

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E  
SANEAMENTO AMBIENTAL

**EFEITO DA CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES  
GEOTÉCNICAS NO MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS  
A ESCORREGAMENTOS COM MODELO SHALSTAB**

Carla Moreira Melo

Porto Alegre – RS

Fevereiro - 2018

Carla Moreira Melo

**EFEITO DA CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES  
GEOTÉCNICAS NO MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS  
A ESCORREGAMENTOS COM MODELO SHALSTAB**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental como pré-requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Masato Kobiyama

Porto Alegre – RS

Fevereiro - 2018

### CIP - Catalogação na Publicação

Melo, Carla Moreira

Efeito da caracterização das unidades geotécnicas no mapeamento das áreas susceptíveis a escorregamentos com modelo SHALSTAB / Carla Moreira Melo. -- 2018.

160 f.

Orientador: Masato Kobiyama.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Geotecnia. 2. Escorregamento. 3. SHALSTAB. I. Kobiyama, Masato, orient. II. Título.

Carla Moreira Melo

**EFEITO DA CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS  
NO MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A  
ESCORREGAMENTOS COM MODELO SHALSTAB**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental como pré-requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em: Porto Alegre, 28 de fevereiro de 2018.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr. Masato Kobiyama – UFRGS  
Orientador

---

Prof. Dr. Fernando Mainard Fan – UFRGS  
Examinador

---

Prof. Dr. Gean Paulo Michel – UFRGS  
Examinador

---

Prof. Dr. Marco Alésio Figueiredo Pereira – FEEVALE  
Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço, a Deus pelas bênçãos. Á pratica budista por estar auxiliando na transformação do meu Ser.

Agradeço imensamente a minha mãe (Cristina), por estar sempre ao meu lado em todos os momentos. Agradeço pela vida e por todo o amor incondicional. Ao meu pai (Carlos Juarez) que, embora tenha partido, se faz presente me abençoando. Ao meu pai de coração (Rudimar) por toda ajuda e amor nesta caminhada. A minha irmã (Tatiana), obrigada pela parceria e apoio neste período. Á minha sobrinha (Julia) por todo amor. Ao meu cunhado (Paulo) pelo incentivo em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador Masato Kobiyama pelos ensinamentos científicos e de convivência que consolidaram nossa amizade.

Agradeço ao professor Gean Michel que, embora não tenha noção, me trouxe grandes ensinamentos.

Agradeço aos colegas do GPDEN, em especial ao Maurício Paixão e João Godoy, foram incansáveis durante as saídas de campo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas pela oportunidade de estudo.

**Nam-myoho-renge-kyo**

南無妙法蓮華經

**(Sutra do Lótus)**

## RESUMO

Os desastres devido à ocorrência dos escorregamentos têm aumentado significativamente, causando consequências que vão além de prejuízos reparáveis, acabando por afetar muitas vidas. Várias ferramentas como modelos computacionais aliados à Sistemas de Informações Geográficas (SIG), estão subsidiando tomadas de decisões por parte dos gestores públicos. Dentre tais ferramentas, o modelo SHALSTAB está sendo amplamente utilizado para geração de mapas de previsão de escorregamentos. Isso devido às diversas vantagens que vão desde o fácil acesso pela internet até a pequena quantidade de parâmetros necessários, dentre outras. Embora estes aspectos sejam positivos, deve-se atentar para o uso, muitas vezes indiscriminado, pela desconsideração das limitações e alguns aspectos que influenciam diretamente no grau de confiabilidade do modelo. Dentre as limitações inerentes aos aspectos originais do modelo, algumas foram contornadas nos últimos anos. No Brasil importante avanço científico ocorreu em função da modificação do algoritmo do SHALSTAB com a inserção de novas variáveis, além da discretização dos parâmetros físicos do solo. Ainda que isso tenha melhorado a qualidade dos mapas gerados no Brasil, observa-se uma lacuna na bibliografia no que se refere o efeito dos processos inerentes à caracterização das unidades geotécnicas dada pelas propriedades dos solos. À Vista disso pouco se sabe sobre a repercussão nos resultados gerados pelo SHALSTAB, quanto à espacialidade e a quantidade de dados amostrais de solo que caracterizam as unidades geotécnicas. Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo verificar o efeito da caracterização das unidades geotécnicas no cálculo de estabilidade de encostas por intermédio do modelo SHALSTAB. Para tal fim, foram propostos diversos cenários, para bacia do arroio Jaguar, em Alto Feliz - RS, com valores dos parâmetros de solo obtidos da bibliografia. Ademais, adoção do inventário de cicatrizes de escorregamentos foi imprescindível no apoio à verificação do desempenho dos cenários. Foram adotadas duas metodologias comumente utilizadas para avaliar o desempenho do modelo. Os resultados mostraram que a variabilidade espacial dos pontos de amostragens de solo aliada à quantidade máxima dos mesmos por unidade geotécnica influenciaram na aproximação dos resultados à realidade local. Isso ficou evidenciado nas simulações que não contemplaram estas duas condições, resultando em cenários com menor eficiência em representar o contexto da bacia.

