios para a definição de valores de fatores de segurança: o grau de incerteza envolvido na avaliação das condições de resistência ao cisalhamento para a análise e as possíveis consequências da ruptura.

Na **Figura 2** estão apresentadas três definições de fator de segurança (FOS), segundo Abramson et al. (2002). A primeira é expressa como uma relação entre a resistência ao cisalhamento, a qual pode ser obtida em termos de tensão total ou efetiva, como citado anteriormente. A aplicação de uma destas duas abordagens, por sua vez, depende do tipo de solo e das condições e tempo de carregamento. As duas outras definições são baseadas em equilíbrio de forças e de momento apenas. Os fatores de segurança obtidos em cada um destes procedimentos não serão os mesmos.



Sendo:

s_u = coesão não drenada

W = resultante induzida pelas tensões do peso da cunha

R = força de reação do maciço sobre a cunha

Figura 2: Definições de fatores de segurança (Abramson et al. 2002)

Os métodos de equilíbrio limite usam os parâmetros da envoltória de Mohr-Coulomb para definir a resistência máxima do solo. Salienta-se que não há qualquer relação com deslocamento e só a ruptura interessa.

A maioria dos programas computacionais de análise de estabilidade de taludes utiliza o chamado método das lamelas (slices). Neste procedimento, a massa de solo é discretizada em “fatias” ou lamelas, e os cálculos são efetuados em cada uma delas, de modo a determinar a condição de equilíbrio-limite, na qual o valor do fator de segurança é unitário e a ruptura é iminente. A **Figura 3** ilustra a discretização em lamelas e as forças envolvidas para o cálculo do momento.

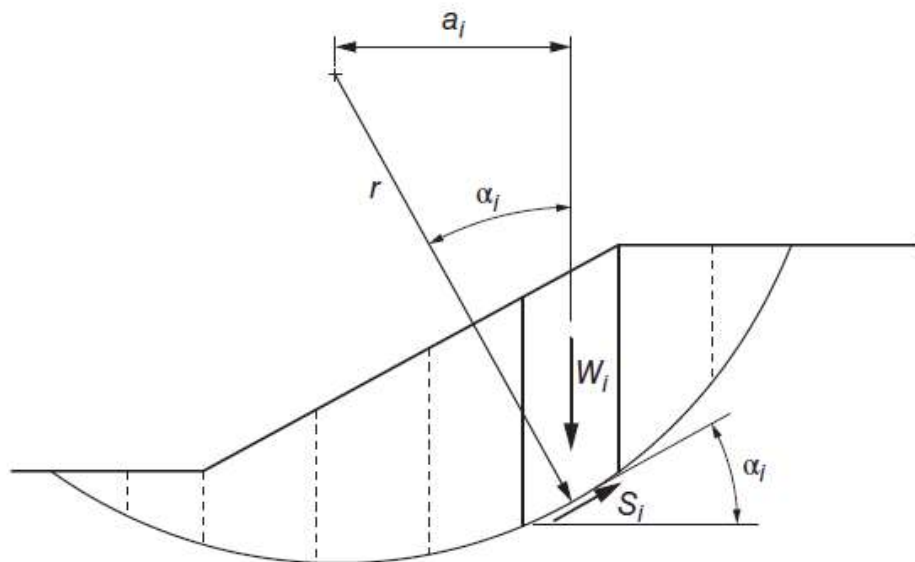


Figura 3: Superfície circular com massa dividida em lamelas. (Duncan et al., 2014).

O método das lamelas, descrito anteriormente, abrange métodos não rigorosos e rigorosos, de acordo com Campos (1985). Entre os métodos não rigorosos, estão o Método de Fellenius, o qual assume a resultante das forças laterais entre as lamelas como nula; Método de Bishop simplificado, o qual assume que a resultante das forças laterais entre lamelas apresenta direção horizontal; Método de Janbu simplificado, que parte do mesmo pressuposto que o Método de Bishop Simplificado, porém, leva em conta as forças cisalhantes em lamelas com base em um fator de correção empírico; e o Método de Janbu generalizado, o qual define uma linha de empuxo arbitrária para localizar a força normal entre lamelas.

Entre os métodos rigorosos, por sua vez, estão o Método de Spencer, o qual determina que a resultante das forças entre as lamelas apresentam inclinação constante; Método de Morgenstern-Price, o qual assume que uma função arbitrária $f(x)$ define a direção da resultante das forças entre as lamelas, satisfazendo condições de forças e de momento; e o Método de Sarma (1973), o qual determina que a resistência interna entre lamelas é mobilizada, e adota uma função arbitrária para definir a distribuição da resultante das forças cisalhantes.

3.3. Solos da Região Metropolitana de São Paulo

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é dividida em três grandes compartimentos geológicos, de acordo com Gurgueira (2013). São eles o embasamento cristalino pré-cambriano, composto pelas rochas que dão origem aos solos residuais presentes na região; a cobertura sedimentar paleógena a neógena, composta pelos sedimentos terciários da Bacia

Sedimentar de São Paulo; e a cobertura sedimentar quaternária, correspondente a coluviões e depósitos aluvionares recentes.

Os litotipos presentes na Região Metropolitana de São Paulo foram individualizados e classificados de forma sistemática a partir da classificação tátil-visual, definindo-se uma estruturação litológica básica para cada grande unidade geológica pertencente à área (Kutner e Bjornberg, 1997). Isso permitiu identificar e delimitar os solos residuais do embasamento, os sedimentos das formações terciárias, os sedimentos das coberturas quaternárias e os solos dos depósitos tecnogênicos (aterros superficiais) que a compõem, a partir da indicação do número e da natureza de seus horizontes litológicos. A **Tabela 1** representa o sistema de classificação geológico-geotécnica proposto por Kutner e Bjornberg, porém, aprimorada com a contribuição dos estudos da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô (CMSP):

Tabela 1: Proposta para classificação e notação dos litotipos mais comuns da Região Metropolitana de São Paulo (CMSP, 2011, adaptada com base em Kutner e Bjornberg, 1997).

FORMAÇÕES GEOLÓGICAS	HORIZONTES LITOLÓGICOS		
	FÁCIES	NOTAÇÃO	CONSTITUIÇÃO
Depósitos Tecnogênicos		1	Aterros com materiais diversos com predomínio de argila siltosa pouco arenosa, geralmente com pedregulhos e/ou matéria orgânica
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Tf	Turfa muito mole, preta
		2Ag1	Argila siltosa com matéria orgânica disseminada, plástica, muito mole, cinza e marrom
		2Ag2	Argila arenosa (areia fina), com mat. orgânica, muito mole a med. consistente, marrom e cinza
		2Ag3	Argila siltosa arenosa, com pedregulhos e mat. Orgânica, plástica, mole, cinza e marrom
	Arenoso	2Ar1	Areia fina e média argilosa, pouco plástica, fofa, marrom e cinza
		2Ar2	Areia média e grossa pouco argilosa, fofa e cinza
		2Ar3	Areia média e grossa argilosa com pedregulhos, fofa a med. compacta, cinza e marrom
Formação São Paulo (Terciário)	Argiloso (argilas vermelhas)	3Agp1	argila siltosa pouco arenosa, porosa, de consistência mole a média, vermelha e amarela
		3Agp2	argila siltosa pouco arenosa, de consistência média a rija, vermelha
	Argiloso (argilas variegadas)	3Ag1	Argila siltosa pouco arenosa, de consistência rija a dura, variegada (amarela, cinza e vermelha)
		3Ag2	Argila arenosa pouco siltosa, de consistência média a dura, variegada (amarela, cinza e vermelha)
	Arenoso	3Ar1	Areia fina a média argilosa medianamente compacta a compacta, amarela e vermelha
		3Ar2	Areia de granulação variada argilosa com pedregulhos finos e médios, medianamente compacta a compacta, vermelha
Formação Resende (Terciário)	Argiloso	4Ag1	Argila siltosa pouco arenosa (areia fina e média) medianamente plástica a plástica, rija a dura, cinza esverdeada
		4Ag2	Argila arenosa (areia fina e média), pouco micácea, pouco a medianamente plástica, rija a dura, cinza
		4Ag3	Argila arenosa, pouco siltosa, com pedregulhos variados, medianamente plástica a plástica, rija a dura, cinza e marrom
	Arenoso	4Ar1	Areia fina e média argilosa, pouco siltosa, pouco micácea, pouco plástica, pouco compacta a compacta, cinza amarela
		4Ar2	Areia média e grossa, pouco siltosa, medianamente a muito compacta, cinza amarela
		4Ar3	Areia média e grossa, pouco siltosa, com fragmentos de quartzo e pedregulhos variados, medianamente a muito compacta, cinza amarela
Embasamento Cristalino (Pré-Cambriano)		5SR1	Silte argilosopouco arenoso, pouco a medianamente compacto, cinza avermelhado (solo residual maduro)
		5SR2	Silte arenoso (areia fina e média), micáceo, compacto a muito compacto, cinza escuro (solo residual jovem)
		5SP	Silte argiloso pouco arenoso (areia fina e média), micáceo, compacto a muito compacto, verde (saprolito)
		5R	Gnaiss de textura protomilonítica, granulação média, foliação subvertical a 60° - 70°, fraturas inclinadas (45°) a subverticais, pouco a medianamente alterado (A2/A3), coerente (C2), fraturado (F2)

3.3.1. Embasamento cristalino

O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo é constituído, principalmente, por rochas do Complexo Embu, Grupos São Roque e Serra do Itaberaba e corpos intrusivos, segundo Monteiro et al. (2012). Há ainda rochas de ocorrência mais restrita na RMSP, pertencentes aos terrenos da Nappe Socorro-Guaxupé, Grupo Votuverara, Complexo Costeiro e Complexo Pico do Papagaio, de acordo com Gurgueira (2013).

O Complexo Embu, limitado pelos sistemas de falhas de Taxaquara e do Rio Jaguari e pela Falha de Cubatão, possui ampla ocorrência no embasamento da bacia e localiza-se, preferencialmente, na porção centro-sul da RMSP. É constituído por três principais litotipos, de acordo com Juliani (1992), sendo eles ortognaisses polimigmatizados e polideformados, metassedimentos com elevado grau metamórfico e sericita xistos com grau metamórfico baixo. Os Grupos São Roque e Serra do Itaberaba, limitados pelo sistema de falhas Taxaquara-Jaguari e a Falha de Jundiuvira, estão localizados na porção norte da RMSP. São constituídos, principalmente, por filitos, quartzitos e metarenitos, além de rochas metavulcânicas e metassedimentares secundárias (Rodriguez, 1998). Os granitoides intrusivos, de composição tonalítica a granítica (Juliani, 1992), correspondem a batólitos e stocks aflorantes em altos morfológicos, por vezes, parcialmente cobertos por sedimentos da Bacia de São Paulo.

De acordo com Vargas (1953), os solos tropicais brasileiros podem ser classificados como solo residual maduro, solo residual jovem e rocha alterada. Os horizontes litológicos da RMSP que dizem respeito ao solo residual do embasamento da bacia correspondem a um manto de intemperismo de rochas gnáissicas, graníticas, migmatitos, xistos ou metassedimentos, alcançando de 1 até 2 dezenas de metros de espessura (Kutner e Bjornberg, 1997).

3.3.2. Coberturas sedimentares terciárias

A Bacia Sedimentar de São Paulo apresenta área pouco superior a 1000km², com distribuição irregular dos sedimentos terciários. A mesma pertence ao conjunto de bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil – RCSB, e localiza-se, especificamente, no Planalto Paulistano. Seu eixo maior está disposto entre Arujá e Embu-Guacú, com extensão de 75km, e seu eixo menor, entre Santana e Santo André, com extensão de 25km. Sabe-se ainda que a Bacia é um hemigraben, e suas bordas norte e sul são controladas pelas zonas de cisalhamento Taxaquara-Jaguari e embasamento cristalino, respectivamente. (Riccomini e Coimbra, 1992).

Esta foi preenchida por sedimentos paleógenos, que deram origem à Formação Resende, Formação Tremembé e Formação São Paulo, pertencentes ao Grupo Taubaté, além de sedimentos neógenos, da Formação Itaquaquecetuba. Posteriormente, estes foram retrabalhados por falhas pós-sedimentares (Monteiro et al., 2012).

Os solos pertencentes à Bacia Sedimentar de São Paulo apresentam grande heterogeneidade, a qual está relacionada sua origem tectônica, bem como sedimentação alternada entre regimes torrencial e lacustre. Além disso, processos intempéricos também influenciaram em aspectos desses solos, resultando no pré-adensamento por secamento, laterização de solos mais superficiais e cor variegada em determinadas porções (Massat, 2012).

A Formação Resende constitui-se de um sistema de leques aluviais proximais, dispostos próximo ao contato com o embasamento, e leques distais, associados a rios entrelaçados. Os primeiros são compostos por arenitos e lamitos arenosos, interdigitados com conglomerados polimíticos, enquanto os últimos apresentam arenitos intercalados com lamitos. Esta unidade possui espessura em torno de 256m, e corresponde a 80% do preenchimento sedimentar da Bacia Sedimentar de São Paulo (Monteiro et al., 2012). Tende a ocorrer abaixo da cota 750m, e seus horizontes litológicos são contínuos e espessos, sendo que aqueles conhecidos popularmente como ‘taguás’ são classificados como 2Ag1 e 2Ag2 (Kutner e Bjornberg, 1997). A camada taguá, por sua vez, é composta por argilas com pressões de pré-adensamento bastante elevadas e com cor cinza-esverdeada (Massat, 2012).

A Formação Tremembé se apresenta em camadas tabulares, interdigitada vertical e lateralmente com os sedimentos da Formação Resende. Com aproximadamente 60 metros de espessura, é composta por argilitos ricos em matéria orgânica, com cor cinza-escuro a preto, intercalados com argilitos verdes maciços (Monteiro et al., 2012).

A Formação São Paulo ocorre em nível acima de 750m, e seus horizontes litológicos apresentam conformação geométrica irregular e interdigitada. Em níveis acima de 785m, há o recobrimento das argilas vermelhas porosas, classificadas como 3Agp1 e 3Agp2, as quais apresentam resistência baixa à penetração (Kutner e Bjornberg, 1997). Esta camada superficial de argila avermelhada, chamada de “argilas porosas”, possui espessura de até 10 metros. Original de um sistema fluvial meandrante (Riccomini, 1989), esta unidade é composta por arenitos grossos e conglomeráticos com estratificações cruzadas, siltitos e argilitos laminados (os quais podem conter fósseis), arenitos médios e grossos, e sedimentos rítmicos e laminados mais finos, sendo eles provenientes de canais meandrantos, meandros abandonados, diques marginais rompidos e planície de inundação, respectivamente (Monteiro et al., 2012). Outra característica desta unidade são couraças limoníticas impermeáveis dispostas na interface entre camadas arenosas e argilosas, conferindo impermeabilidade no topo das camadas de argila (Riccomini e Coimbra, 1992).

A Formação Itaquaquecetuba é composta por arenitos arcoseanos com estratificação cruzada de grande porte, além de conglomerados basais com seixos de quartzito e quartzo, ou brechas com fragmentos de argilitos, resultantes do sistema fluvial entrelaçado. Esta unidade está assentada sobre as rochas do embasamento pré-cambriano, no entanto, não se verifica relação com os sedimentos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo (Riccomini, 1989).

3.3.3. Coberturas sedimentares quaternárias

As coberturas quaternárias estão dispostas próximas às drenagens atuais que cortam a Bacia de São Paulo, entre elas os Rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí (Massat, 2012). Apresentam idade pleistocênica a holocênica e espessura menor que 10 metros. São representadas por coluviões descontínuos argilo-arenosos, com lentes argilosas a conglomeráticas, podendo conter madeira fóssil e cascalheiras em sua base; e por depósitos de aluviões subordinados aos coluviões, compostos camadas arenosas gradacionais, grossas a finas, porções argilosas ricas em matéria orgânica e cascalheiras na base (Monteiro et al., 2012).

Os depósitos aluvionares apresentam-se como pequenas bacias dispostas superficialmente sobre alinhamentos de drenagens antigas ou recentes, com espessuras entre 8 e 10 metros. São compostos por areias finas e argilas orgânicas sobrepostas a areias grossas e cascalhos em sua base (Kutner e Bjornberg, 1997).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Norma Brasileira ABNT NBR 11682

A primeira edição da Norma Brasileira ABNT NBR 11682 foi elaborada em 1991 e, a partir de sua revisão técnica em 2009, foi gerada uma segunda edição, substituindo e cancelando a anterior. Este documento é comumente utilizado no Brasil como referência para a realização de obras de estabilização de encostas e taludes de corte e de aterro, representados esquematicamente pela **Figura 4**, de modo que define todos os requisitos necessários e exigidos para o estudo e controle da estabilidade dessas áreas. A escolha de tal método para a análise de segurança no presente projeto é justificada pela sua ampla aplicação em estudos de estabilidade de encostas, excluindo apenas aqueles relacionados a

taludes de cavas de mineração, de barragens, de subsolos de prédios e de cavas de metrô, além de aterros sobre solos moles e encontro de pontes.

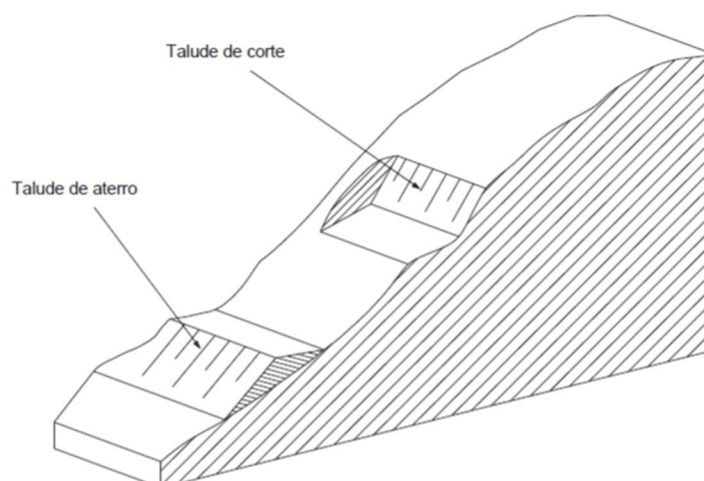


Figura 4: Representação esquemática dos taludes de descritos pela Norma (de corte e de aterro). (Norma Brasileira ABNT NBR 11682)

De modo geral, a Norma Brasileira ABNT NBR 11682 tem como objetivo orientar os estudos relacionados à estabilidade de encostas e taludes em áreas pré-definidas, guiando a análise, projeto, execução, implantação e acompanhamento de obras ou serviços, a partir da especificação dos procedimentos e intervenções necessários para a manutenção da segurança do local diante de possíveis deslizamentos de massas. Em outras palavras, esta Norma descreve como deve ser realizada a análise de estabilidade de áreas de encostas e indica os procedimentos necessários para a realização de intervenções.

Com base na Norma Brasileira ABNT NBR 11682, os estudos e obras em áreas de encostas devem obedecer as seguintes etapas: procedimentos preliminares, investigações geológico-geotécnicas, projeto, execução de obras, acompanhamento, manutenção e monitoramento. Dentre todos os itens citados, assume-se que a fase 'Projeto' é a de maior importância para a compreensão deste trabalho, uma vez que essa etapa define os métodos propostos pela Norma Brasileira ABNT NBR 11682 para o cálculo da estabilidade de encostas, assim como a metodologia utilizada para o cálculo dos valores dos fatores de segurança.

4.2. Proposta para determinação do Fator de Segurança Parcial

No presente trabalho, os coeficientes de segurança parciais foram obtidos da seguinte forma:

$$FS_{parcial} = \frac{\text{Parâmetro máximo}}{\text{Parâmetro mínimo}} \quad [4]$$

Desta maneira, quando se tem uma coesão máxima de 40 kPa e um valor mínimo de 5 kPa, por exemplo, o fator de segurança parcial seria igual a 8. A coesão efetiva ponderada a ser utilizada, por sua vez, seria definida pela razão entre a coesão efetiva média e o fator de segurança parcial calculado, conforme descreve a **Equação 5**. Quando a coesão mínima é zero, este valor é usado diretamente. O mesmo raciocínio se aplica ao ângulo de atrito.

$$Parâmetro_{ponderado} = \frac{Parâmetro\ médio}{FS_{parcial}} \quad [5]$$

Salienta-se que é necessário se aprofundar o estudo sobre esta metodologia para que se possa obter avaliações de segurança compatíveis com as obras. O fator de segurança a ser obtido quando se aplica os coeficientes de segurança parciais deve ser 1,1, conforme prescreve a Norma Brasileira ABNT NBR 11682.

4.3. Cálculo do fator de segurança

O fator de segurança (FS), ou coeficiente de segurança, é determinado em análises de estabilidade pelo método do equilíbrio limite e permite concluir se um talude apresenta resistência suficiente para suportar o efeito das tensões cisalhantes ao longo de prováveis superfícies de ruptura. De acordo com Das (2007), a superfície de ruptura mais provável é denominada superfície crítica, na qual o valor do fator de segurança é mínimo para a geometria, estratigrafia e parâmetros dos solos envolvidos. O autor define o fator de segurança em relação à resistência do solo da seguinte forma:

$$FS = \frac{Resistência\ média\ ao\ cisalhamento\ do\ solo}{Resistência\ média\ ao\ cisalhament\ desenvolvida\ ao\ longo\ da\ superfície\ potencial\ de\ ruptura} \quad [6]$$

A resistência ao cisalhamento do solo, por sua vez, é dada em função dos parâmetros coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ'). Desta forma, o fator de segurança em relação à coesão (F_c) e o fator de segurança em relação ao ângulo de atrito (F_ϕ) apresentam o mesmo valor que o fator de segurança em relação à resistência.

De acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 11682, o fator de segurança é definido como "valor da razão entre a resistência (tensão cisalhante máxima possível) e a resistência mobilizada (tensão cisalhante atuante ao longo da superfície de ruptura)". Em outros termos, o fator de segurança possui relação direta com a resistência ao cisalhamento do material

presente no talude. Consequentemente, um maior o valor do fator de segurança implica em menor suscetibilidade à ruptura.

Assume-se que um talude está em estado de ruptura iminente quando apresenta o valor de fator de segurança igual a um. Entretanto, de acordo com GEO-RIO (2000), devido à variabilidade dos parâmetros geotécnicos envolvidos no estudo de estabilidade, ou mesmo por conta de simplificações dos métodos comumente utilizados para a análise, é possível encontrar casos de taludes instáveis mesmo com fator de segurança superior à unidade. Ainda assim, normalmente o valor de fator de segurança igual a 1,5 é considerado aceitável para um projeto de engenharia, caracterizando um talude estável.

Segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 11682, de modo geral, o fator de segurança deve refletir as incertezas naturais nas etapas de projeto e construção de obras em áreas de encostas e taludes, considerando a possibilidade de ruptura em situações presentes ou futuras ao longo da vida útil do talude. Portanto, com relação às análises de segurança de taludes ou encostas e ao uso do fator de segurança, a Norma Brasileira ABNT NBR 11682 assume que:

- Em análises de segurança usuais (com a aplicação do método de equilíbrio limite), as deformações que ocorrem naturalmente em encostas ou taludes são desprezadas;
- Existe uma relação direta entre resistência ao cisalhamento dos materiais do talude e o valor do fator de segurança. Isso implica que, quanto maior o valor do fator de segurança, maior será a segurança contra a ruptura do talude;
- A segurança real de encostas pode variar significativamente em função da variabilidade do material presente.

Na metodologia mais usual proposta pela Norma Brasileira ABNT NBR 11682, o valor do fator de segurança é determinado em função dos aspectos relacionados com a possibilidade de perdas de vidas humanas, danos materiais e danos ao meio ambiente. Com base nestes riscos envolvidos, é possível classificar o projeto em níveis de segurança alto, médio ou baixo, conforme as **Tabelas 2 e 3** que seguem. O enquadramento na classificação em questão deve ser justificado pelo profissional geotécnico responsável pela obra, estando em comum acordo com o contratante do projeto e considerando as exigências dos órgãos públicos competentes:

Tabela 2: Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas em áreas de encostas e taludes.
(Norma Brasileira ABNT NBR 11682)

Nível de Segurança	Critérios (Possibilidade de Perda de Vidas Humanas)
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas; ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas; ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas; ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Tabela 3: Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais em áreas de encostas e taludes. (Norma Brasileira ABNT NBR 11682)

Nível de Segurança	Critérios	
	Riscos de Danos Materiais	Riscos de Danos Ambientais
Alto	Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais	Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Locais próximos a propriedades de valor moderado	Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Locais próximos a propriedades de valor reduzido	Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Ainda com base na Norma Brasileira ABNT NBR 11682, além de levar em conta os níveis de segurança apresentados nas Tabelas 2 e 3, o fator de segurança mínimo a ser adotado no projeto é definido com base nas análises de estabilidade interna (associada a superfícies potenciais de escorregamento localizadas) e externa (superfícies de escorregamento globais) do maciço. Os fatores de segurança definidos a partir desses critérios estão indicados na **Tabela 4**:

Tabela 4: Fatores de segurança mínimos contra deslizamentos com base nos níveis de segurança de encostas e taludes. (Norma Brasileira ABNT NBR 11682)

		Nível de Segurança Contra Danos a Vidas Humanas		
		Alto	Médio	Baixo
Nível de Segurança Contra Danos Materiais e Ambientais	Alto	1,5	1,5	1,4
	Médio	1,5	1,4	1,3
	Baixo	1,4	1,3	1,2

Os valores apresentados na Tabela 4 são válidos para todos os casos de carregamento previstos pelo profissional geotécnico responsável pela obra, incluindo situações de sobrecargas, ações de sismos, alterações esperadas na geometria, entre outras. Entretanto, estes fatores de segurança mínimos não se aplicam em casos de rastejo, voçorocas, ravinas e rolamento ou queda de blocos.

Caso os resultados dos ensaios geotécnicos apresentem grande variabilidade, a Norma Brasileira ABNT NBR 11682 indica duas alternativas. Uma delas propõe que os valores de fator de segurança apresentados na Tabela 4 sejam majorados em 10%, enquanto a outra possibilidade consiste na aplicação do enfoque semiprobabilístico. Na última alternativa, a análise de estabilidade de encostas é realizada por meio da estimativa dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, levando em conta a sua variabilidade estatística. O levantamento estatístico, por sua vez, considera a incerteza média da resistência ao cisalhamento ao longo de uma superfície de ruptura potencial, além da incerteza relacionada à amostragem reduzida, de modo que a Norma Brasileira ABNT NBR 11682 sugere uma quantidade mínima de 12 amostras para cada camada de solo na região de estudo. Os parâmetros de resistência, obtidos por meio de ensaios de cisalhamento direto ou ensaios triaxiais, são estimados por meio da análise de regressão linear, em função do nível de tensão.

A Norma Brasileira ABNT NBR 11682 determina ainda que, em determinadas situações, quando se tem uma grande variabilidade nos parâmetros, e para lascas e blocos rochosos, os fatores de segurança devem ser parciais, dados em função das incertezas dos valores de γ , ϕ' , c' . A situação deve ser justificada pelo profissional geotécnico, e o método de cálculo deve considerar o valor do fator de segurança igual a 1,1. Este último procedimento será adotado como uma das técnicas para a análise de estabilidade neste projeto. Salienta-

se que há aqui uma diferença entre as visões apresentadas pela Norma e a que será estudada no presente trabalho. Tendo em vista que os dados compilados não são em número suficiente para se realizar uma análise estatística, uma proposta de metodologia será apresentada para determinar os coeficientes parciais.

4.4. Compilação de dados de resistência de solos

Com base na literatura disponível nas bibliotecas físicas e virtuais do Instituto de Geociências da USP, do prédio de Engenharia Civil e Ambiental da Escola Politécnica da USP e da USP de forma geral, foi possível realizar uma compilação de dados geotécnicos dos solos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Esses dados referem-se, especificamente, ao peso específico (γ) e aos parâmetros de resistência de tais solos, sendo eles coesão efetiva (c') e ângulo de atrito efetivo (ϕ').

Os solos estudados, por sua vez, têm como origem o embasamento cristalino pré-cambriano, o qual abriga as rochas fontes dos solos residuais estudados, os sedimentos terciários da Formação Resende e Formação São Paulo, coberturas quaternárias, que correspondem aos solos aluvionares da região, de idade pleistocênica a holocênica, além de solos tecnogênicos, pertencentes a aterros.

Entre os trabalhos utilizados para tal levantamento, estão:

- Os artigos de Kutner e Bjornberg (1997) e Oliveira et al. (2017), a respeito de aspectos geológicos e geotécnicos de maciços e solos sedimentares pertencentes a Região Metropolitana de São Paulo;
- Estudos da Companhia do Metropolitano de São Paulo, referentes aos anos de 1989 e 1990, citados por Massad (2012), e ao ano de 1994, citados por Gurgueira (2013), em sua tese de mestrado;
- Relatórios de ensaios geotécnicos de laboratório, realizados pela empresa EPT em 2004, 2007 e 2010, e por Futai e Gonçalves em 2007, citados por Futai et al. (2012);
- Estudos de estabilidade de Futai (2010), citados por Futai et al. (2012);
- Teses de doutorado de Cozzolino (1972), a respeito dos sedimentos que constituem a Bacia de São Paulo;
- Dissertações de mestrado de Yoda (2000), sobre influência da deformação na rigidez de um solo; de Franch (2008), sobre estabilidade de taludes; de Cecílio Jr. (2009), a respeito de comportamento de solos de gnaiss, citada por Futai et al. (2012); de Lima

- (2009), sobre interação entre solo e grampo; e de Godóis (2011), sobre comportamento de deslizamento ativo;
- Capítulos dos livros *Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, Solos da Cidade de São Paulo, Solos do Interior de São Paulo, Solos e Rocha*, escritos respectivamente por Massad (1980), Massad (1992), Pinto et al. (1993), Pellogia (1997), a respeito de propriedades geotécnicas e geomecânicas dos solos da Região Metropolitana de São Paulo;
 - Publicação da Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia (ABEF), de 1989;
 - Tese de Vargas (1951) para a Cátedra de Mecânica de Solos e Fundações, citada por Futai et al. (2012).

Os dados compilados a partir destes trabalhos estão apresentados no Anexo 1.

De acordo com GEO-RIO (2000), análises da estabilidade podem ser realizadas em termos de tensões totais ou tensões efetivas, sendo as últimas consideradas mais adequadas para o estudo de estabilidade de encostas e, conseqüentemente, para este projeto. Contudo, a análise em termos de tensão efetiva exige o conhecimento acurado da pressões de água. Quando a análise é realizada em termos de tensões totais, por sua vez, apenas um parâmetro é utilizado, sendo ele a resistência não drenada.

A respeito dos dados coletados, a grande maioria tem como origem ensaios de laboratório, de compressão triaxial ou cisalhamento direto. Estes oferecem parâmetros de resistência efetivos, sendo os mais adequados para o tratamento e determinação do fator de segurança para estudo de estabilidade do presente projeto.

Entretanto, alguns dados extraídos de Oliveira et al. (2017) são empíricos, provenientes de ensaios de campo - especificamente, ensaios DMT. Para o caso de solos arenosos, ensaios DMT fornecem ângulo de atrito efetivo, desde ocorra geração de poropressão durante o procedimento. No presente projeto, por sua vez, os dados com a referida origem são provenientes de solos residuais e solos tecnogênicos, não configurando a condição estabelecida. Portanto, os dados provenientes de ensaios DMT foram utilizados apenas para a análise da variação dos parâmetros de resistência dos solos da Região Metropolitana de São Paulo, mas não foram considerados para a verificação influência da variação dos parâmetros de resistência de tais solos na análise de estabilidade de taludes, uma vez que oferecem coesão e ângulo de atrito totais, e não efetivos.

4.5. Programa para o cálculo do fator de segurança

O software SLOPE/W é um dos produtos oferecidos pela empresa GEO SLOPE International Ltd. Ele é utilizado em estudos de estabilidade de encostas e taludes e pode ser aplicado em projetos de geotecnia, engenharia civil e engenharia de minas.

O programa é capaz de analisar problemas de estabilidade para vários tipos de superfície de deslizamento, sob diferentes condições de pressão de poros d'água, condições de carga e sobrecarga, métodos de análise e propriedades do solo. O SLOPE/W aplica o método do equilíbrio limite para realizar o cálculo do coeficiente de segurança e suporta uma lista abrangente de modelos de materiais, dentre eles o modelo Mohr-Coulomb, que será empregado no presente estudo.

Os comandos realizados no software para a análise de estabilidade estão descritos no Anexo 2. O talude estudado neste projeto, cujos dados de geometria e nível d'água foram adotados para a determinação do fator de segurança, está localizado no campus da Universidade de São Paulo, na Av. Intersetorial. Este foi estudado por Mori (2016), é composto originalmente por solo saprolítico migmatítico, e sua localização está representada na **Figura 5** a seguir:

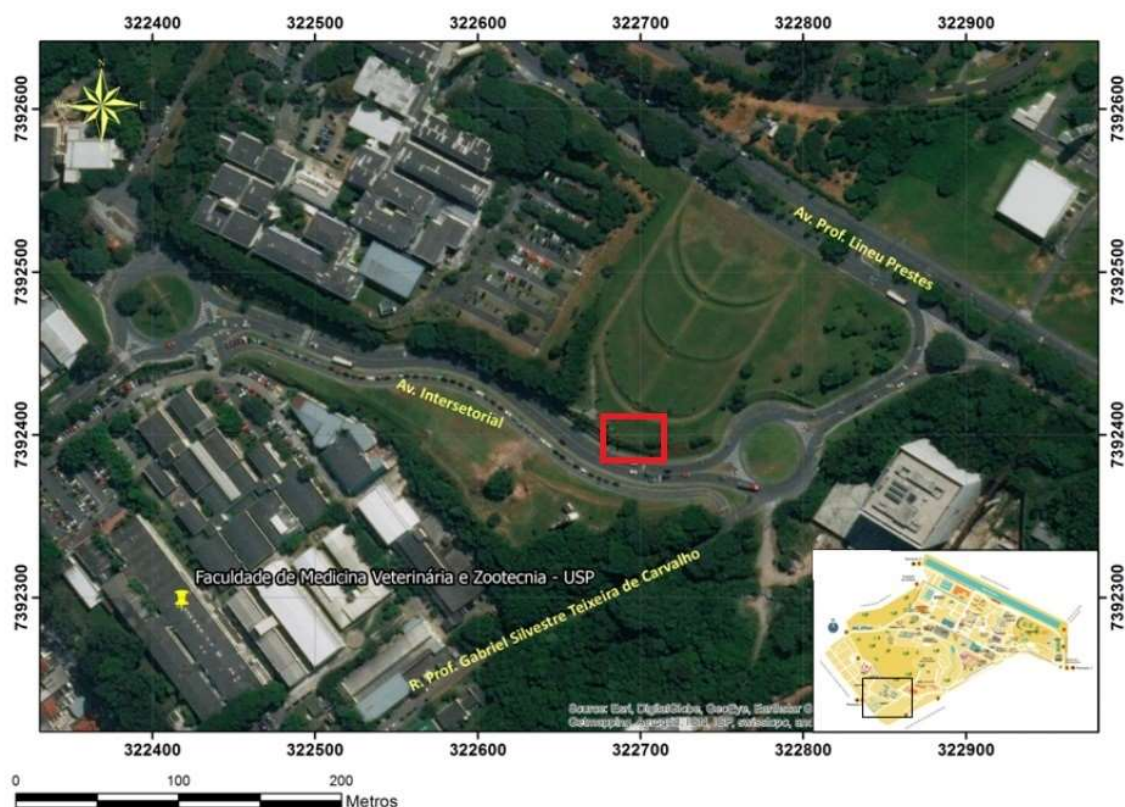


Figura 5: Localização do talude estudado. (Google Earth)

5. RESULTADOS OBTIDOS: INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES

5.1. Variabilidade do peso específico e dos parâmetros de resistência

5.1.1. Solos tecnogênicos

Provenientes de aterros, os solos tecnogênicos apresentam materiais diversos, predominantemente argilosos, com presença de pedregulhos e/ou matéria orgânica. As estimativas a seguir foram determinadas com base em ensaios empíricos (ensaios DMT) de

4 amostras de solos tecnogênicos da RMSP, disponíveis na literatura. Portanto, diferente dos parâmetros de resistência levantados para as demais unidades geológicas da região, os valores de coesão e ângulo de atrito dos solos tecnogênicos compilados no presente projeto não são efetivos, e portanto, não serão usados para a determinação do fator de segurança.

Peso específico

Os valores de peso específico dos solos tecnogênicos da RMSP apresentaram variação entre 15,0 e 19,0 kN/m³, de modo que 75% dos dados se distribuem no intervalo entre 15,0 e 17,0 kN/m³.

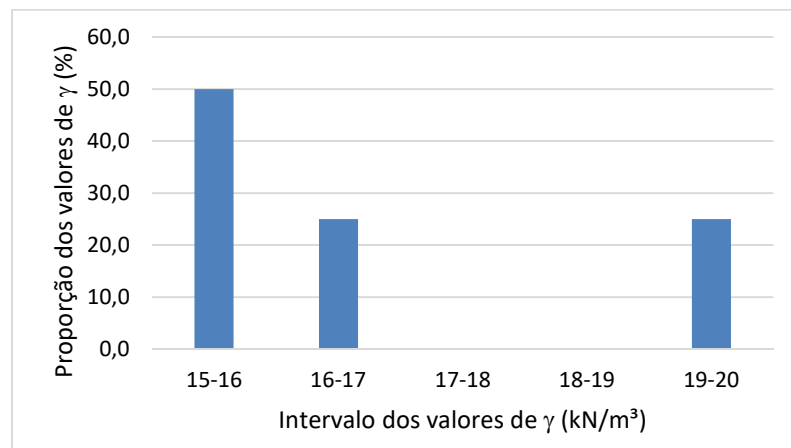


Figura 6: Representação da distribuição dos valores de peso específico dos solos tecnogênicos, provenientes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Coesão

Dos resultados levantados, todos apresentaram valor de coesão igual a 10 kPa.

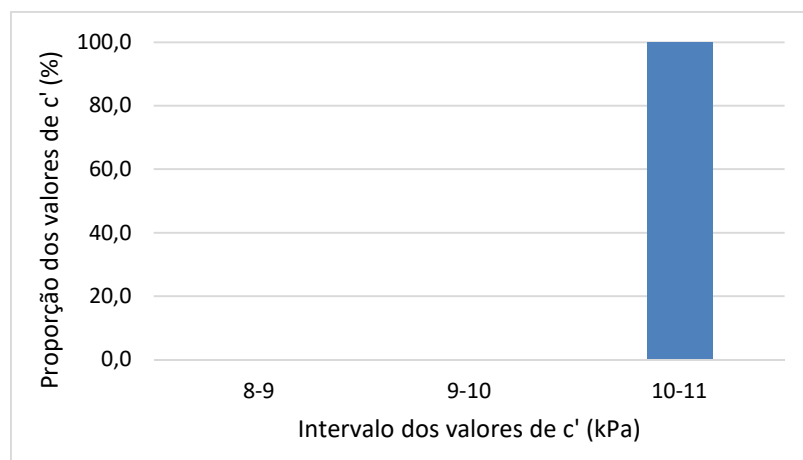


Figura 7: Representação da distribuição dos valores de coesão efetiva dos solos tecnogênicos, provenientes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ângulo de atrito

Conforme representado no histograma, metade das amostras analisadas apresentou ângulo de atrito equivalente a 20°, enquanto a outra metade apresentou o parâmetro em questão igual a 24°.

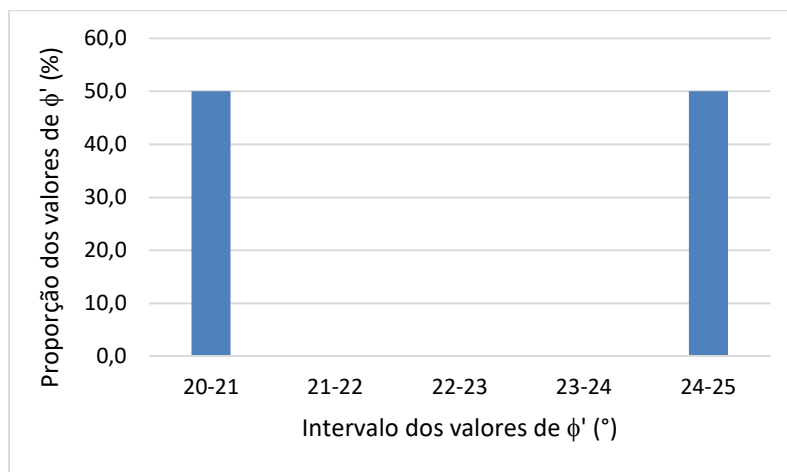


Figura 8: Representação da distribuição dos valores de ângulo de atrito efetivo dos solos tecnogênicos, provenientes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

5.1.2. Solos quaternários

Os solos presentes nos depósitos aluvionares quaternários da RMSP podem ser argilosos, classificados como 2Ag1, 2Ag2, 2Ag3 ou 2Tf, ou arenosos, classificados como 2Ar1, 2Ar2 ou 2Ar3, de acordo com o modelo usado nas obras da Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP), inspirado na classificação proposta por Kutner e Bjornberg (1997).

Os valores compilados no presente trabalho, referentes ao peso específico e aos parâmetros de resistência dos solos quaternários da RMSP, foram obtidos por meio de ensaios laboratoriais triaxiais. Os resultados foram determinados a partir de seis amostras do solo 2Tf, duas amostras para cada solo argiloso quaternário (com exceção do solo 2Tf) e três amostras para cada solo arenoso quaternário.

Peso específico

Todas as amostras dos solos 2Ag1, 2Ag2 e 2Ag3 apresentaram valores de peso específico igual a 16,0 kN/m³. O solo 2Tf, por sua vez, classificado com turfa muito mole, apresenta peso específico menor, entre 13,0 e 14,0 kN/m³. O peso específico dos solos 2Ar1, 2Ar2 e 2Ar3 é igual para todas as amostras e pouco maior que o dos solos quaternários argilosos, equivalente a 17,00 kN/m³. Portanto, pode-se observar uma provável associação

entre a granulometria dos solos quaternários e seu peso específico com base nos dados levantados no presente projeto.

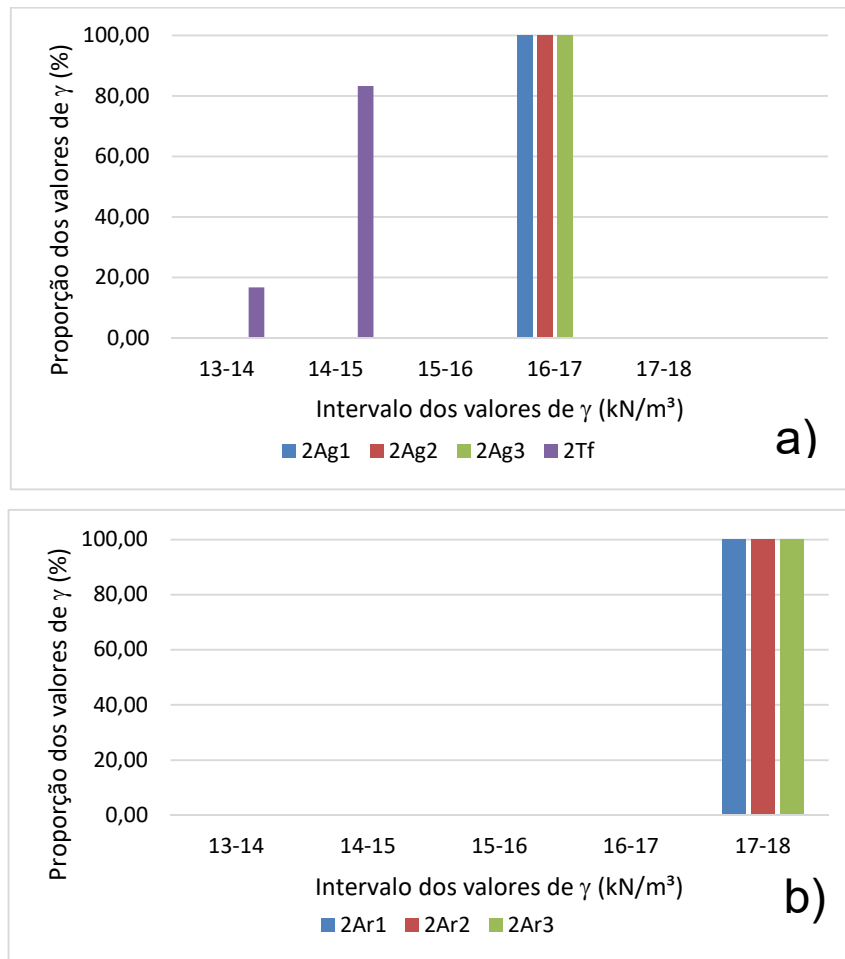


Figura 9: Representação da distribuição dos valores de peso específico dos solos quaternários, argilosos em 9a e arenosos em 9b, provenientes de depósitos aluvionares da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Coesão efetiva

Com exceção do solo 2Tf, os solos quaternários argilosos apresentam todos valores de coesão efetiva igual a 8,0 kPa, maiores do que os dos solos quaternários arenosos, que apresentam todos coesão efetiva igual a 5,0kPa. A coesão efetiva do solo 2Tf, por sua vez, varia entre esses dois valores.

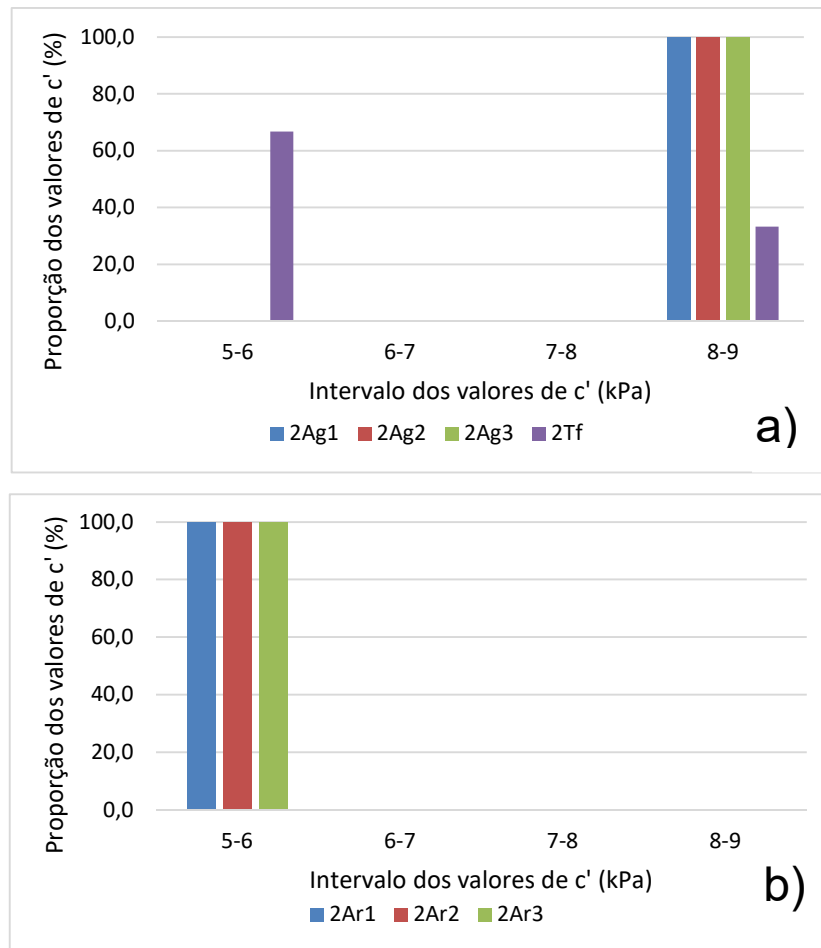


Figura 10: Representação da distribuição dos valores de coesão efetiva dos solos quaternários, argilosos em 10a e arenosos em 10b, provenientes de depósitos aluvionares da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ângulo de atrito efetivo

Assim como a tendência apresentada pelo parâmetro peso específico, os valores de ângulo de atrito efetivo se mostram maiores para os solos quaternários arenosos em relação aos solos quaternários argilosos. Aparentemente, com base na distribuição dos dados compilados, o valor do ângulo de atrito efetivo está diretamente relacionado com a granulometria do solo. Para o solo 2Tf, os valores de ângulo de atrito efetivo variam de 15 a 20°; para os solos argilosos 2Ag1, 2Ag2 e 2Ag3, todas as amostras apresentam ângulo de atrito efetivo igual a 20°; e para os solos arenosos 2Ar1, 2Ar2 e 2Ar3, o ângulo de atrito efetivo varia de 25° a 30°.

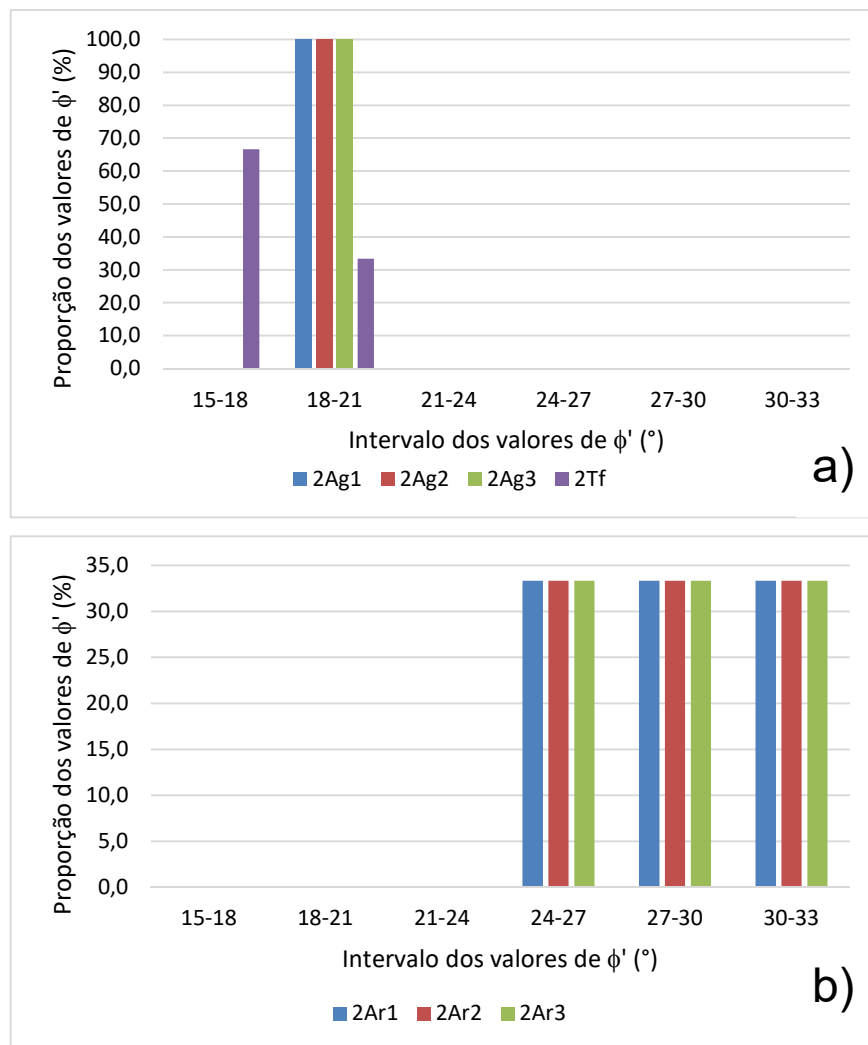


Figura 11: Representação da distribuição dos valores de ângulo de atrito efetivo dos solos quaternários, argilosos em 11a e arenosos em 11b, provenientes de depósitos aluvionares da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

5.1.3. Formação São Paulo

Dentre os solos terciários pertencentes a Formação São Paulo, estão as argilas vermelhas 3Agp1 e 3Agp2, as argilas variegadas 3Ag1 e 3Ag2 e as areias 3Ar1 e 3Ar2, de acordo com o modelo usado nas obras da Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP), inspirado na classificação proposta por Kutner e Bjornberg (1997).

Os valores compilados no presente trabalho, referentes ao peso específico e aos parâmetros de resistência dos solos da Formação São Paulo presentes da RMSP, foram obtidos por meio de ensaios laboratoriais triaxiais. A respeito dos solos argilosos, os valores de interesse foram determinados a partir de 26, 13, 20 e 65 amostras dos solos 3Agp1, 3Agp2, 3Ag1 e 3Ag2, respectivamente; e a respeito dos horizontes litológicos arenosos da Formação São Paulo, os dados foram determinados a partir de 5 amostras para cada um deles.

Peso específico

Para os solos argilosos variegados da Formação São Paulo, 3Ag1 e 3Ag2, a maior parte dos dados relativos a peso específico se distribuem entre 17,0 e 21,0 kN/m³, de modo que este intervalo contém, respectivamente, 100% e 92,3% dos dados referentes ao peso específico dos horizontes litológicos citados. Referente aos solos argilosos vermelhos da Formação São Paulo, suas distribuições aparentam ser sequenciais ao observarmos seu histograma, de modo que os dados do solo 3Agp1 se distribuem de 13,0 a 17,1 kN/m³, enquanto os dados do solo 3Agp2 se distribuem de 16,0 a 19,0 kN/m³. Os valores do peso específico dos solos arenosos da Formação São Paulo, por sua vez, são todos iguais 19,0 kN/m² e coincidem com o intervalo de máximos valores das argilas vermelhas dessa mesma unidade.

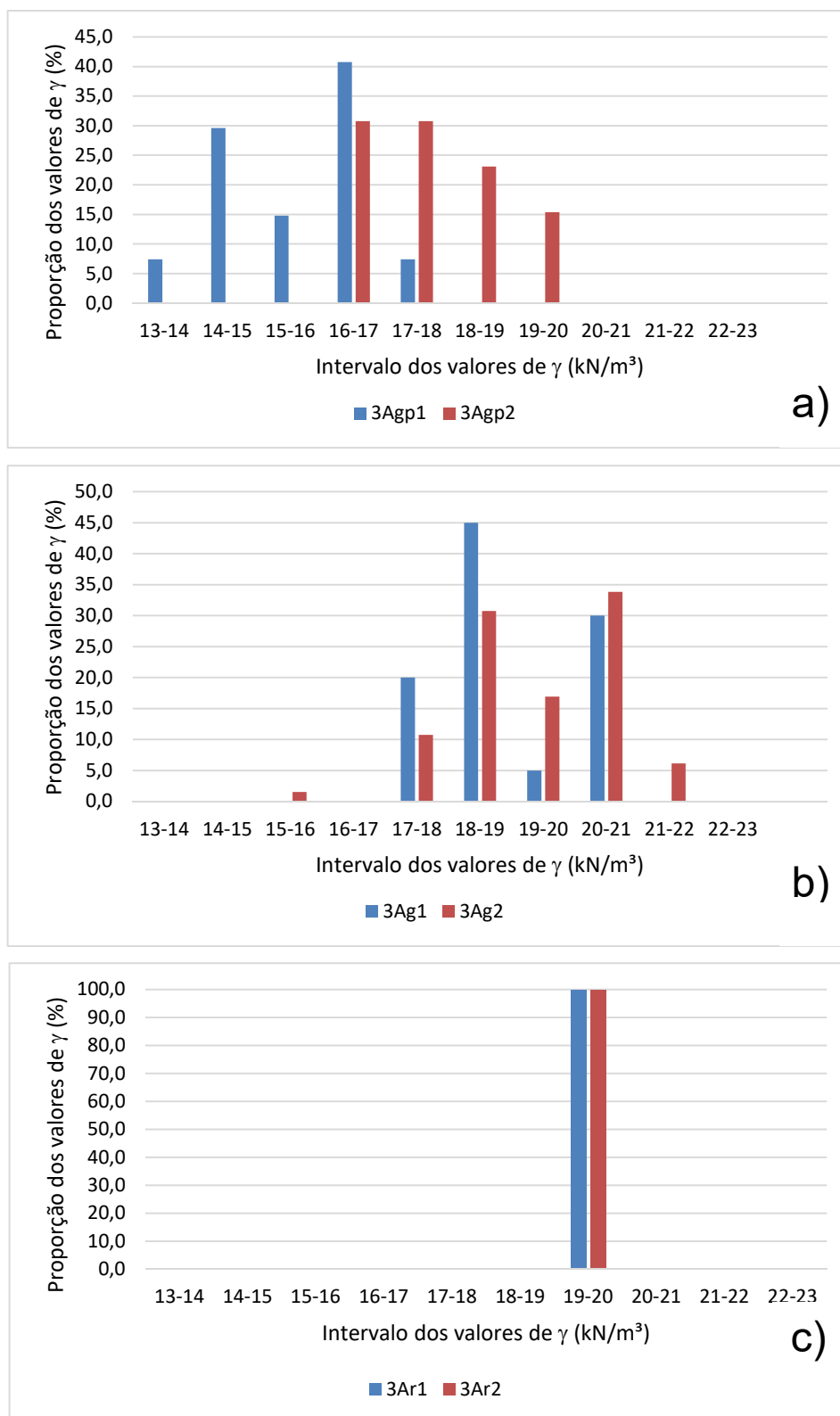


Figura 12: Representação da distribuição dos valores de peso específico dos solos da Formação São Paulo, sendo argilosos com cor vermelha em 12a, argilosos com cor variegada em 12b e arenosos em 12c, provenientes de depósitos terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Coesão efetiva

Os solos argilosos da Formação São Paulo apresentam uma distribuição mais ampla de resultados de coesão efetiva quando comparados aos solos arenosos desta mesma unidade. Os primeiros possuem valores de coesão efetiva entre 0,0 e 80,0 kPa, majoritariamente, enquanto os últimos apresentam 100% dos dados entre 1,0 e 3,0 kPa.

Ao analisar o comportamento das argilas vermelhas, especificamente, verificamos que sua coesão efetiva varia entre 0,0 e 88,2 kPa, sendo que os valores do solos 3Agp1 tendem a ser menores do que os valores apresentados por 3Agp2. As argilas variegadas, por sua vez, apresentam um campo de distribuição dos valores de coesão efetiva mais extenso se comparado ao das argilas vermelhas, variando entre 0,0 e 100,0 kPa, predominantemente. Os valores mínimos do horizonte litológico 3Ag1 são um pouco maiores do que os do solo 3Ag2, entretanto, ambos possuem valores de coesão efetiva discrepantes em relação aos demais dados, sendo eles 150,0kPa e 200kPa.

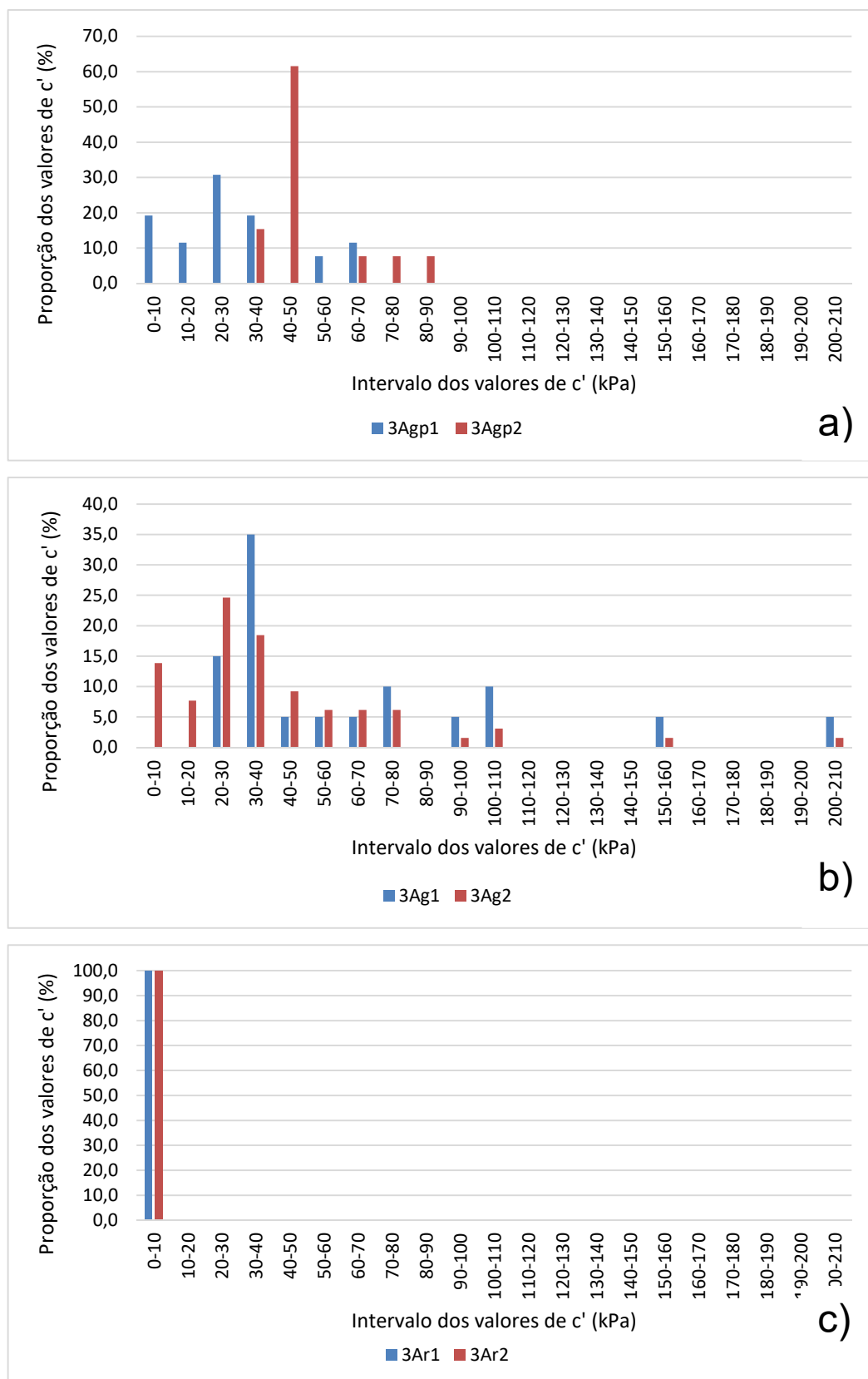


Figura 13: Representação da distribuição dos valores de coesão efetiva dos solos da Formação São Paulo, sendo argilosos com cor vermelha em 13a, argilosos com cor variegada em 13b e arenosos em 13c, provenientes de depósitos terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ângulo de atrito efetivo:

A distribuição do ângulo de atrito efetivo se mostrou bastante semelhante entre os quatro solos argilosos da Formação São Paulo, de modo que a maior parte dos dados se distribuiu entre 20° e 32°. Este intervalo compreende 96,2% dos valores de peso específico das amostras referentes ao solo 3Agp1, 100% dos valores referentes ao solo 3Agp2, 95% dos valores referentes ao solo 3Ag1 e 81,5% dos valores referentes ao solo 3Ag2. Os solos arenosos da Formação São Paulo, por sua vez, também apresentam distribuições de dados semelhantes entre si, variando entre 30° e 35°.

Assim como ocorre com os solos quaternários, os solos da Formação São Paulo com maior granulometria tendem a apresentar ângulos de atrito efetivo maiores. Tal associação pode ser verificada não apenas comparando os solos argilosos com os arenosos, mas também ao avaliar a distribuição dos dados da argila arenosa pouco siltosa 3Ag2, que atinge valores de ângulo de atrito efetivo superiores aos valores máximos apresentados pelas demais, que são argilas siltosas pouco arenosas.

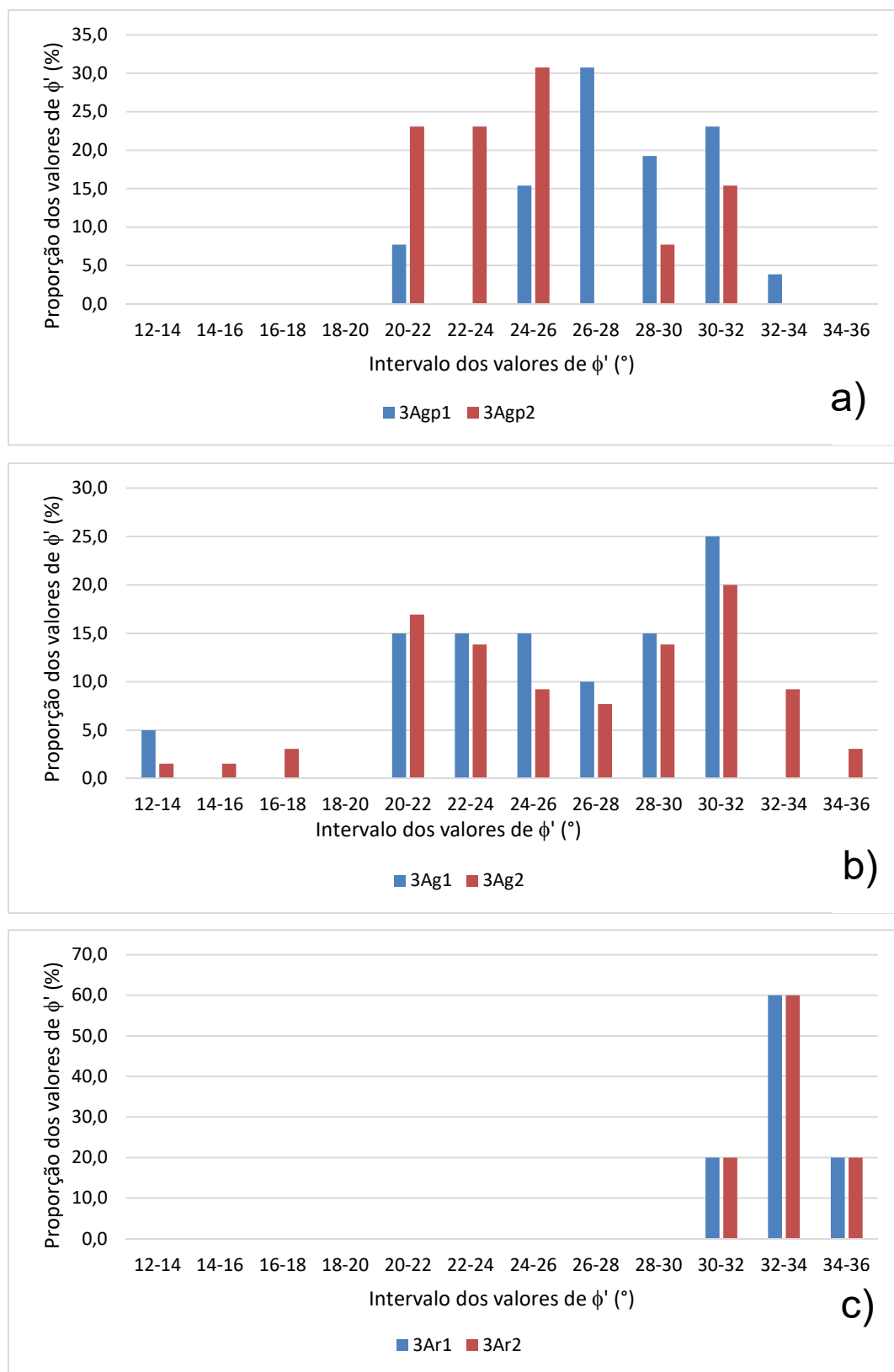


Figura 14: Representação da distribuição dos valores de ângulo de atrito efetivo dos solos da Formação São Paulo, sendo argilosos com cor vermelha em 14a, argilosos com cor variegada em 14b e arenosos em 14c, provenientes de depósitos terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

5.1.4. Formação Resende

De acordo com o modelo usado nas obras da Companhia do Metropolitano de São Paulo (CMSP), inspirado na classificação proposta por Kutner e Bjornberg (1997), os solos terciários argilosos da Formação Resende são denominados 4Ag1, 4Ag2 e 4Ag3, enquanto os solos terciários arenosos dessa unidade são denominam-se 4Ar1, 4Ar2 e Ar3. Tal ordem obedece os critérios de granulometria crescente, do solo mais fino ao mais grosso, com pedregulhos.

Os resultados aqui apresentados foram extraídos a partir de 11, 9 e 9 amostras dos solos 4Ag1, 4Ag2 e 4Ag3, respectivamente, e a partir de 5 amostras para cada horizonte litológico arenoso da Formação Resende. As amostras em questão foram todas submetidas a ensaios laboratoriais triaxiais.

Peso específico:

Os solos argilosos da Formação Resende apresentam distribuição dos valores de peso específico muito semelhante entre si, bem como sua proporção nos intervalos, conforme consta nos histogramas. Todos eles possuem valores de peso específico entre 19,0 e 22,0 kN/m³. Uma pequena discrepância é verificada apenas na proporção do dados do horizonte litológico 4Ag1, que é maior no intervalo de 19,0 a 20,0 kN/m³. Os solos 4Ag2 e 4Ag3, por sua vez, se concentram no intervalo de 20,0 a 22,0 kN/m³, com proporções iguais entre si.

Os solos arenosos 4Ar1, 4Ar2 e 4Ar3 possuem proporção idêntica dos valores de peso específico. Eles se distribuem entre 19,0 e 21,0 kN/m³, e concentram-se no intervalo de 20,0 a 21,0 kN/m³.

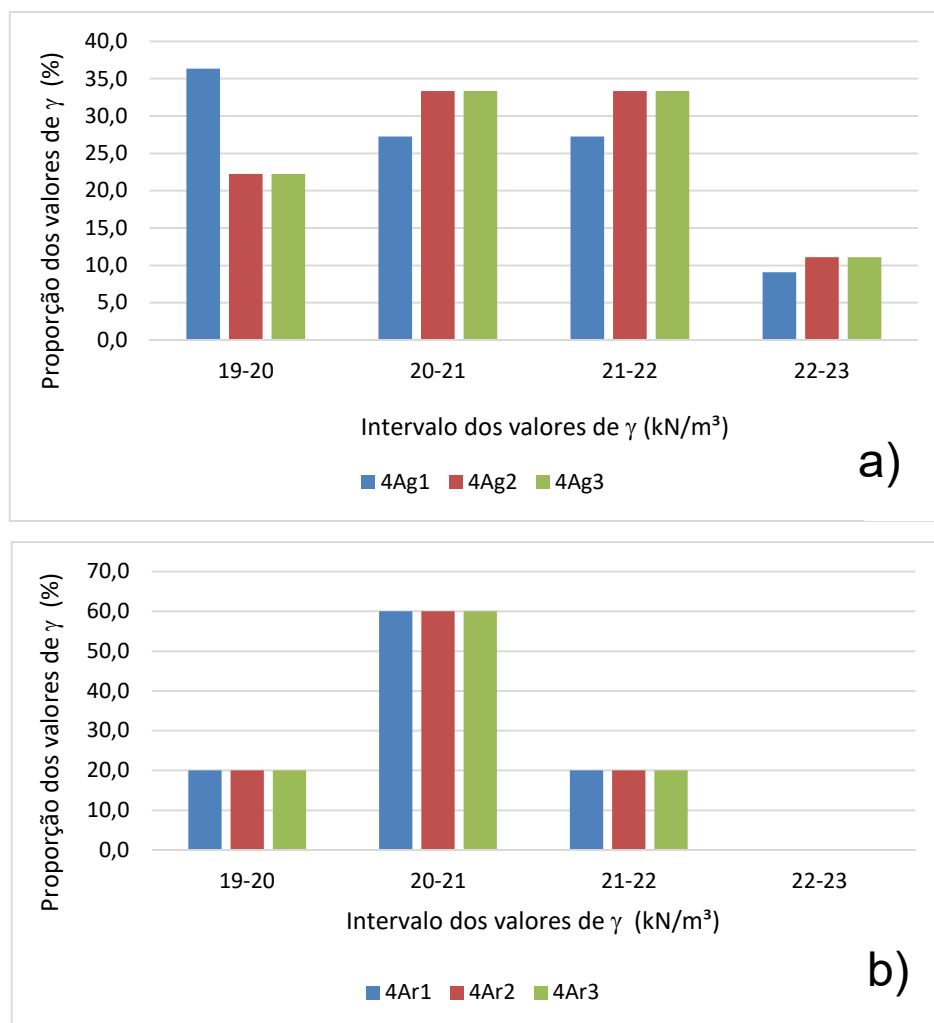


Figura 15: Representação da distribuição dos valores de peso específico dos solos da Formação Resende, argilosos em 15a e arenosos em 15b, provenientes de depósitos terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Coesão efetiva

No que se refere ao parâmetro coesão efetiva, os dados correspondentes aos solos arenosos da Formação Resende, distribuídos no intervalo entre 1,0 e 5,0 kPa, são menores em relação a distribuição dos dados dos solos argilosos dessa unidade, que se distribuem em um intervalo mais amplo, entre 25,0 e 150,0 kPa.

A proporção dos valores de coesão efetiva dos solos 4Ar1, 4Ar2 e 4Ar3 é exatamente igual, de modo que 80% dos dados para cada horizonte litológico equivale a 5,0 kPa. A respeito dos solos argilosos, por sua vez, a proporção dos valores de coesão efetiva apresenta o mesmo comportamento observado no parâmetro peso específico: todos os horizontes litológicos da Formação Resende apresentam proporções bastante semelhantes, com algumas ressalvas em relação ao solo 4Ag1. De modo geral, o maior parte dos valores de coesão efetiva para tais solos estão contidas no intervalo entre 25,0 e 55,0 kPa, que é o

equivalente a 63,6%, 55,6% e 55,6% dos resultados para os solos 4Ag1, 4Ag2 e Ag3, respectivamente.

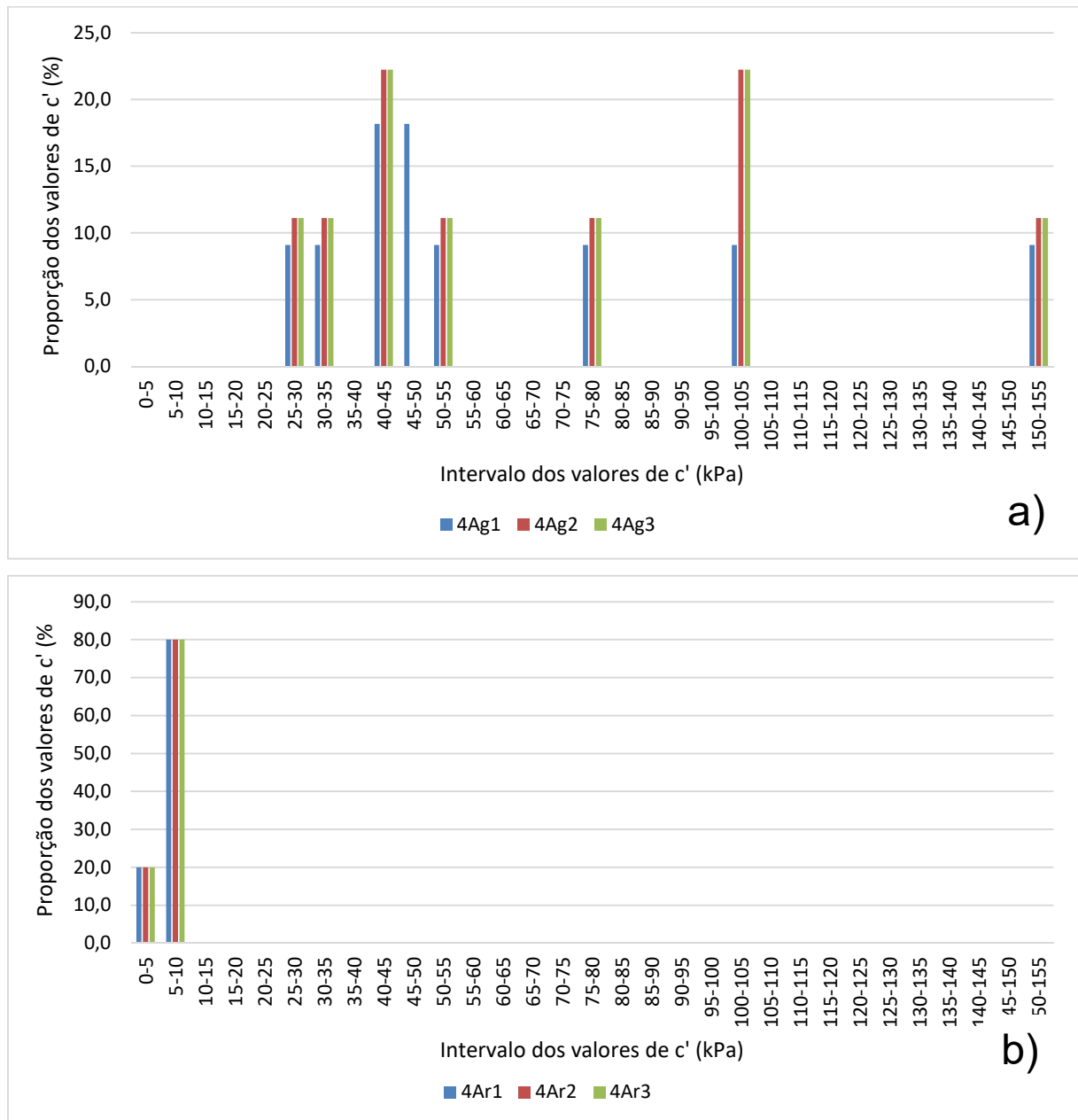


Figura 16: Representação da distribuição dos valores de coesão efetiva dos solos da Formação Resende, argilosos em 16a e arenosos em 16b, provenientes de depósitos terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ângulo de atrito efetivo

Ao contrário da tendência observada nos dados de coesão efetiva, os dados de ângulo de atrito efetivo dos solos argilosos da Formação Resende, compreendidos no intervalo de 20° a 27°, são menores do que os valores dos solos arenosos dessa unidade, que se distribuem de 30° a 35°.

A proporção dos valores de ângulo de atrito efetivo é igual entre os solos arenosos 4Ar1, 4Ar2 e 4Ar3, e entre os solos argilosos 4Ag2 e 4Ag3, excetuando-se o horizonte litológico 4Ag1, o qual tem proporções diferentes, entretanto, bastante semelhante aos demais solos argilosos, como pode-se observar nos histogramas.

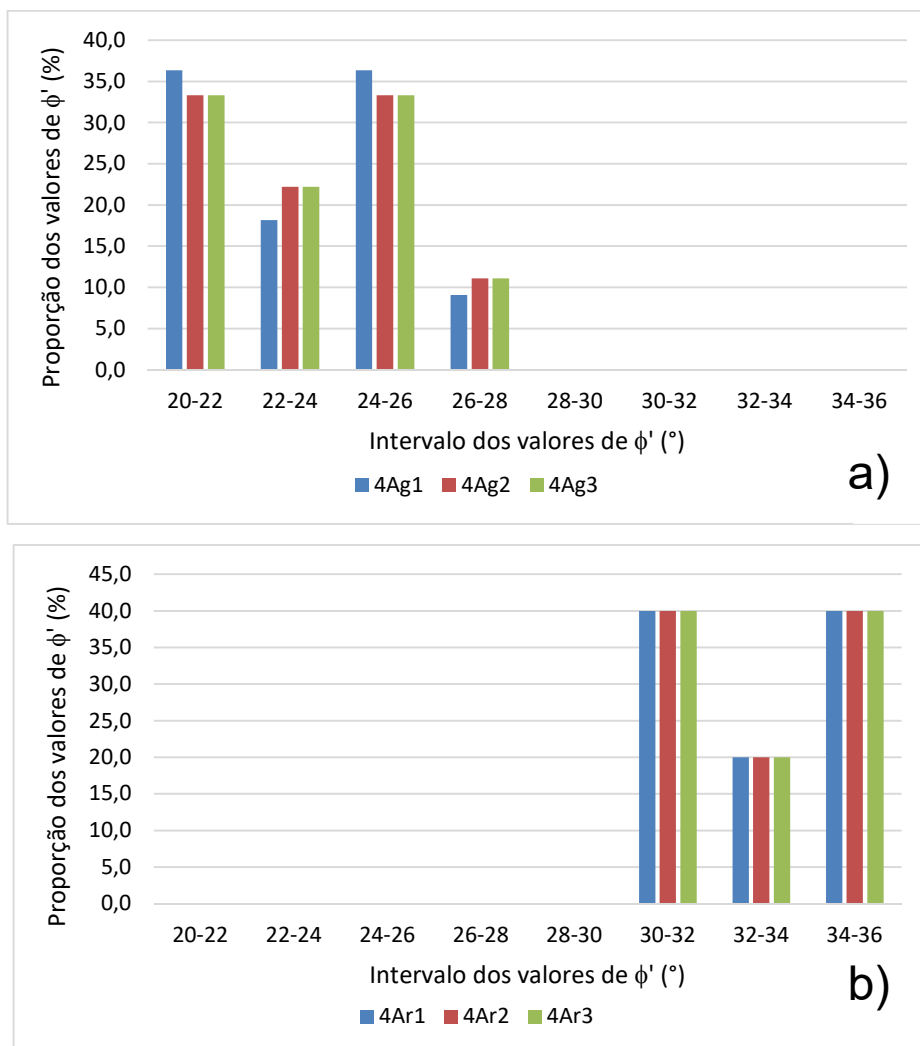


Figura 17: Representação da distribuição dos valores de ângulo de atrito efetivo dos solos da Formação Resende, argilosos em 17a e arenosos em 17b, provenientes de depósitos terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

5.1.5. Solos residuais do embasamento cristalino

No presente trabalho, os dados a respeito do peso específico e dos parâmetros de resistência solos residuais da RMSP foram classificados de acordo com sua procedência, em outras palavras, segundo sua rocha matriz, proveniente do embasamento cristalino pré-cambriano. Para a análise dos dados e estudo de estabilidade, foram levantados os resultados referentes a 26 amostras de solos residuais de gnaiss, 2 amostras de granito, 2 amostras de micaxisto, 29 amostras de migmatito e 18 amostras de gnaiss biotítico migmatizado.

Estas últimas, estudadas por Oliveira et al. (2017), foram submetidas a ensaios de laboratório (triaxiais), os quais disponibilizaram dados de coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo, e ensaios de campo (DMT), que disponibilizaram dados de coesão e ângulo de atrito. Os demais solos residuais, por sua vez, foram todos submetidos a ensaios triaxiais.

Os solos residuais provenientes de gnaiss biotítico migmatítico foram analisados ainda com base na classificação dos solos residuais proposta por Vargas (1953), que os divide em solo residual maduro, solo residual jovem e rocha alterada ou saprolito.

Análise segundo a rocha matriz

Peso específico

Em comparação aos solos da Bacia Sedimentar de São Paulo descritos anteriormente, os solos residuais da RMSP apresentam um intervalo de valores de peso específico muito mais amplo, variando de 1,75 a 25,0 kN/m³. É possível que a alta variabilidade deste parâmetro esteja relacionada a intensidade dos processos intempéricos que os solos residuais foram submetidos, na qual interfere diretamente em sua compactação, para areias e siltes arenosos, ou consistência, para argilas e siltes argilosos.

Entretanto, para todos os solos residuais analisados, a maior parte dos resultados relativos ao peso específico varia de 15,0 a 21,0 kN/m³. Solos residuais provenientes de migmatito, por sua vez, apresentam também valores menores, entre 1,75 e 1,89 kN/m³, abaixo da tendência apresentada pelos histogramas. Estes podem ser justificados pela grande heterogeneidade deste tipo de solo, herdada de sua rocha fonte, a qual implicaria em uma grande variação nos valores de peso específico das amostras.

Observa-se que os solos residuais provenientes de gnaiss biotítico migmatizado também apresentam dados fora do intervalo de maior frequência, porém, menos amplos quando comparados os solos residuais de migmatito. Tal situação pode ser justificada pela característica migmatítica deste solo, seguindo o mesmo raciocínio descrito anteriormente.

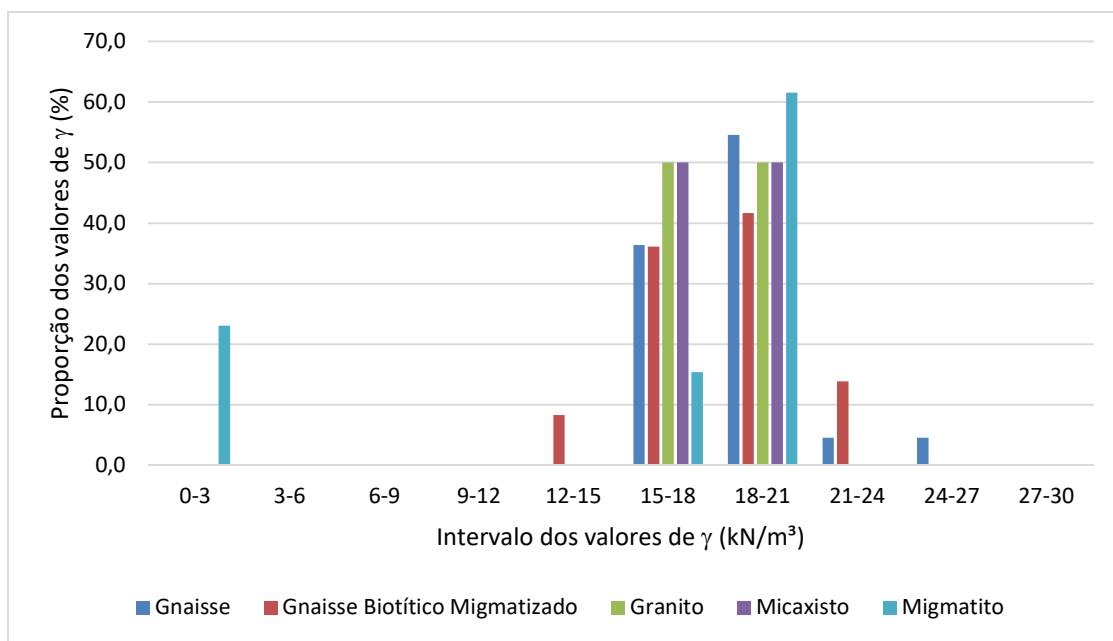


Figura 18: Representação da distribuição dos valores de peso específico dos solos residuais, provenientes de gnaiss, gnaiss biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Coesão efetiva

Para o parâmetro coesão efetiva, verifica-se que a maior parte dos valores compilados se distribuem de 10,0 a 40,0 kPa. Assim como ocorre com os dados de peso específico, os valores de coesão efetiva dos solos residuais provenientes de migmatito fogem do intervalo de maior frequência dos resultados, atingindo valor máximo de 100,0 kPa, e maior proporção de valores entre 70,0 e 80,0 kPa (equivalente a 48,3% dos resultados de coesão efetiva para solos residuais de migmatito). Entretanto, para este parâmetro, o solo residual proveniente de gnaiss é o que apresenta distribuição de dados mais ampla, de modo que seus valores mínimo e máximo são 1,0 e 164,0 kPa, respectivamente.

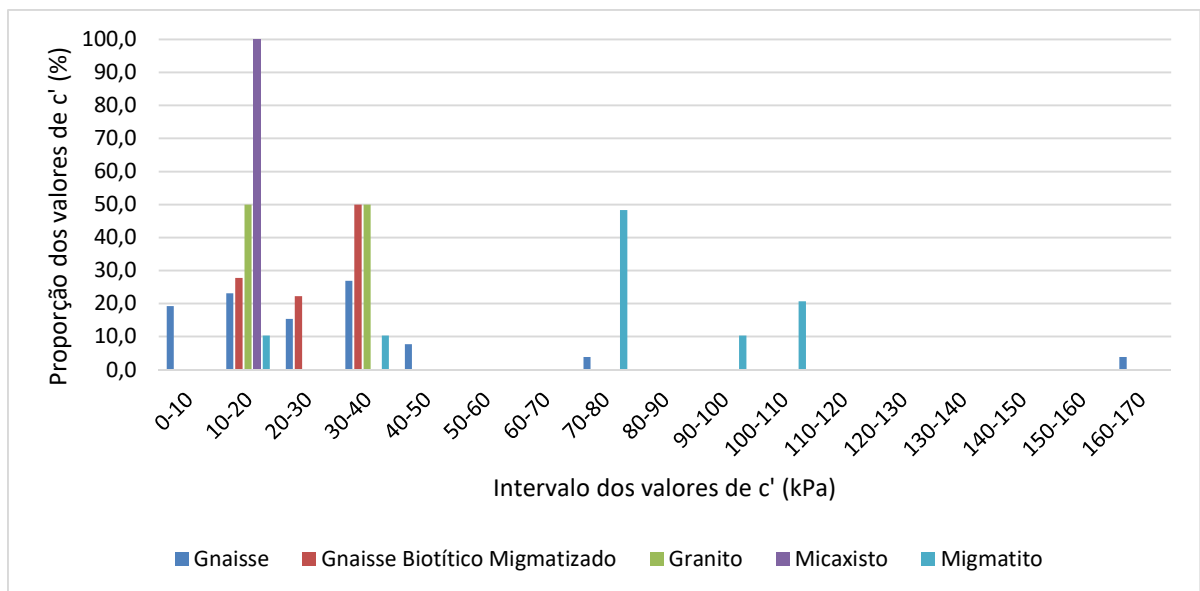


Figura 19: Representação da distribuição dos valores de coesão efetiva dos solos residuais, provenientes de gnaisse, gnaisse biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ângulo de atrito efetivo

Os resultados referentes ao ângulo de atrito efetivo dos solos residuais apresenta histogramas mais dispersos, quando comparados aos valores de peso específico e de coesão efetiva. Para este parâmetro, cada solo residual apresenta um comportamento gráfico distinto, de modo que:

- Solo residual proveniente de gnaisse apresenta os menores valores do grupo, sendo o valor mínimo igual a 15°, e varia até 39°, com proporção de dados pouco variável;
- Solo residual proveniente de gnaisse biotítico migmatítico apresenta a distribuição de dados mais ampla do grupo, variando de 24,2° até 62°, com maior proporção no intervalo entre 30° e 35°;
- Valores de solos residuais provenientes de migmatito variam de 23° a 31,5°, e o intervalo com maior proporção de valores vai de 25° a 30°;
- Solos residuais provenientes de granito e de micaxisto apresentam a distribuição de valores mais restrita e uniforme do grupo, justificada pelo pequeno número de resultados analisados. O primeiro apresenta valores de ângulo de atrito efetivo iguais a 29,3° e 30,1°, e o segundo apresenta valores iguais a 30° e 35°.

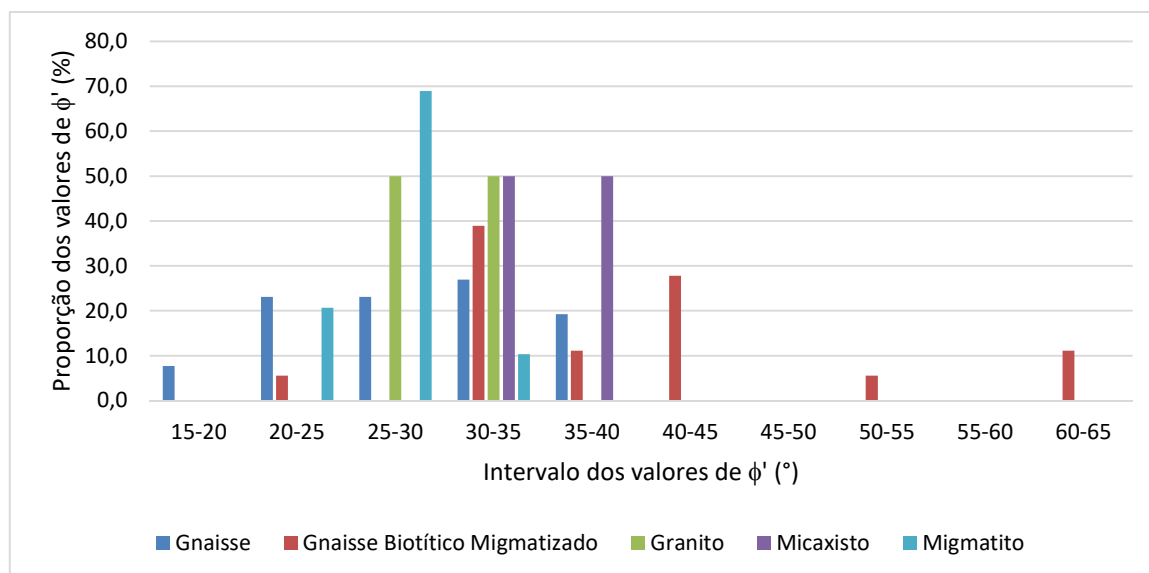


Figura 20: Representação da distribuição dos valores de ângulo de atrito efetivo dos solos residuais, provenientes de gnaiss, gnaiss biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Análise dos solos residuais maduros, jovens e saprolíticos

Vargas (1953) propôs a primeira classificação específica para solos tropicais brasileiros, dividindo-os em solo residual maduro, solo residual jovem e rocha alterada (ou saprolito). A análise que se segue refere-se aos resultados apresentados pelos solos estudados por Oliveira et al. (2017), provenientes de gnaiss biotítico migmatizado, que foram classificados com base na proposta de Vargas (1953).

Peso específico

A partir da análise dos histogramas, pode-se verificar que o solo residual maduro apresenta uma ampla distribuição de dados de peso específico, de 13,7 a 21,1 kN/m³. Os valores relativos ao solo residual jovem são um pouco maiores e sua distribuição é menos ampla, variando de 17,7 a 21,1 kN/m³, enquanto o único valor de peso específico apresentado pelas amostras de saprolito é ainda maior em relação ao valor mínimo dos demais solos residuais, equivalente a 20,0 kN/m³.

Tal comportamento demonstra que solos residuais com menor grau de intemperismo tendem a apresentar maior valor de peso específico. O raciocínio oposto, por sua vez, não se aplica, dado que os solos com maior grau intempérico apresentam uma ampla variação dos valores de peso específico.

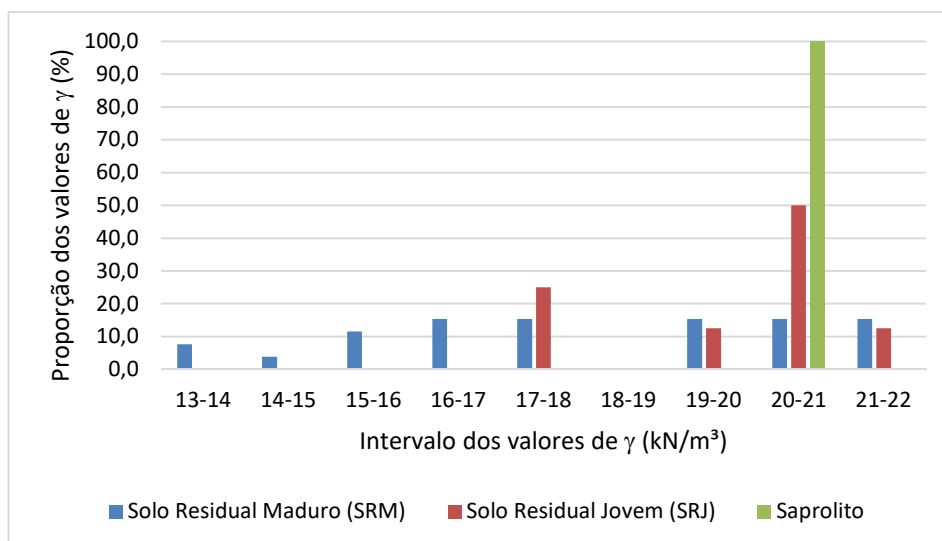


Figura 21: Representação da distribuição dos valores de peso específico dos solos residuais, jovens, maduros e saprolitos, provenientes do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Coesão (c e c')

De modo geral, para os solos residuais de gnaiss biotítico migmatítico, a maior parte dos dados de coesão, obtidos por ensaios empíricos, somados aos dados de coesão efetiva, obtidos por ensaios laboratoriais, se distribuem no intervalo de 0,0 a 40,0 kPa. Este abrange 61,3% dos valores referentes ao solo residual maduro, 60% dos valores referentes ao solo residual jovem e 100% dos valores referentes ao saprolito.

O comportamento observado para os parâmetros coesão e coesão efetiva, por sua vez, se mostra contrário aquele apresentado pelos resultados do parâmetro peso específico, de modo que os solos residuais com menor grau de intemperismo apresentam valores de coesão e coesão efetiva relativamente menores, entretanto, distribuídos em intervalos mais restritos, assim como pode-se observar no parâmetro anterior. Os valores do parâmetro estudado variam de 3,5 a 708,0 kPa para solos residuais maduros, de 10,0 a 188,0 kPa para solos residuais jovens e de 20,0 a 30,0 kPa para saprolitos. Com base nisso, conclui-se que solos mais alterados têm valores mínimos menores e valores máximos maiores, o que implica em uma distribuição dos dados mais ampla; enquanto solos mais alterados tendem a apresentar valores mínimos maiores e valores máximos menores em relação aos outros solos, demonstrando que o seu intervalo de distribuição de dados é mais estreito.

Vale ressaltar ainda que, apesar de considerados para a interpretação, os valores 707,0 e 708,0 kPa para solos residual maduro e o valor 188,0 kPa para solo residual jovem aparentam ser pontos fora da tendência do histograma. Estes podem ter sido ocasionados por incoerências associadas ao método de análise, comuns em ensaios de campo.

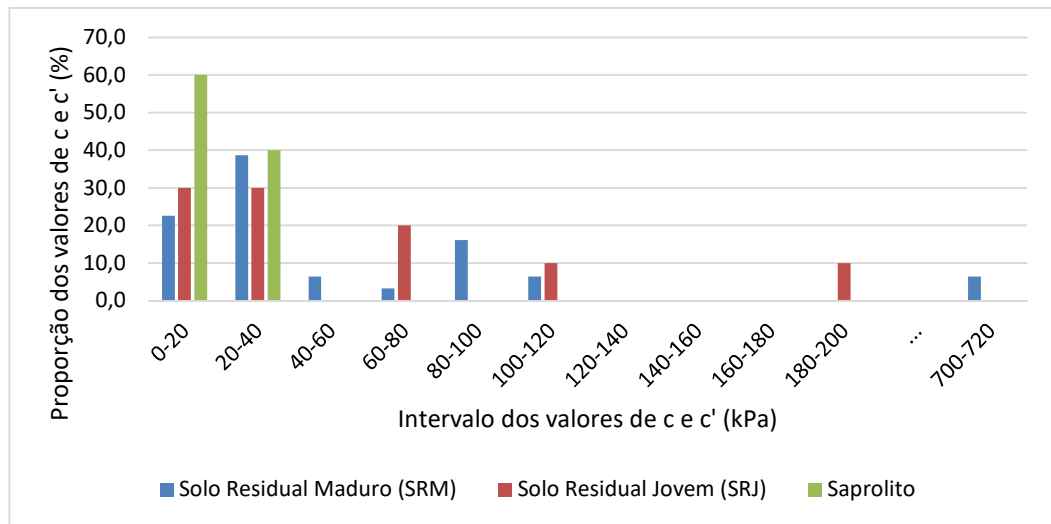


Figura 22: Representação da distribuição dos valores de coesão e coesão efetiva dos solos residuais, jovens, maduros e saprolitos, provenientes do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ao comparar os valores de coesão e coesão efetiva, verificou-se que:

- Para solo residual maduro, valores de coesão apresentam distribuição mais ampla, variando de 3,5 a 708,0 kPa, enquanto valores de coesão são mais restritos, variando de 19,0 a 30,0 k Pa;
- Para o solo residual jovem, valores de coesão efetiva são menores, variando de 10,0 a 35,0 kPa, e valores de coesão são maiores, variando de 68,0 a 188,0 kPa.

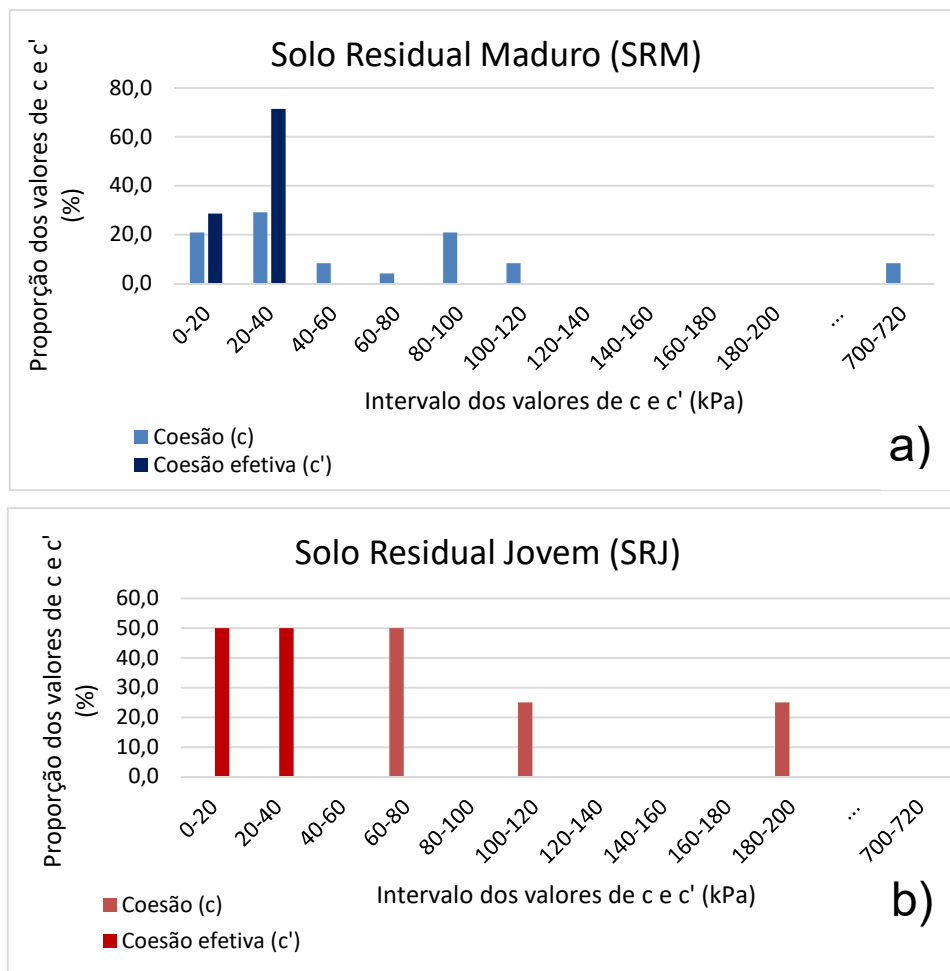


Figura 23: Comparação da distribuição dos valores de coesão e coesão efetiva dos solos residuais jovens (figura 23a) e maduros (figura 23b), provenientes do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ângulo de atrito (ϕ e ϕ')

A maior proporção dos resultados de ângulo de atrito e ângulo de atrito efetivo concentram-se entre 30° e 45° , de modo que tal intervalo abriga 77,8% dos valores do solo residual maduro, 75,0% dos valores de solo residual jovem e 100% dos resultados para saprolito.

Fora deste intervalo, observa-se que solos residuais maduros apresentam também valores menores que o mesmo, de $23,4^\circ$ a $28,5^\circ$, enquanto solos residuais jovens apresentam ainda valores maiores, de 52° a 62° .

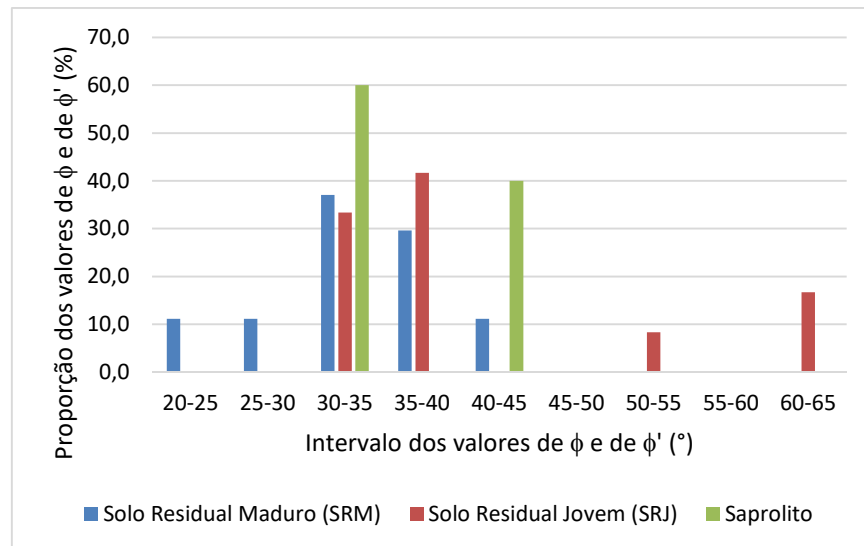


Figura 24: Representação da distribuição dos valores de ângulo de atrito e ângulo de atrito efetivo dos solos residuais, jovens, maduros e saprolitos, provenientes do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ao comparar os valores de ângulo de atrito e ângulo de atrito efetivo, verificou-se que:

- Dados referentes a ângulo de atrito e ângulo de atrito efetivo de solos residuais maduros se distribuem no intervalo de 25° a 40°. O maior número dos dados de ângulo de atrito efetivo, por sua vez, é igual a 41°;
- A respeito do solo residual jovem, 100% dos dados referentes a ângulo de atrito e 50% dos dados referentes a ângulo de atrito efetivo se distribuem no intervalo de 30° a 40°. A outra metade dos valores de ângulo de atrito efetivo, por sua vez, se distribuem de 52° a 62°.

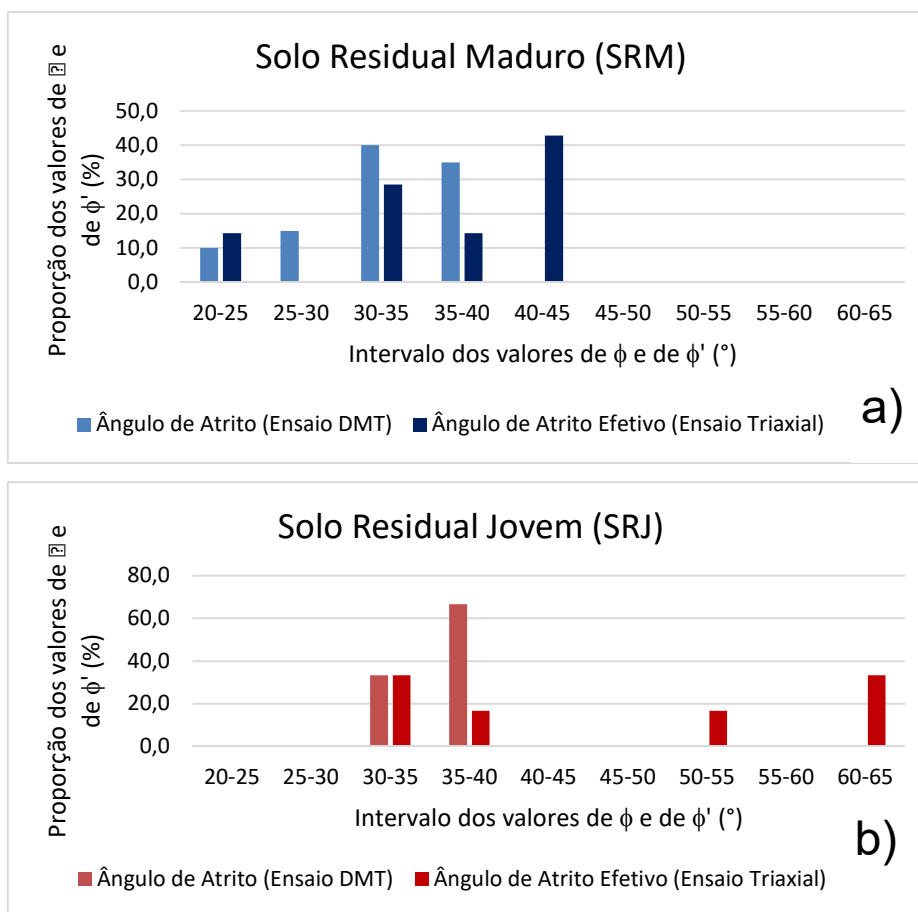


Figura 25: Comparação da distribuição dos valores de ângulo de atrito e ângulo de atrito efetivo dos solos residuais jovens (figura 25a) e maduros (figura 25b), provenientes do embasamento cristalino da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

5.2. Análise de estabilidade dos solos

Conforme demonstram os dados levantados no presente trabalho, apresentados nas Figuras do item 5.1 e em forma de tabelas no Anexo 1, mesmo os parâmetros pertencentes ao mesmo tipo de solo podem apresentar variação entre as amostras analisadas, o que implica em incertezas associadas as análises de estabilidade. Nesta situação de variabilidade dos parâmetros, a Norma Brasileira ABNT NBR 11682 permite que o estudo da estabilidade seja realizado com base em fatores de segurança parciais.

As **Tabelas 5, 6 e 7** a seguir apresentam os valores mínimos, máximos e médios levantados para peso específico (γ), coesão efetiva (c') e ângulo de atrito efetivo (ϕ') dos solos quaternários, terciários e residuais provenientes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com base na literatura disponível. Referente aos valores de coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo, por sua vez, foram considerados apenas aqueles gerados a partir de ensaios laboratoriais.

Tabela 5: Valores mínimos, máximos e médios de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo dos solos quaternários e terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	γ (kN/m ³)			c' (kPa)			ϕ' (°)		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Depósitos Aluvionares (Quaternário)									
Argiloso									
2Tf	13,0	14,0	13,8	5,0	8,0	6,0	15,0	20,0	16,7
2Ag1	16,0	16,0	16,0	8,0	8,0	8,0	20,0	20,0	20,0
2Ag2	16,0	16,0	16,0	8,0	8,0	8,0	20,0	20,0	20,0
2Ag3	16,0	16,0	16,0	8,0	8,0	8,0	20,0	20,0	20,0
Arenoso									
2Ar1	17,0	17,0	17,0	5,0	5,0	5,0	25,0	30,0	27,7
2Ar2	17,0	17,0	17,0	5,0	5,0	5,0	25,0	30,0	27,7
2Ar3	17,0	17,0	17,0	5,0	5,0	5,0	25,0	30,0	27,7
Formação São Paulo (Terciário)									
Argiloso (Argilas Vermelhas)									
3Agp1	13,5	17,1	15,5	0,0	68,6	29,3	20,0	33,0	27,6
3Agp2	16,0	19,0	17,5	39,2	88,2	50,1	20,0	30,5	24,5
Argiloso (Argilas Variegadas)									
3Ag1	17,0	20,0	18,6	20,0	200,0	62,5	12,0	30,5	25,2
3Ag2	15,5	21,7	19,2	0,0	200,0	42,3	12,0	35,0	26,0
Arenoso									
3Ar1	19,0	19,0	19,0	1,0	3,0	2,6	30,0	35,0	32,6
3Ar2	19,0	19,0	19,0	1,0	3,0	2,6	30,0	35,0	32,6
Formação Resende (Terciário)									
Argiloso									
4Ag1	19,0	22,0	20,3	25,0	150,0	64,4	20,0	27,0	22,9
4Ag2	19,0	22,0	20,6	25,0	150,0	67,8	20,0	27,0	23,0
4Ag3	19,0	22,0	20,6	25,0	150,0	67,8	20,0	27,0	23,0
Arenoso									
4Ar1	19,0	21,0	20,1	1,0	5,0	4,2	30,0	35,0	32,4
4Ar2	19,0	21,0	20,1	1,0	5,0	4,2	30,0	35,0	32,4
4Ar3	19,0	21,0	20,1	1,0	5,0	4,2	30,0	35,0	32,4

Tabela 6: Valores mínimos, máximos e médios de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo dos solos residuais, provenientes de gnaiss, gnaiss biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	γ (kN/m ³)			c' (kPa)			ϕ' (°)		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Embasamento Cristalino (Solo Residual)									
Rocha de Origem									
Gnaiss	15,0	25,0	18,5	1,0	164,0	29,5	15,0	39,0	28,5
Gnaiss Biotítico Migmatizado	13,7	21,1	18,6	10,0	35,0	24,2	24,2	62,0	38,7
Granito	16,7	18,8	17,8	16,5	34,0	25,3	29,3	30,1	29,7
Micaxisto	17,8	19,6	18,7	15,0	19,0	17,0	30,0	35,0	32,5
Migmatito	1,8	20,0	14,6	14,0	100,0	69,2	23,0	31,5	25,3

Tabela 7: Valores mínimos, máximos e médios de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo de solos residuais maduro, jovem e saprolíticos, provenientes de gnaiss biotítico migmatizado, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	γ (kN/m ³)			c' (kPa)			ϕ' (°)		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
Gnaiss Biotítico Migmatítico									
Tipo									
Maduro	13,7	21,1	18,2	19,0	30,0	25,4	24,2	41,0	34,9
Jovem	17,7	21,1	19,6	10,0	35,0	22,8	31,0	62,0	45,7
Saprolito	20,0	20,0	20,0	20,0	30,0	24,0	31,0	42,0	35,8

A partir de tais dados, foi possível determinar fatores de segurança mínimos e máximos dos principais solos da RMSP, utilizando como ferramenta o software SLOPE/W, da GEOSLOPE, além das informações a respeito da geometria e no nível d'água do talude estudado por Mori (1016). Os valores dos fatores de segurança mínimos e máximos obtidos estão representados nas **Tabelas 8, 9 e 10**

Tabela 8: Fatores de segurança mínimos e máximos para solos quaternários e terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Fator de Segurança	
	Mínimo	Máximo
Depósitos Aluvionares (Quaternário)		
Argiloso		
2Tf	1,15	1,67
2Ag1	1,57	1,57
2Ag2	1,57	1,57
2Ag3	1,57	1,57
Arenoso		
2Ar1	1,51	1,75
2Ar2	1,51	1,75
2Ar3	1,51	1,75
Formação São Paulo (Terciário)		
Argiloso (Argilas Vermelhas)		
3Agp1	0,79	7,18
3Agp2	3,78	7,51
Argiloso (Argilas Variegadas)		
3Ag1	1,94	12,64
3Ag2	0,46	12,94
Arenoso		
3Ar1	1,35	1,81
3Ar2	1,35	1,81
Formação Resende (Terciário)		
Argiloso		
4Ag1	2,53	9,25
4Ag2	2,51	9,16
4Ag3	2,51	9,16
Arenoso		
4Ar1	1,34	1,95
4Ar2	1,34	1,95
4Ar3	1,34	1,95

Tabela 9: Fatores de segurança mínimos e máximos para solos residuais, provenientes de gnaiss, gnaiss biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Fator de Segurança	
	Mínimo	Máximo
Embasamento Cristalino (Solo Residual)		
Rocha de Origem		
Gnaiss	0,68	12,08
Gnaiss Biotítico Migmatítico	1,83	7,18
Granito	2,62	3,97
Micaxisto	2,50	3,09
Migmatito	2,35	9,22

Tabela 10: Fatores de segurança mínimos e máximos dos solos residuais maduro, jovem e saprolítico, provenientes de gnaiss biotítico migmatizado, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Fator de Segurança	
	Mínimo	Máximo
Gnaiss Biotítico Migmatítico		
Tipo		
Maduro	2,50	4,34
Jovem	2,15	7,04
Saprolito	2,82	4,23

Originalmente, o material do talude estudado por Mori (2016) e avaliado no presente projeto é composto, predominantemente, por solo saprolítico migmatítico, de acordo com a geologia local da área de estudo. Portanto, a respeito das superfícies de ruptura encontradas com base nos parâmetros mínimos e máximos do solo residual de migmatito, o resultado é o que segue na **Figura 26:**

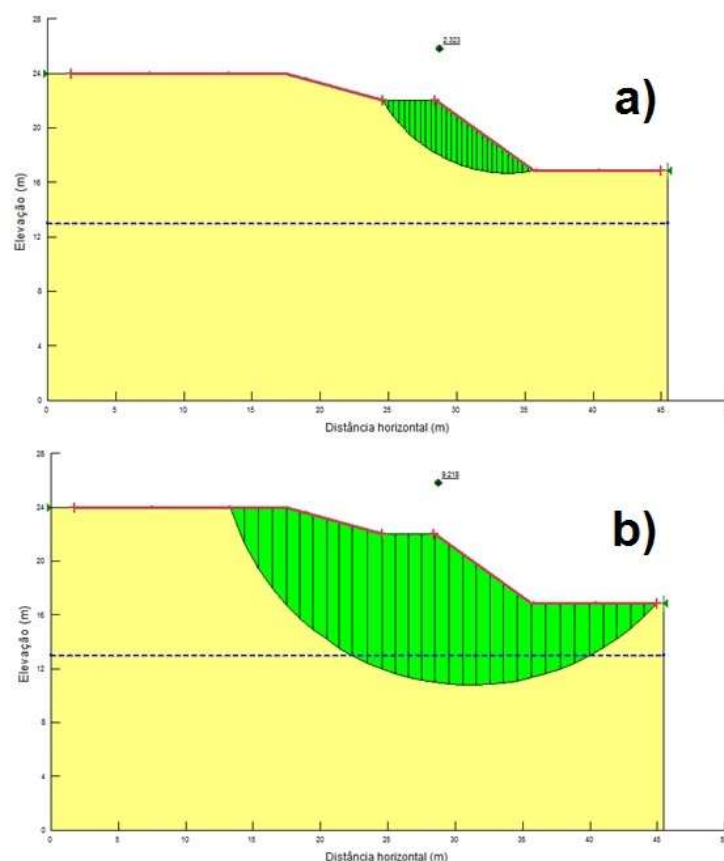


Figura 26: Superfícies críticas do solo residual de migmatito, encontradas com base nos seus parâmetros de resistência mínimos (figura 26a) e parâmetros de resistência máximos (figura 26b).

O princípio aplicado neste estudo de estabilidade foi de que valores mínimos de coesão efetiva e de ângulo de atrito efetivo permitem determinar os menores valores de fator de

segurança possíveis, exprimindo as condições de maior risco de ruptura para os solos estudados. Por outro lado, os valores máximos de fator de segurança, obtidos a partir de valores máximos de coesão efetiva e de ângulo de atrito efetivo, traduzem situações de máxima estabilidade dos solos estudados. Vale notar que, na literatura consultada, nem sempre os valores mínimos de ambos os parâmetros coincidiam para uma mesma amostra estudada, e o mesmo vale para os valores máximos, como demonstra o esquema representado na **Figura 27** a seguir:

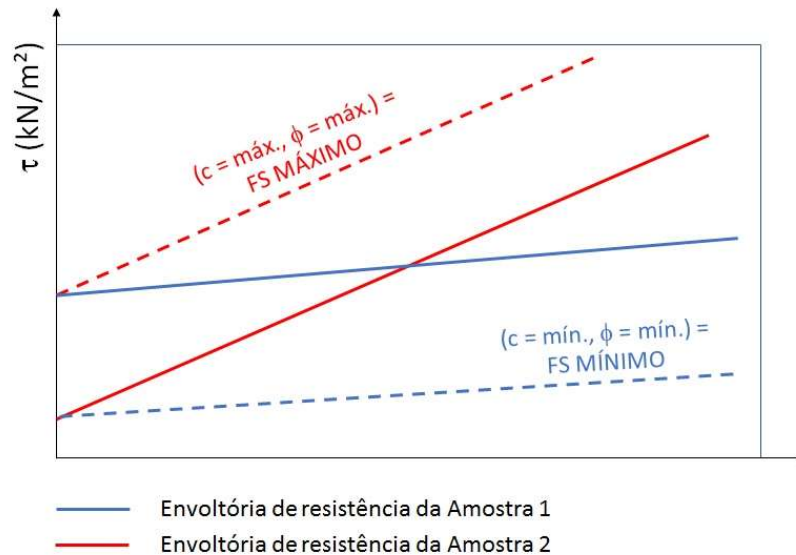


Figura 27: Representação esquemática do princípio aplicado para a determinação dos fatores de segurança mínimos e máximos dos solos estudados no presente trabalho.

O esquema representa as envoltórias de resistência de duas amostras hipotéticas pertencentes ao mesmo tipo de solo, a partir das quais são extraídos seus respectivos parâmetros de resistência. Com base nessas, pode-se determinar o fator de segurança mínimo para o solo estudado ao aplicar o menor valor de ângulo de atrito (proveniente da amostra 1) e o menor valor de coesão (proveniente da amostra 2) no cálculo do coeficiente. O mesmo vale para o cálculo do fator de segurança máximo, ao aplicar os valores máximos de ângulo de atrito (da amostra 2) e de coesão (da amostra 1).

Os fatores de segurança parciais obtidos para cada solo, por sua vez, estão representados nas **Tabelas 11, 12 e 13**. Estes foram definidos com base no critério descrito pelas **Equações 7 e 8**:

$$F_c'_{\text{parcial}} = \frac{\text{Valor Máximo de } c'}{\text{Valor Mínimo de } c'} \quad [7]$$

$$F_{\phi}'_{\text{parcial}} = \frac{\text{Valor Máximo de } \phi'}{\text{Valor Mínimo de } \phi'} \quad [8]$$

Para cada solo analisado, assumiu-se que a razão entre os valores máximos e mínimos dos parâmetros de resistência ao cisalhamento forneceriam fatores de segurança parciais, sendo eles Fc'_{parcial} e $F\phi'_{\text{parcial}}$.

Tabela 11: Fatores de segurança parciais para solos quaternários e terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Fator de Segurança Parcial	
	Fc'_{parcial}	$F\phi'_{\text{parcial}}$
Depósitos Aluvionares (Quaternário)		
Argiloso		
2Tf	1,60	1,33
2Ag1	1,00	1,00
2Ag2	1,00	1,00
2Ag3	1,00	1,00
Arenoso		
2Ar1	1,00	1,20
2Ar2	1,00	1,20
2Ar3	1,00	1,20
Formação São Paulo (Terciário)		
Argiloso (Argilas Vermelhas)		
3Agp1	*	1,65
3Agp2	2,25	1,53
Argiloso (Argilas Variegadas)		
3Ag1	10,00	2,54
3Ag2	*	2,92
Arenoso		
3Ar1	3,00	1,17
3Ar2	3,00	1,17
Formação Resende (Terciário)		
Argiloso		
4Ag1	6,00	1,35
4Ag2	6,00	1,35
4Ag3	6,00	1,35
Arenoso		
4Ar1	5,00	1,17
4Ar2	5,00	1,17
4Ar3	5,00	1,17
* Dada a impossibilidade de calcular o fator de segurança parcial, o valor adotado para a coesão efetiva ponderada foi igual 0 kPa.		

Tabela 12: Fatores de segurança parciais para solos residuais, provenientes de gnaiss, gnaiss biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Fator de Segurança Parcial	
	Fc'_{parcial}	$F\phi'_{\text{parcial}}$
Embasamento Cristalino (Solo Residual)		
Rocha de Origem		
Gnaiss	164,00	2,60
Gnaiss Biotítico Migmatítico	3,50	2,56
Granito	2,06	1,03
Micaxisto	1,27	1,17
Migmatito	7,14	1,37

Tabela 13: Fatores de segurança parciais dos solos residuais maduro, jovem e saprolítico, provenientes de gnaiss biotítico migmatizado, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Fator de Segurança Parcial	
	Fc'_{parcial}	$F\phi'_{\text{parcial}}$
Gnaiss Biotítico Migmatítico		
Tipo		
Maduro	1,58	1,69
Jovem	3,50	2,00
Saprolito	1,50	1,35

Os valores dos parâmetros de resistência ponderados, por sua vez, foram determinados com base na razão entre as médias dos valores de coesão efetiva e de ângulo de atrito efetivo e os fatores de segurança parciais, conforme descrito nas **Equações 9 e 10**. Neste caso, considerou-se se que os valores médios dos parâmetros seriam os dados “corretos”, ou seja, aqueles que determinariam a situação ideal, em que o fator de segurança seria igual a 1.

$$c'_{\text{ponderado}} = \frac{\text{Média de } c'}{Fc'_{\text{parcial}}} \quad [9]$$

$$\phi'_{\text{ponderado}} = \frac{\text{Média de } \phi'}{F\phi'_{\text{parcial}}} \quad [10]$$

Os valores obtidos de parâmetros de resistência ponderados estão representados nas **Tabelas 14, 15 e 16**:

Tabela 14: Parâmetros de resistência ponderados para solos quaternários e terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Parâmetros Ponderados	
	c' ponderado	ϕ' ponderado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)		
Argiloso		
2Tf	3,75	12,53
2Ag1	8,00	20,00
2Ag2	8,00	20,00
2Ag3	8,00	20,00
Arenoso		
2Ar1	5,00	23,08
2Ar2	5,00	23,08
2Ar3	5,00	23,08
Formação São Paulo (Terciário)		
Argiloso (Argilas Vermelhas)		
3Agp1	0,00	16,73
3Agp2	22,27	16,07
Argiloso (Argilas Variegadas)		
3Ag1	6,25	9,91
3Ag2	0,00	8,91
Arenoso		
3Ar1	0,87	27,94
3Ar2	0,87	27,94
Formação Resende (Terciário)		
Argiloso		
4Ag1	10,73	16,96
4Ag2	11,30	17,04
4Ag3	11,30	17,04
Arenoso		
4Ar1	0,84	27,77
4Ar2	0,84	27,77
4Ar3	0,84	27,77

Tabela 15: Parâmetros de resistência ponderados para solos residuais, provenientes de gnaiss, gnaiss biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Parâmetros Ponderados	
	c' ponderado	ϕ' ponderado
Embasamento Cristalino (Solo Residual)		
Rocha de Origem		
Gnaiss	0,18	10,96
Gnaiss Biotítico Migmatítico	6,91	15,11
Granito	12,28	28,91
Micaxisto	13,42	27,86
Migmatito	9,69	18,47

Tabela 16: Parâmetros de resistência ponderados dos solos residuais maduro, jovem e saprolítico, provenientes de gnaiss biotítico migmatizado, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	Parâmetros Ponderados	
	$c'_{\text{ponderado}}$	$\phi'_{\text{ponderado}}$
Gnaiss Biotítico Migmatítico		
Tipo		
Maduro	16,09	20,60
Jovem	6,51	22,85
Saprolito	16,00	26,42

Conforme citado no item 4.2, caso os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo apresentem grande variabilidade, uma das propostas indicadas pela Norma Brasileira ABNT NBR 11682 é de que a análise de estabilidade seja realizada a partir da estimativa dos dados geotécnicos obtidos, considerando sua variabilidade estatística. Entretanto, para situações em que não haja dados suficientes para realizar a análise estatística, como ocorre no presente projeto, a definição de fatores de segurança ponderados é uma alternativa possível. Tal proposta, portanto, foi adotada neste trabalho, e os fatores de segurança ponderados obtidos estão apresentados nas **Tabelas 17, 18 e 19**.

Idealmente, para um talude a ser projetado, os fatores de segurança ponderados devem retornar um valor menor que o fator de segurança mínimo do solo e próximo a um. Salienta-se que, nos casos analisados aqui, tem-se uma verificação do fatores de segurança para um talude específico. Ou seja, não se buscou otimizar o talude e sim avaliar o efeito do uso do fator de segurança ponderado nos parâmetros.

Tabela 17: Fatores de segurança ponderados e fatores de segurança mínimos determinados para solos quaternários e terciários da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	F _{ponderado}	F mínimo
Depósitos Aluvionares (Quaternário)		
Argiloso		
2Tf	0,91	1,15
2Ag1	1,57	1,57
2Ag2	1,57	1,57
2Ag3	1,57	1,57
Arenoso		
2Ar1	1,42	1,51
2Ar2	1,42	1,51
2Ar3	1,42	1,51
Formação São Paulo (Terciário)		
Argiloso (Argilas Vermelhas)		
3Agp1	0,65	0,79
3Agp2	2,40	3,78
Argiloso (Argilas Variegadas)		
3Ag1	0,88	1,94
3Ag2	0,34	0,46
Arenoso		
3Ar1	1,23	1,35
3Ar2	1,23	1,35
Formação Resende (Terciário)		
Argiloso		
4Ag1	1,46	2,53
4Ag2	1,49	2,51
4Ag3	1,49	2,51
Arenoso		
4Ar1	1,22	1,34
4Ar2	1,22	1,34
4Ar3	1,22	1,34

Tabela 18: Fatores de segurança ponderados e fatores de segurança mínimos determinados para solos residuais, provenientes de gnaiss, gnaiss biotítico migmatizado, granito, micaxisto e migmatito, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	F _{ponderado}	F mínimo
Embasamento Cristalino (Solo Residual)		
Rocha de Origem		
Gnaiss	0,44	0,68
Gnaiss Biotítico Migmatítico	1,16	1,83
Granito	2,29	2,62
Micaxisto	2,27	2,50
Migmatito	1,71	2,35

Tabela 19: Fatores de segurança ponderados e fatores de segurança mínimos dos solos residuais maduro, jovem e saprolítico, provenientes de gnaiss biotítico migmatizado, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

	$F_{\text{ponderado}}$	$F_{\text{mínimo}}$
Gnaiss Biotítico Migmatítico		
Tipo		
Maduro	2,10	2,50
Jovem	1,47	2,15
Saprolito	2,30	2,82

Com base nos parâmetros ponderados do solo residual de migmatito, foi obtida a superfície de ruptura apresentada na **Figura 28** que segue:

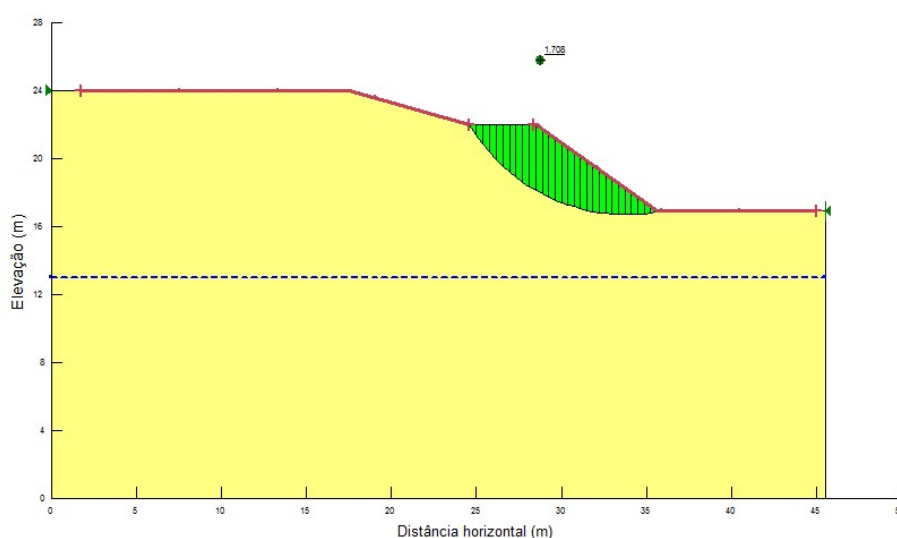


Figura 28: Superfície crítica encontrada com base em parâmetros de resistência ponderados do solo residual de migmatito.

Como era esperado, todos os valores de coeficiente de segurança ponderados são menores ou iguais aos fatores de segurança obtidos quando se utiliza os parâmetros mínimos para cada tipo de solos. No caso dos solos 3Agp1 e 3Ag2, a coesão efetiva mínima apresentou valor igual a zero, o que impossibilitou o cálculo dos fatores de segurança parciais a partir da equação proposta. Para estes solos, especificamente, coesão efetiva foi diretamente aplicada, ou seja, a coesão efetiva ponderada utilizada na aplicação do fator de parcial foi igual a zero.

Para os solos que apresentam valores de fator de segurança ponderado igual ou maior que 1, não há situação de risco para o talude estudado. As análises que forneceram fatores de segurança menor do que 1, por sua vez, implicam que o talude estudado não pode ter a configuração estabelecida, de modo que seria necessário proceder um redimensionamento geométrico do talude. Os solos que apresentaram este último resultado foram: solo

quaternário 2Tf, argilas variegadas 3Ag1 e 3Ag2 e argila vermelha 3Agp1 da Formação São Paulo e solo residual de gnaiss, assumindo-se a situação de análise mais conservadora possível.

6. CONCLUSÕES

6.1. Variabilidade dos parâmetros

A análise da variabilidade dos parâmetros de resistência dos solos é de grande importância em estudos de estabilidade, pois estas variáveis interferem diretamente na determinação fator de segurança do talude estudado. A respeito da variabilidade dos valores de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo dos solos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), foram estabelecidas as seguintes conclusões:

Os parâmetros de resistência levantados para solos tecnogênicos foram todos obtidos a partir de ensaios DMT, portanto, correspondem a valores de coesão e ângulo de atrito não efetivos, e não foram utilizados na análise de estabilidade.

A tendência observada para os solos quaternários é de que solos argilosos tenham menores valores de peso específico, maiores valores de coesão efetiva e menores valores de ângulo de atrito efetivo em relação aos solos quaternários arenosos. Com base nessa observação, existe a possibilidade de que, para solos quaternários, os valores de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo sejam, respectivamente, direta, indireta e diretamente proporcionais a granulometria dos solos quaternários da RMSP.

As mesmas relações observadas com relação a granulometria e aos parâmetros peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo dos solos quaternários são verificadas nos solos da Formação São Paulo. Maiores valores de granulometria dos solos desta unidade implicam em menores valores de coesão efetiva, maiores valores de ângulo de atrito efetivo e, de modo menos evidente, em maiores valores de peso específico. A respeito desta última, verificou-se uma relação aproximadamente direta entre granulometria dos solos terciários da Formação São Paulo e o peso específico, porém, menos clara do que a apresentada pelos solos quaternários.

No caso dos solos da Formação Resende, verifica-se a mesma tendência observada nas unidades anteriores com relação aos dados de coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo, que são indireta e diretamente proporcionais à granulometria do solo. Entretanto, o padrão

apresentado anteriormente para o peso específico não se aplica nos solos desta unidade, de modo que não foi possível observar uma relação entre granulometria dos solos da Formação São Paulo e os valores de peso específico.

Os solos residuais provenientes das rochas do embasamento apresentam alta variabilidade dos valores de peso específico, coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo, de tal maneira que foi difícil observar uma tendência clara com relação aos dados apresentados. Entretanto, pode-se assumir que a alta variabilidade dos parâmetros levantados esteja relacionada às diferentes intensidades dos processos intempéricos que os solos residuais estudados foram submetidos, conforme descrito no item 5.1.5.

Com base na observação dos solos residuais maduros, jovens e saprolíticos, por sua vez, foi possível determinar que solos residuais com menor grau de intemperismo tendem a apresentar maior valor de peso específico e valores de coesão e coesão efetiva relativamente menores. Não foi possível estabelecer uma relação clara entre grau de intemperismo da rocha e o parâmetro ângulo de atrito e ângulo de atrito efetivo.

6.2. Análise de estabilidade

A aplicação dos fatores de segurança parciais no presente estudo de estabilidade foi realizada a partir da definição dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos da Região Metropolitana de São Paulo, levantados com base na literatura disponível.

Definiu-se um procedimento para determinação do fator de segurança a ser utilizado em cada um dos dois parâmetros de resistência, sendo eles: coesão e ângulo de atrito efetivos. Tomando como base um talude existente, composto de um solo saprolítico migmatítico, fez-se diversas análises de estabilidade utilizando-se o software Slope/W. Foram obtidos fatores de segurança aplicando-se os valores mínimos e máximos dos parâmetros para cada solo. Estas análises permitiram avaliar a segurança do talude para cada um dos solos, quando não se aplica fatores ponderados nos parâmetros.

Ao se aplicar os fatores de segurança parciais (ponderado por parâmetro) concluiu-se que, com exceção do solo quaternário 2Tf, das argilas variegadas e a argila 3Agp1 da Formação São Paulo e do solo residual de gnaiss, o talude analisado se mostra estável para todos os demais materiais estudados. A ausência do risco de ruptura foi justificada por valores de fator de segurança ponderados maiores do que 1, baseada em uma análise de estabilidade mais conservadora possível.

O solo argiloso 3Agp2, da Formação São Paulo, além dos solos residuais de granito, micaxisto e de gnaiss biotítico migmatizado maduro e saprolítico foram os materiais que apresentaram menor risco à ruptura, com valores de fator de segurança ponderado superiores a 2,0.

A Norma Brasileira ABNT NBR 11682 propõe uma metodologia para o estudo de estabilidades com base nos níveis de segurança contra danos a vidas humanas e contra danos materiais e ambientais, a qual é amplamente utilizada em obras de estabilização de taludes. Nesta, para situações com menor nível de segurança possível, os fatores de segurança mínimos são iguais a 1,2 e, para caracterizar situações com maior nível de segurança possível, o menor coeficiente de segurança admitido é igual a 1,5, conforme descreve a Tabela 4, no item 4.2. A proposta aqui apresentada foi utilizada com o objetivo de, pelo método do equilíbrio limite, se chegar a um fator de segurança igual a 1 ou pouco superior, já que a ponderação aplicada aos parâmetros reduz os valores.

Ao compararmos os fatores de segurança ponderados obtidos pela aplicação dos fatores de segurança parciais, verificamos que, dos 27 tipos de solos analisados:

- Seis deles estão abaixo do coeficiente de segurança mínimo estabelecido para situações com menor nível de segurança, configurando condições de maior risco, segundo esta metodologia. São eles o solo 2Tf quaternário, os solos argilosos 3Agp1, 3Ag1, 3Ag2 da Formação São Paulo, e os solos residuais provenientes de gnaiss e gnaiss biotítico migmatizado (de modo geral, incluindo solos maduros, jovens e saprolíticos na classificação);
- Doze deles estão contidos no intervalo entre os valores de 1,2 a 1,5 para fatores de segurança mínimos, configurando situações com níveis baixos, médios e altos de segurança, dentro do limite estabelecido para situações em que o talude está estável. Este campo contém os solos quaternários arenosos, solos arenosos da Formação São Paulo, todos os solos da Formação Resende, e os solos residuais jovens provenientes de gnaiss biotítico migmatizado;
- Por fim, nove deles apresentam valor de fator de segurança ponderado maior do que 1,5, configurando situações de alta estabilidade e segurança, sem riscos de ruptura do talude estudado. Os solos pertencentes a este campo são os solos argilosos quaternários (com exceção de 2Tf), solo argiloso 3Agp2 da Formação São Paulo, solos residuais provenientes de migmatito, micaxisto, granito, e solos residuais maduros e saprolíticos provenientes de gnaiss biotítico migmatizado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEF. (1989). ABEF Research on Foundation Engineering. XII ICSMF, 9-45.
- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., Boyce, G. M. (2002). *Slope Stability and Stabilization Methods*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). NBR 11682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, p. 33.
- Campos, L. E. P. (1984). Influência da sucção na estabilidade de taludes naturais em solos residuais. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: PUC-Rio.
- Cecílio Jr., M.O. (2009). Estudo do comportamento de um túnel em solo residual de gnaiss por meio de ensaios triaxiais com controle de trajetórias de tensões. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica – USP.
- Cozzolino, V. M. N. (1972). Tipos de sedimentos que constituem a Bacia de São Paulo. Tese (Doutorado). São Paulo: EPUSP.
- Das, B. M. (2007). *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. São Paulo: Thomson Learning.
- Duncan, J. M. (1996). State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 122, n. 7, p. 577-596.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., Brandon, T. L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Franch, F.A.J. (2008). Influência do tipo de revestimento superficial no fluxo não saturado e sua influência na estabilidade de taludes. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica – USP.
- Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. (2000). *Manual técnico de encostas: análise e investigação*. vol. 1, 2ª ed. Rio de Janeiro: GEO-RIO.

Futai, M. M., Cecílio Jr., M. O., Abramento, M. (2012). Resistência ao cisalhamento e deformabilidade de solos residuais da RMSP. In: *Seminário TwinCities: Solos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Curitiba*, 153-184. São Paulo: ABMS.

Godóis, J.V. (2011). Estudo do Comportamento de um Escorregamento Ativo na Serra da Cantareira – SP. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica – USP.

Gurgueira, M. D. (2013). Correlação de dados geológicos e geotécnicos na Bacia de São Paulo. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

Juliani, C. (1992). O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In: *Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo*, 3-20. São Paulo: ABAS/ABGE/SBG-SP.

Kutner, A. S.; Bjomberg, A. J. S. (1997). Contribuição para o conhecimento geológico-geotécnico da Bacia de São Paulo: litotipos, notação estratigráfica e feições estruturais relevantes. *Revista Engenharia*, ed. 522, 65-73.

Lima, J.M.F. (2009). Interação solo-grampo: comparação dos resultados de campo com ensaios de laboratório. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

Massad, F. Características e propriedades geotécnicas de alguns solos da Bacia de São Paulo. (1980). In: *Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo*, 53-94. São Paulo: ABGE, 1980.

Massad, F. Resistência ao Cisalhamento e Deformabilidade de Solos Sedimentares de São Paulo. (2012). In: *Seminário TwinCities: Solos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Curitiba*, 109-135. São Paulo: ABMS, 2012.

Massad, F., Pinto, C. S., Nader, J. J. (1992). Resistência e deformabilidade. In: *Solos da Cidade de São Paulo*, 141-179. São Paulo: ABMS/ABEF.

Monteiro, M. D., Gurgueira, M. D., Rocha, H. C. (2012). Geologia da Região Metropolitana de São Paulo. In: *Seminário TwinCities: Solos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Curitiba*, 15-44. São Paulo: ABMS.

Mori, Y. B. (2016). *Caracterização de solo superficial em área potencial em relação a parâmetros hidráulicos*. Monografia (Trabalho de Formatura). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

Oliveira, D.G.G., Monteiro, M. D., Rocha, H. C., Dias, C. C. (2017). Aspectos geotécnicos dos maciços ao longo do trecho entre Vila Sonia e Taboão da Linha 4 – Amarela, do Metrô de São Paulo.

Pellogia, A. U. G. (1997). Parâmetros geomecânicos de solos saprolíticos do Município de São Paulo (SP). *Solos e Rocha*. vol. 20, n.3, 209-213.

Pinto, C.S., Gobara, W., Peres, J. E. E. P, Nader, J. J. (1993). Propriedades dos solos residuais. In: *Solos do Interior de São Paulo*, 95-142. São Paulo: ABMS

Riccomini, C. *O rift continental do sudeste do Brasil*. 1989. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

Riccomini, C., Coimbra, A. M. (1992). Geologia da bacia sedimentar. In: Ferreira, A. A., Alonso, U. R., Luz, P. L. *Solos da cidade de São Paulo*, 37-94. São Paulo: ABMS/ABEF.

Rodriguez, S. K. (1998). Geologia urbana da Região Metropolitana de São Paulo. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

Vargas, M. (1974). Engineering properties of residual soils from South Central region of Brazil. *ICIACEG, 2 IAEG*. vol. IV, 5.1-5.26

ANEXO 1 – DADOS COMPILADOS

Unidade Litológica	Horizontes Litológicos - Fácies	Horizontes Litológicos - Notação	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Fonte	Tipo de ensaio
Depósitos Tecnogênicos	-	1	16	10	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Tecnogênicos	-	1	15	10	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Tecnogênicos	-	1	15,7	10,0	24,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Depósitos Tecnogênicos	-	1	19,0	10,0	24,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Tf	14	5	15	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Tf	13	5	15	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Tf	14	8	20	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Tf	14	5	15	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Tf	14	5,00	15,00	Metrô de S. Paulo (1989) apud Massad (2012)	Ensaio Triaxial CU
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Tf	14	8,00	20,00	Metrô de S. Paulo (1989) apud Massad (2012)	Ensaio Triaxial CU
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Ag1	16	8	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Ag1	16	8	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Ag2	16	8	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Ag2	16	8	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Ag3	16	8	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Argiloso	2Ag3	16	8	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar1	17	5	28	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar1	17	5	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar1	17	5	30	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar2	17	5	28	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar2	17	5	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar2	17	5	30	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar3	17	5	28	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar3	17	5	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Depósitos Aluvionares (Quaternário)	Arenoso	2Ar3	17	5	30	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,5	9,8	20	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,5	9,8	25	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	15	20	27	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16	20	27	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	15	20	27	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,4	20	26,8	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	13,7	30	27,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,9	30	28,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	13,5	9,8	33,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	15,6	29,4	29,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,8	58,8	21,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,4	-	27,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,2	68,6	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	17,1	63,7	24,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,4	68,6	25,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,6	58,8	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,5	39,2	25,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,4	39,2	30,0	Massad, 1980	Compressão triaxial

Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,7	0,0	30,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,5	0,0	31,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	17,0	13,7	28,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,1	20,6	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,3	39,2	26,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	14,4	19,6	-	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,2	24,5	29,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	15,5	19,6	27,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp1	16,2	29,4	29,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Agp2	18	39,2	20	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Agp2	19	39,2	20	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	16,5	40	25	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	18	40	25	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	16	40	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	17,4	40	30,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	18,8	40	30,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	19	40	29,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	16,6	68,6	25,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	16,2	49,0	22,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	17,0	78,4	22,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	17,2	49,0	21,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Vermelhas	3Agp2	17,6	88,2	23,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18	68,6	12	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	20	29,4	22	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	17	25	27	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18	30	25	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	19	40	24	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	20	50	23	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	20	75	22	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	20	100	21	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	20	150	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18	30	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	20	100	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18	34	28,4	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18,4	35	30,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18,5	37	30,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18	35	29,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18	70	28	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	18,2	30	27	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	17,3	20	30	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	17,8	90	30	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag1	17,9	200	30	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	18	68,6	12	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20	29,4	22	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	17	25	27	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado

Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18	30	25	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	19	40	24	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20	50	23	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20	75	22	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20	100	21	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20	150	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18	30	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20	100	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18	34	28,4	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,4	35	30,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,5	37	30,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18	35	29,5	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18	70	28	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,2	30	27	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	17,3	20	30	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	17,8	90	30	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	17,9	200	30	Massad et al., 1992	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,6	39,2	20,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	19,1	19,6	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,2	39,2	15,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,8	39,2	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,6	78,4	17,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,1	29,4	32,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	21,4	29,4	23,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,6	29,4	29,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,7	29,4	17,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	21,0	29,4	32,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,9	68,6	29,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	19,3	9,8	26,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	15,5	29,4	30,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,1	19,6	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	17,9	49,0	22,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	21,7	49,0	20,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,0	0,0	30,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,2	19,6	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	19,3	29,4	22,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	19,3	58,8	22,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	21,1	29,4	32,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,2	19,6	29,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	19,5	0,0	35,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,8	29,4	21,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	19,4	49,0	25,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	18,7	9,8	26,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,3	29,4	33,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variiegadas	3Ag2	20,1	0,0	35,0	Massad, 1980	Compressão triaxial

Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,1	9,8	30,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,0	0,0	32,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	19,9	49,0	25,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,2	68,6	21,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	17,3	29,4	31,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	18,5	9,8	21,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	19,0	49,0	26,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	18,4	39,2	22,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	19,3	29,4	21,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,1	29,4	29,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	17,0	58,8	28,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,8	78,4	24,5	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,8	58,8	20,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	19,7	68,6	20,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,9	39,2	22,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	20,5	19,6	32,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Argilas Variegadas	3Ag2	18,9	0,0	29,0	Massad, 1980	Compressão triaxial
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar1	19	3	30	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar1	19	3	32	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar1	19	3	35	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar1	19	1	33	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar1	19	3	33	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar2	19	3	30	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar2	19	3	32	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar2	19	3	35	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar2	19	1	33	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. São Paulo	Arenoso	3Ar2	19	3	33	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	19	49	20	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	19	49	25	Cozzolino, 1972	Ensaio Triaxial rápido pré-adensado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	19	25	27	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	19,5	30	25	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	20	40	24	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	20,5	50	23	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	21	75	22	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	21,5	100	21	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	21,5	150	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	20	40	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag1	22	100	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	19	25	27	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	19,5	30	25	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	20	40	24	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	20,5	50	23	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	21	75	22	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	21,5	100	21	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	21,5	150	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado

Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	20	40	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag2	22	100	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	19	25	27	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	19,5	30	25	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	20	40	24	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	20,5	50	23	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	21	75	22	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	21,5	100	21	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	21,5	150	20	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	20	40	20	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Argiloso	4Ag3	22	100	25	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar1	19	5	30	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar1	20	5	32	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar1	20,6	5	35	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar1	20	1	30	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar1	21	5	35	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar2	19	5	30	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar2	20	5	32	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar2	20,6	5	35	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar2	20	1	30	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar2	21	5	35	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar3	19	5	30	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar3	20	5	32	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar3	20,6	5	35	CMSP, 1994, apud Gurgueira, 2013	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar3	20	1	30	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado
Fm. Resende	Arenoso	4Ar3	21	5	35	Kutner e Bjornberg, 1997	Tipo de ensaio não citado

Unidade Litológica	Procedência (embasamento)	γ (kN/m³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Fonte	Tipo de ensaio
Solo Residual	Gnaiss	18,5	27	20	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	17,7	1	33	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	19,8	21	31	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	18,7	34	20	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	25	4	26	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	19,3	2	32	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	21,5	71	21	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	19	12	22	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	20	8	24	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	18,5	13	15	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	18,8	5	19	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	16	15	29	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	16,8	44	30	Pellogia, 1997	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	20,4	37,3	26,2	Cecílio, 2009 apud Futai et al., 2012	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss	19	34	36,5	EPT, 2004 apud Futai et al., 2012	Tipo de ensaio não citado (referência original não publicada)
Solo Residual	Gnaiss	17	30	31,7	EPT, 2007 apud Futai et al., 2012	Tipo de ensaio não citado (referência original não publicada)
Solo Residual	Gnaiss	18,6	164	23,9	EPT, 2010 apud Futai et al., 2012	Tipo de ensaio não citado (referência original não publicada)
Solo Residual	Gnaiss	17,3	45	31,1	EPT, 2010 apud Futai et al., 2012	Tipo de ensaio não citado (referência original não publicada)
Solo Residual	Gnaiss	18,9	14	36,2	Futai e Gonçalves, 2007 apud Futai et al., 2012	Tipo de ensaio não citado (referência original não publicada)
Solo Residual	Gnaiss	15	14	29	Futai, 2010 apud Futai et al., 2012	Tipo de ensaio não citado (referência original não publicada)
Solo Residual	Gnaiss	15	34	29	Futai, 2010 apud Futai et al., 2012	Tipo de ensaio não citado (referência original não publicada)
Solo Residual	Gnaiss	-	29	32	Lima, 2009	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	-	35	35	Lima, 2009	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	-	13	39	Lima, 2009	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	-	27	39	Lima, 2009	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Gnaiss	16,7	34	29,3	Vargas, 1951 apud Futai et al., 2012	Ensaio de compressão triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	14,7	3,5	24,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT

Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	19,6	93,0	36,1	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	16,7	20,3	27,5	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	21,1	35,0	37,9	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	17,7	41,1	28,5	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,6	11,8	28,5	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	16,7	36,1	36,3	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,6	83,4	36,3	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	15,7	16,7	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,6	708,0	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	16,7	32,4	31,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	21,1	110,0	34,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	16,7	34,5	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	21,1	93,1	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	15,7	31,6	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	17,7	51,6	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	17,7	34,5	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	19,6	93,1	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	13,7	4,6	23,4	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	19,6	111,6	39,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	17,7	65,2	34,9	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	19,6	95,5	36,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	15,7	8,9	34,9	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,6	707,0	39,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	13,7	19,0	24,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	21,0	30,0	41,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	30,0	32,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	30,0	30,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	30,0	41,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	19,0	35,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	20,0	41,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	17,7	68,0	32,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,6	188,0	34,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	19,1	-	35,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	21,1	-	38,7	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	17,7	74,5	37,7	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,6	113,0	37,7	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT

Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,0	10,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,0	35,0	62,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	32,0	36,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	10,0	62,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	35,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	15,0	52,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	30,0	33,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	20,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	-	20,0	42,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,0	20,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	20,0	30,0	42,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Granito	18,8	16,5	30,1	Godóis, 2011	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Granito	16,7	34	29,3	Vargas, 1951 apud Futai et al., 2012	Ensaio de compressão triaxial
Solo Residual	Micaxisto	19,6	15	30	Yoda, 2000 apud Futai et al., 2012	Ensaio triaxial CD
Solo Residual	Micaxisto	17,8	19	35	Franch, 2008	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	1,75	36	26	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	1,75	36	26	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	1,77	36	26	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	1,86	100	23	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	1,89	100	23	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	1,81	100	23	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	19,9	90	23	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	20,0	90	23	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	19,9	90	23	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	18,9	100	25	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	18,4	100	25	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	19,0	100	25	ABEF, 1989	Triaxial - CD
Solo Residual	Migmatito	17,0	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	16,7	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	16,7	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,5	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,1	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	17,7	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,3	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,7	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,7	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto

Solo Residual	Migmatito	19,0	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,1	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,7	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,8	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	18,0	70	25	ABEF, 1989	Cisalhamento Direto
Solo Residual	Migmatito	-	15	30,5	Pinto et al., 1993	Ensaio CD
Solo Residual	Migmatito	-	19	31,5	Pinto et al., 1993	Ensaio CD
Solo Residual	Migmatito	-	14	30	Pinto et al., 1993	Ensaio CD

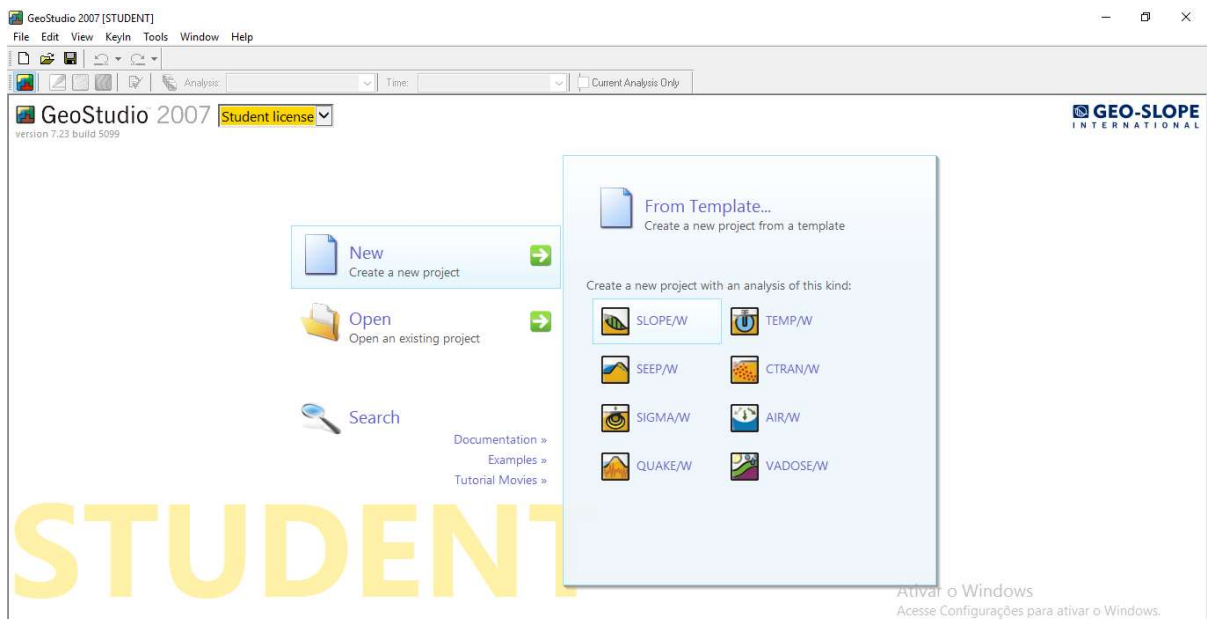
Unidade Litológica	Rocha-mãe	Tipo de Solo Residual	γ (kN/m³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Fonte	Tipo de ensaio
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	14,7	3,5	24,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	19,6	93,0	36,1	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	16,7	20,3	27,5	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	21,1	35,0	37,9	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	17,7	41,1	28,5	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	20,6	11,8	28,5	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	16,7	36,1	36,3	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	20,6	83,4	36,3	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	15,7	16,7	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	20,6	708,0	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	16,7	32,4	31,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	21,1	110,0	34,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	16,7	34,5	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	21,1	93,1	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	15,7	31,6	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	17,7	51,6	-	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	17,7	34,5	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	19,6	93,1	33,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	13,7	4,6	23,4	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	19,6	111,6	39,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	17,7	65,2	34,9	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	19,6	95,5	36,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	15,7	8,9	34,9	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	20,6	707,0	39,6	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	13,7	19,0	24,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	21,0	30,0	41,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	-	30,0	32,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	-	30,0	30,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	-	30,0	41,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	-	19,0	35,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Maduro	-	20,0	41,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial

Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	17,7	68,0	32,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	20,6	188,0	34,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	19,1	-	35,2	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	21,1	-	38,7	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	17,7	74,5	37,7	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	20,6	113,0	37,7	Oliveira et al., 2017	Ensaio DMT
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	20,0	10,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	20,0	35,0	62,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	-	32,0	36,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	-	10,0	62,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	-	35,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Jovem	-	15,0	52,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Saprolito	-	30,0	33,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Saprolito	-	20,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Saprolito	-	20,0	42,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Saprolito	20,0	20,0	31,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial
Solo Residual	Gnaiss Biotítico Migmatizado	Saprolito	20,0	30,0	42,0	Oliveira et al., 2017	Ensaio Triaxial

ANEXO 2

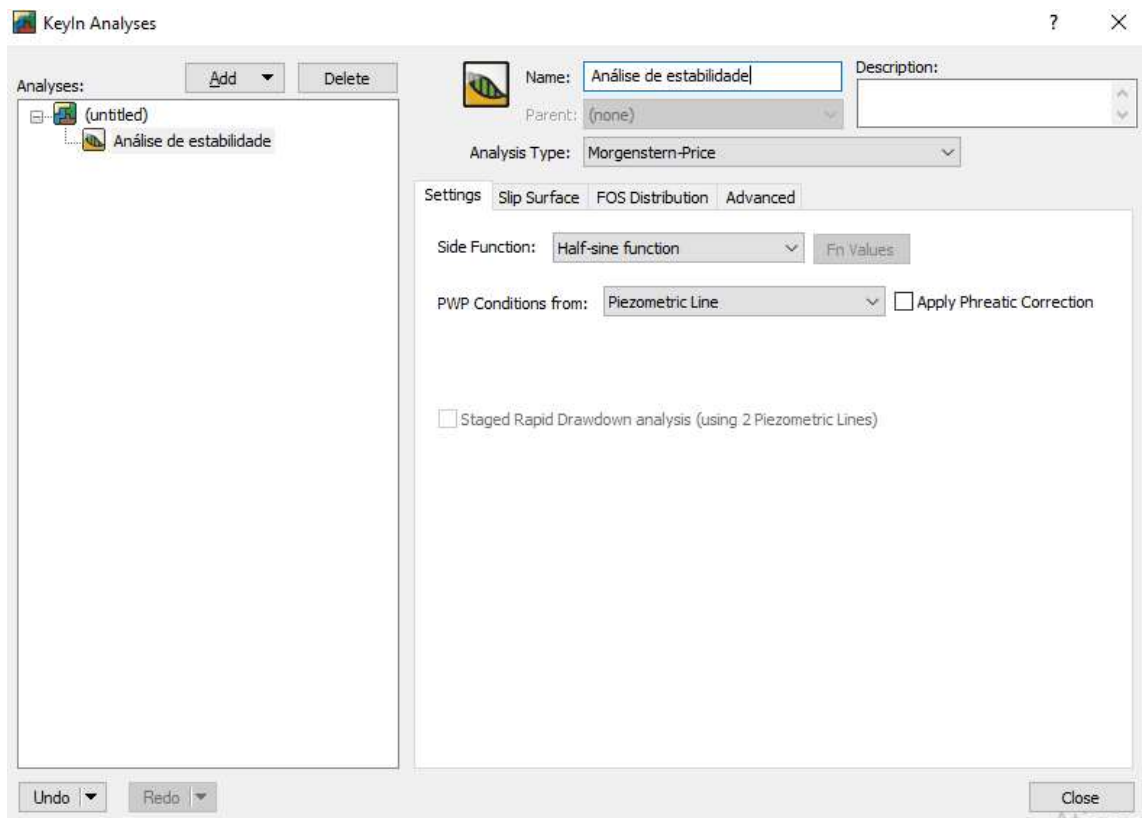
ANÁLISE DE ESTABILIDADE: PASSO A PASSO PARA A DETERMINAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA

Para realizar a análise de estabilidade de talude pela determinação do fator de segurança, foi utilizada a ferramenta Slope/W, do software GEOSTUDIO 2007 (versão para estudantes).

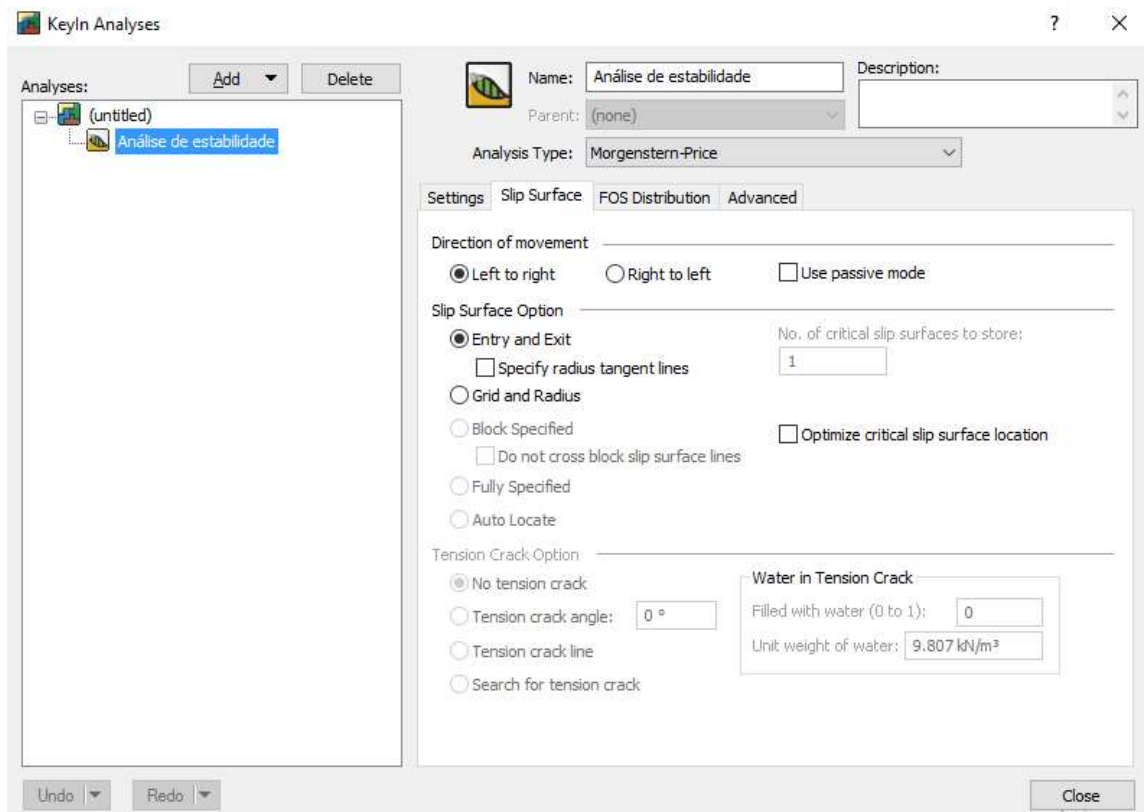


No menu 'Tipo de Análise', o método selecionado foi o Morgenstern-Price, por satisfazer as condições do equilíbrio de forças e de momentos em análises de estabilidade. Ele está entre os três métodos mais utilizados para estudos de estabilidade, e destes, é considerado o mais rigoroso.

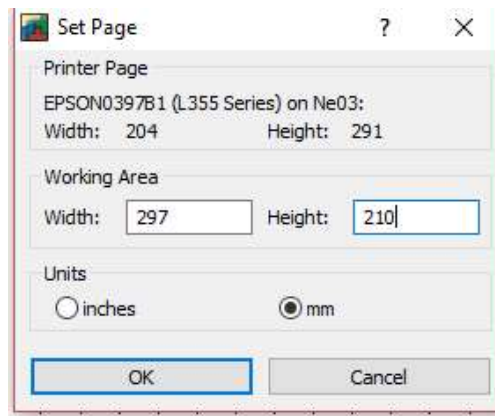
No campo 'PWP Conditions from', foi selecionada a opção 'Piezometric Line', de modo que a linha piezométrica do talude analisado foi definida segundo os estudos de Mori (2016), conforme será demonstrado posteriormente.



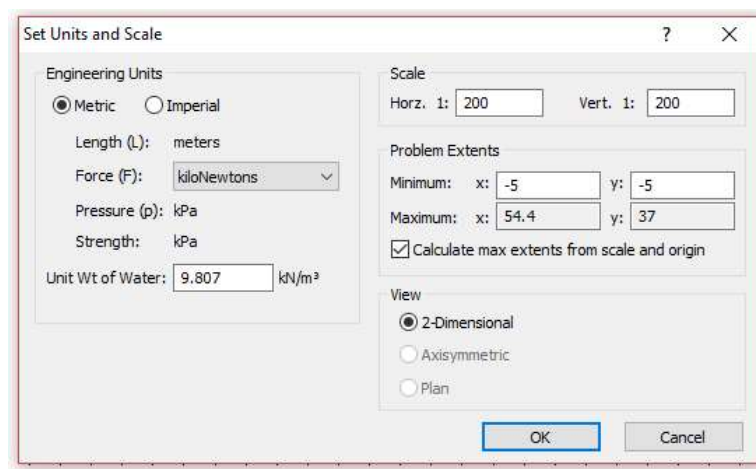
Ainda em 'Tipo de Análise', na aba 'Slip Surface' foi selecionada a opção 'Entry and Exit', que se refere a determinação da superfície crítica:



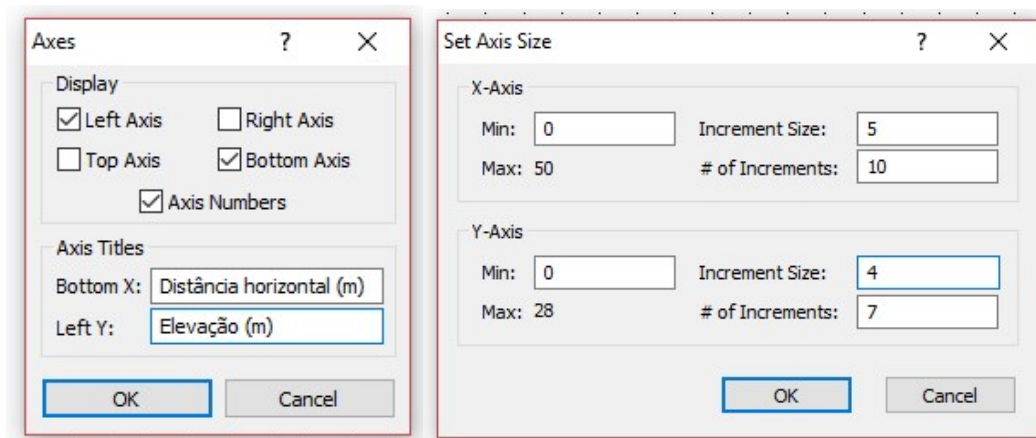
No menu 'Configurações de Página', foram adotadas as dimensões 297mm x 210mm para a área de trabalho:



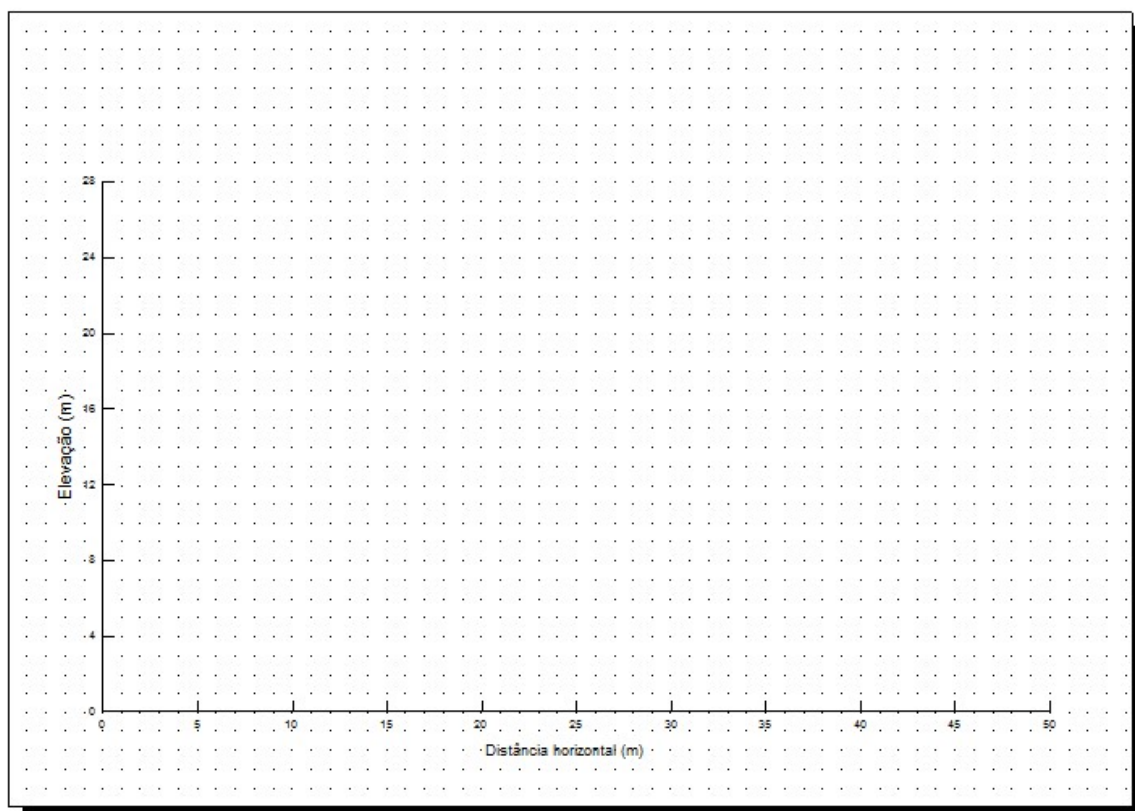
Na sequência, em 'Configurações de Escala', foram adotados os seguintes valores:



Em 'Configurações de Eixo', foram definidos os valores que constam na figura a seguir. Estes foram estabelecidos com base nas dimensões do talude estudado:



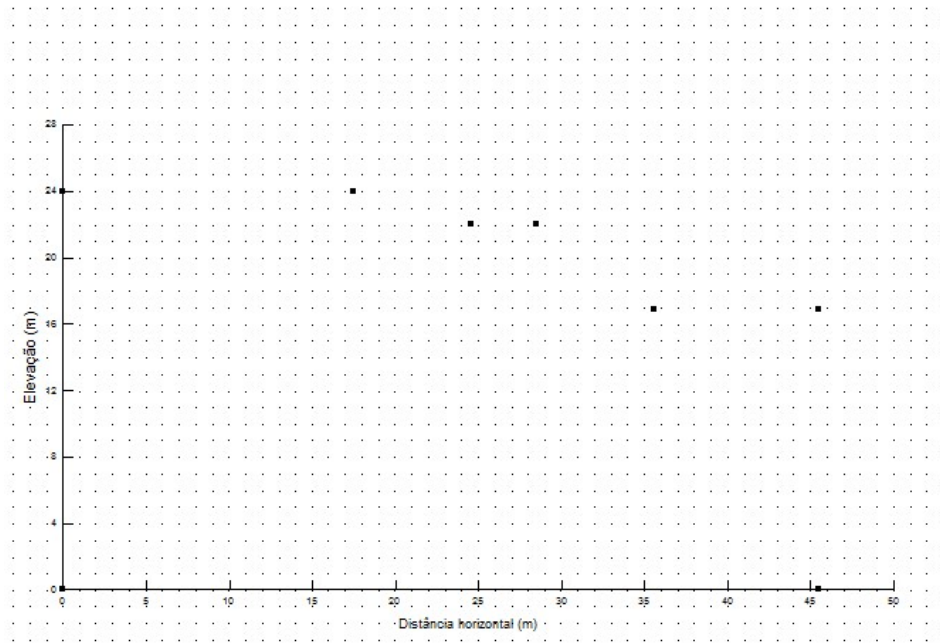
O resultado obtido é o que segue:



A etapa seguinte refere-se a definição de pontos, os quais definem a geometria do talude analisado. No presente projeto, foi utilizada a geometria do talude estudado por Mori (2016). Os pontos definidos são os seguintes:

KeyIn Points					
ID	X (m)	Y (m)	Label	Add	
1	0	0	Point+Number		
2	45.5	0	Point+Number	Delete	
3	45.5	16.9	Point+Number		
4	35.6	16.9	Point+Number		
5	28.5	22	Point+Number		
6	24.6	22	Point+Number		
7	17.5	24	Point+Number		
8	0	24	Point+Number		
9	---	---	Point+Number		
				Undo	Redo
				Close	

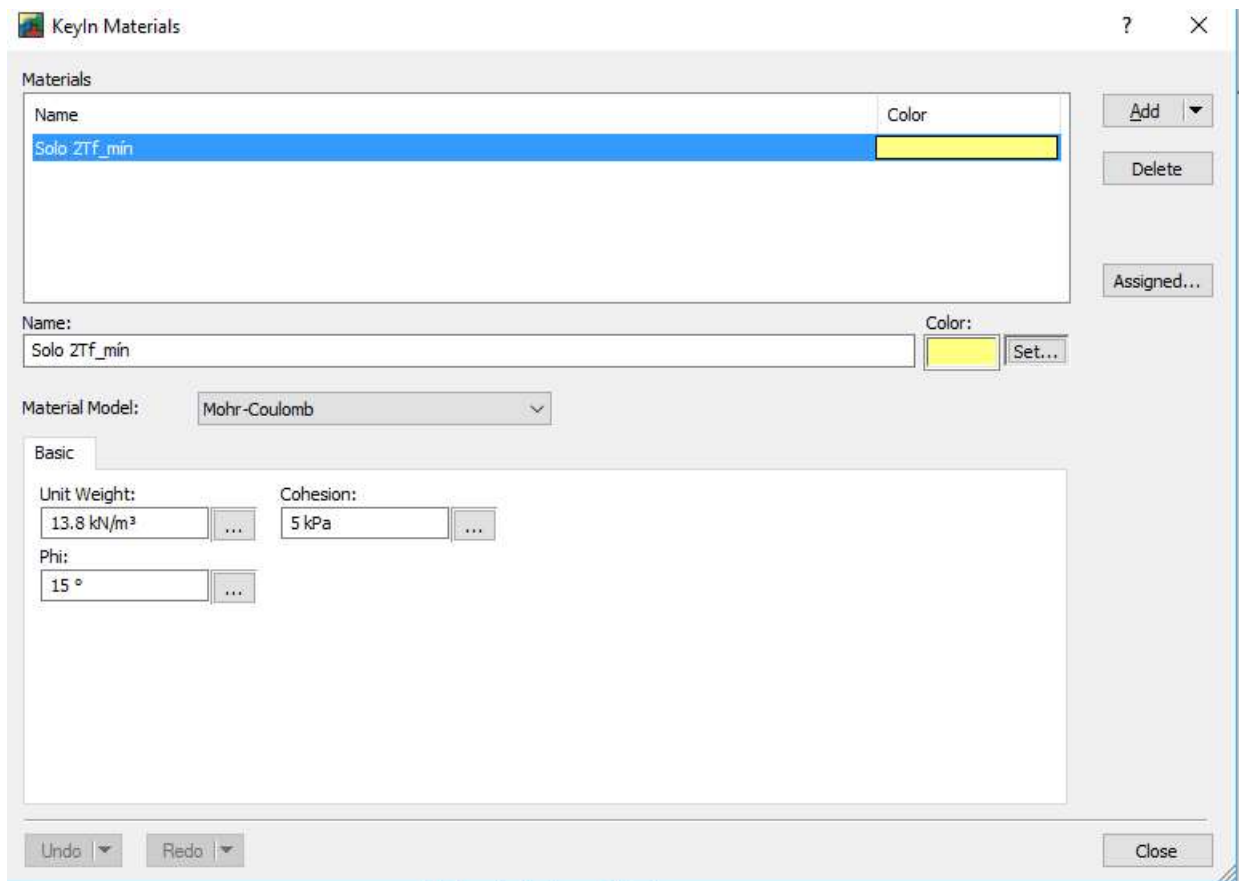
O resultado obtido é o que segue:



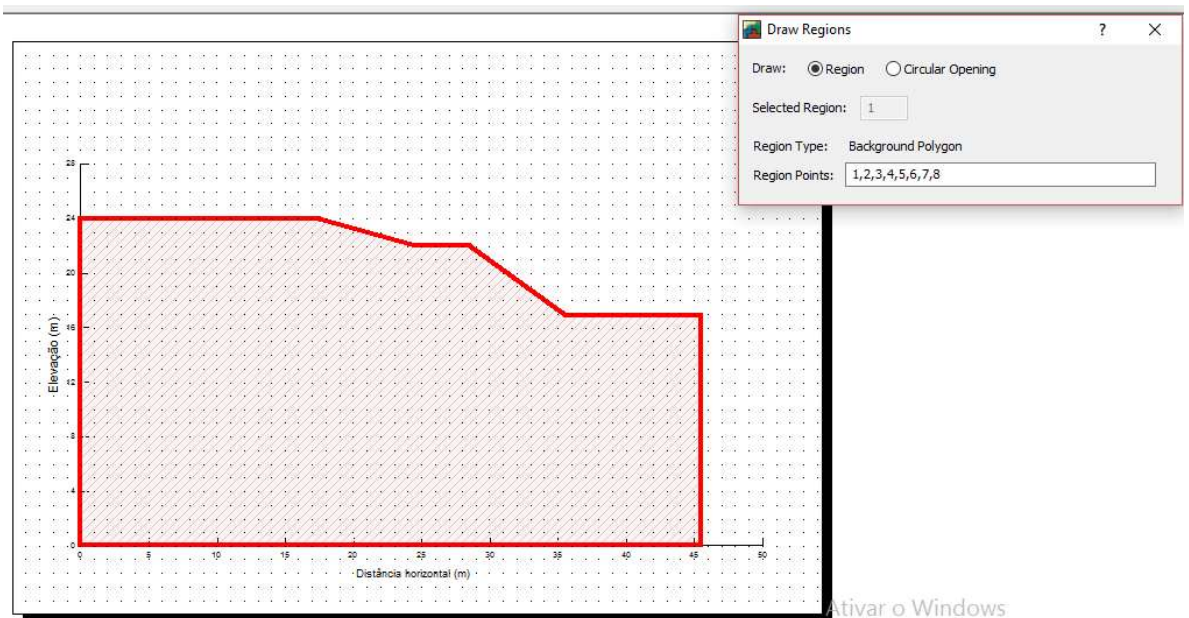
Para simplificar os estudos e compreender o comportamento de cada solo individualmente, foi adotado apenas um material para todo o talude. Como pode ser observado na figura abaixo, o modelo do material selecionado foi o modelo Mohr-Coulomb.

Os campos 'peso específico', 'coesão' (coesão efetiva) e 'phi' (ângulo de atrito efetivo) foram preenchidos de acordo com os dados coletados a partir da literatura disponível para os solos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Em 'peso específico', adotou-se a média dos valores atribuídos ao material do talude, e em 'coesão' e 'phi', criou-se duas situações: em uma delas, tais campos foram preenchidos com os menores valores disponíveis na literatura para o solo em questão, simulando uma situação de maior suscetibilidade a deslizamento e que, conseqüentemente, apresenta menor fator de segurança; e a outra situação representa a situação oposta, com os maiores valores disponíveis de coesão e ângulo de atrito do material, o que corresponde a uma situação de maior estabilidade do talude, apresentando maior valor do fator de segurança.

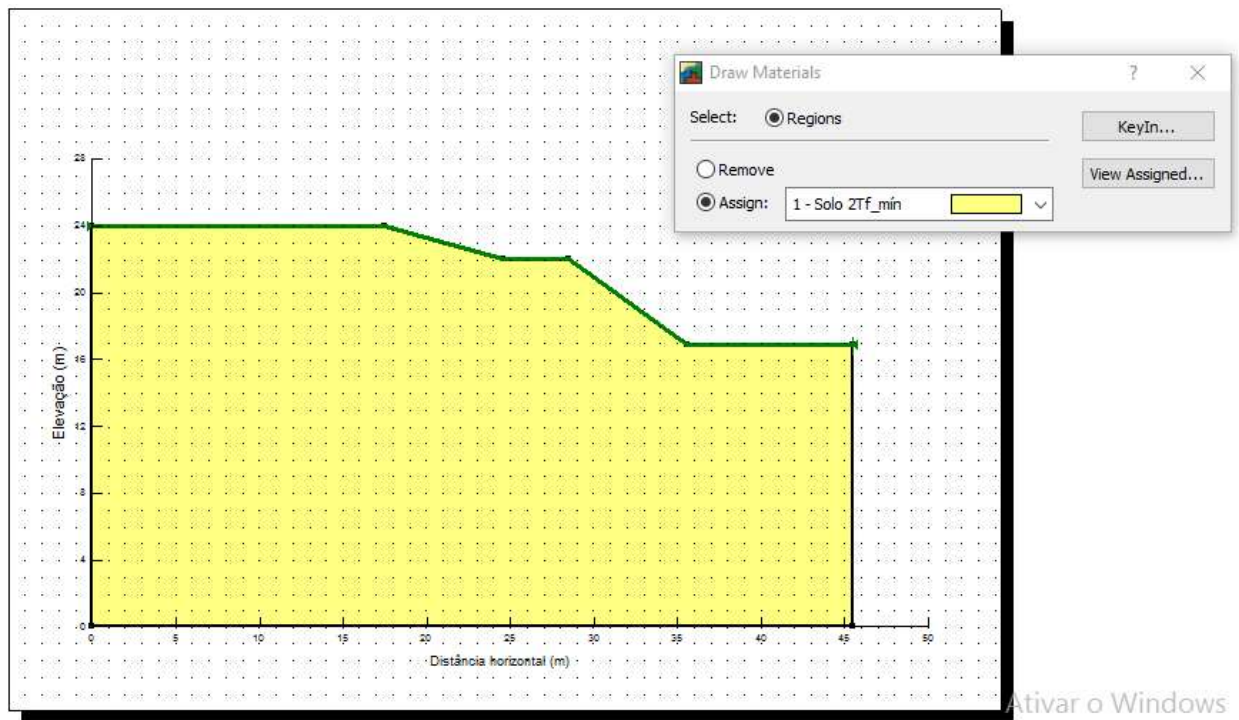
O exemplo a seguir refere-se ao solo 2Tf, pertencente aos depósitos quaternários da RMSP. Neste caso, adotou-se a média do peso específico dos dados disponíveis para este solo, conforme descrito anteriormente, e os menores valores possíveis de coesão e ângulo de atrito para o mesmo:



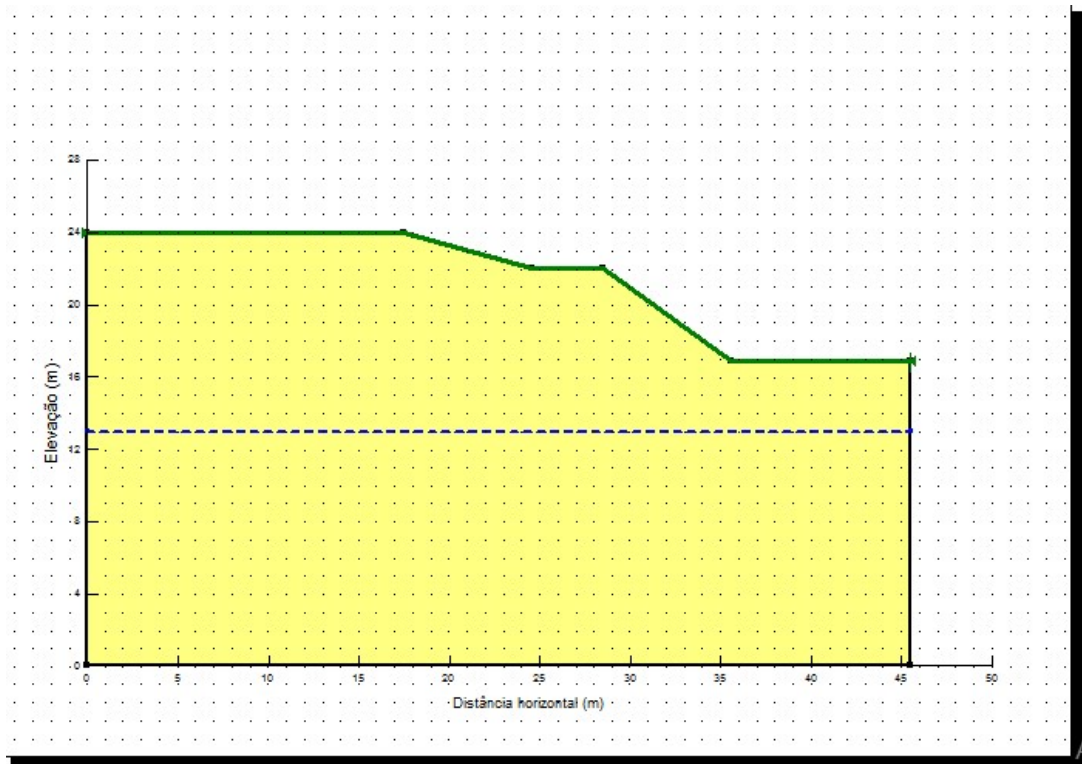
Na sequência, definiu-se a região do talude estudado, delimitada pelos pontos definidos, da seguinte forma:



A região que delimita o talude foi então preenchida pelo material estudado, no caso, o solo 2Tf (com valores de coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo mínimos):



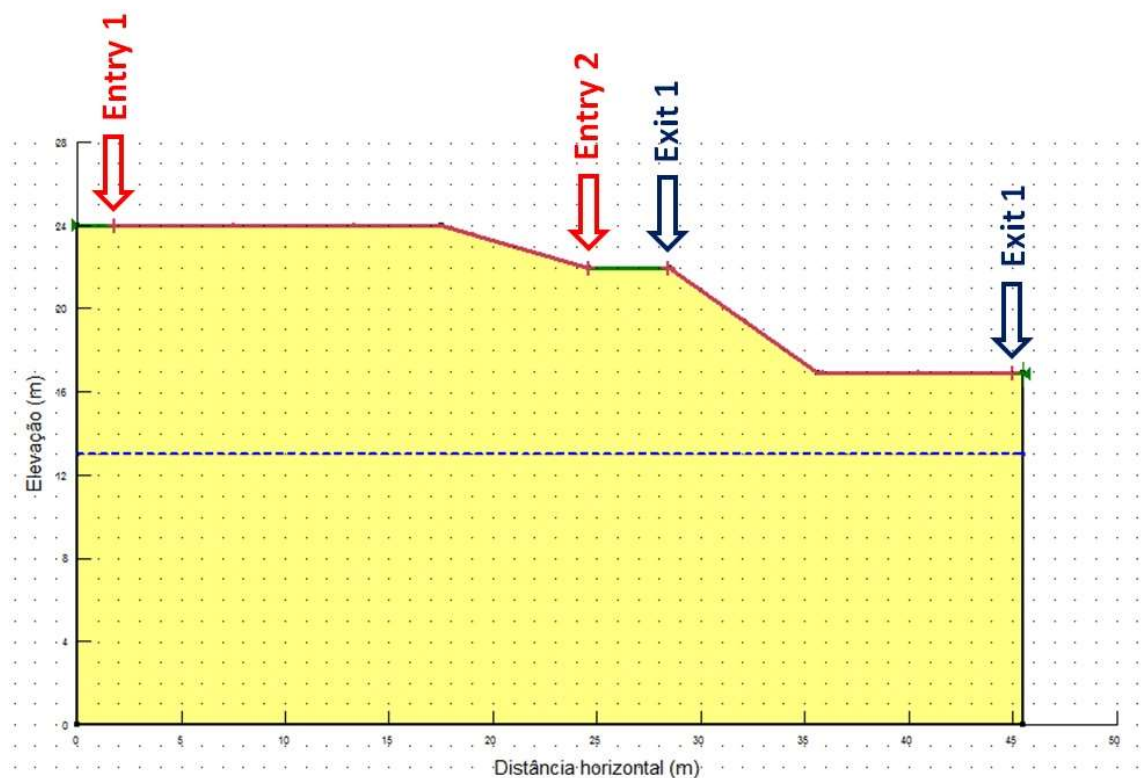
Na sequência, definiu-se a linha piezométrica do talude, de acordo com aquela obtida em janeiro de 2016 por Mori (2016). O resultado obtido é o que segue:



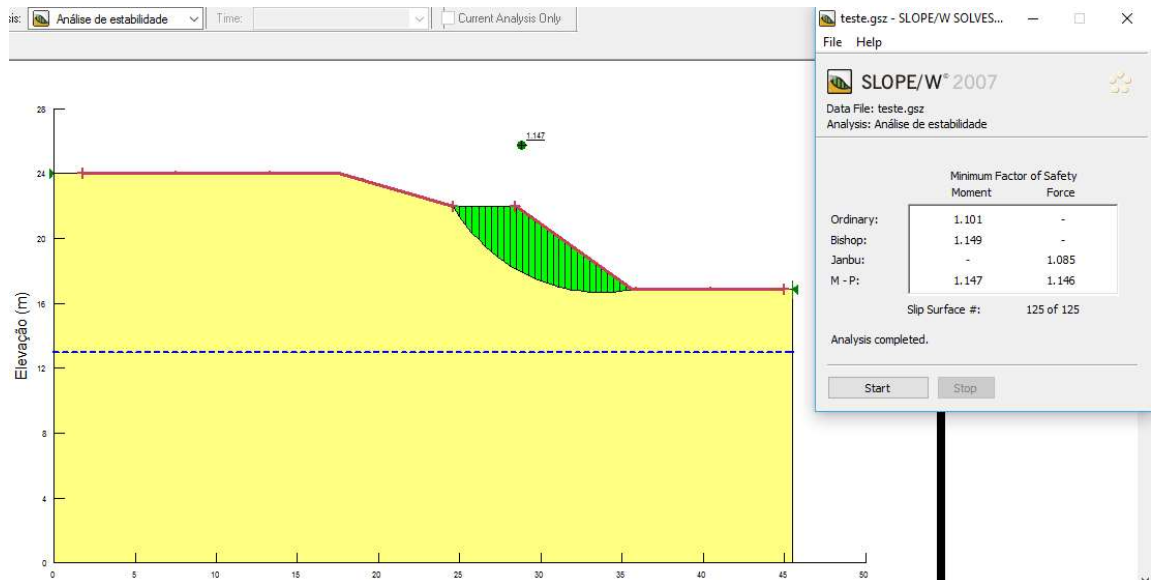
A superfície de deslizamento, por sua vez, foi definida pela ferramenta 'Entry and Exit'. Os pontos de entrada e de saída foram definidos da seguinte forma:

Draw Slip Surface Entry and Exit Range

Entry Range (Left Side)			Exit Range (Right Side)		
Type:	Left Point:	Right Point:	Type:	Left Point:	Right Point:
Range	X: 1.754717	X: 24.600000	Range	X: 28.396226	X: 45.000000
	Y: 24.000000	Y: 22.000000		Y: 22.000000	Y: 16.900000
Number of increments over range:		4	Number of increments over range:		4
Number of radius increments: 4					
Slip Surface Projection Angle					
☐ Use Left (Active) Projection Angle:		135	☐ Use Right (Passive) Projection Angle: 45		
Clear			Apply		Done



Finalmente, os botões 'Solve Analyses' e 'Switches to the CONTOUR view to display computed results' permitiram, respectivamente, calcular o fator de segurança do talude estudado e desenhar graficamente a possível superfície de deslizamento, conforme demonstra a figura a seguir:



Portanto, o resultado obtido é: para condições mínimas de coesão efetiva e ângulo de atrito efetivo, o solo quaternário 2Tf apresenta mínimo valor de fator de segurança igual a 1,147.