**Palavras-chave:** Escorregamento, SHALSTAB, Geotecnia.

## ABSTRACT

Disasters due to the landslides have increased significantly, causing repairable damage and ultimately affecting many human lives. Several tools such as computational models allied to Geographic Information Systems (GIS), are subsidizing decision making by public managers. Among these tools, the SHALSTAB model has been widely used for the maps generation and prediction of landslides. This is due to the many advantages that go from the easy access through the internet to the small amount of necessary parameters, among others. Although these aspects are positive, attention must be paid to the often indiscriminate use of the lack of consideration of the limitations and some aspects that directly influence the model's reliability and performance. Among the limitations inherent to the original aspects of the model, some have been circumvented in recent years. In Brazil important scientific advances occurred due to the modification of the SHALSTAB algorithm with the insertion of new variables, besides the discretization of the soil physical parameters. Although this has improved the quality of the maps generated in Brazil, there is a gap in the bibliography regarding the effect of the processes inherent to the characterization of the geotechnical units given by the properties of the soils. This view about the impact on the results generated by SHALSTAB, regarding the spatiality and the amount of soil sample data that characterize the geotechnical units is little known. Therefore, the objective of the present study was to verify the effect of the characterization of the geotechnical units on the calculation of slope stability with the SHALSTAB model. For this purpose, several scenarios were proposed, for the Jaguar stream basin, in Alto Feliz municipality (Rio Grande do Sul state), with values of the soil parameters obtained from the bibliography. In addition, adoption of the inventory of landslide scars was essential to support the verification of the performance of the scenarios. Two commonly used methodologies were used to evaluate the performance of the model. The results showed that the spatial variability of soil sampling points combined with the maximum number of samples per geotechnical unit influenced the approximation of the results to the local reality. This was evidenced in the simulations that did not contemplate these two conditions, resulting in scenarios with less efficiency in representing the context of the basin.

**Keywords:** Landslide, SHALSTAB, Geotechnique



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema baseado na metodologia de Davison (1995).....	19
Figura 2 - Representação do modelo de estabilidade de encosta infinita. (Fonte: SELBY, 1993).....	21
Figura 3 - Elementos usados pelo modelo hidrológico. (Adaptado de Montgomery e Dietrich, 1994).....	23
Figura 4 – Representação de algumas aplicações internacionais do modelo SHALSTAB .....	28
Figura 5 - Número de publicações dos trabalhos com o modelo SHALSTAB no Brasil no período de 2002-2016.....	29
Figura 6 – Produções científicas analisadas no Brasil no período de 2002 – 2016.....	30
Figura 7 - Distribuição espacial dos trabalhos com o modelo SHALSTAB no Brasil ..	31
Figura 8 - Número de trabalhos por estado que aplicaram o modelo SHALSTAB .....	32
Figura 9 - Distribuição espacial dos trabalhos analisados em detalhe. ....	33
Figura 10 – Representação dos trabalhos quanto adoção do parâmetro c. ....	34
Figura 11 – Representação dos trabalhos quanto origem dos parâmetros de entrada ....	35
Figura 12 – Representação dos trabalhos quanto à discretização dos parâmetros do solo. ....	36
Figura 13 – Representação dos trabalhos quanto à escala. ....	37
Figura 14 – Representação dos Trabalhos quanto ao processo de calibração .....	38
Figura 15 – Trabalhos calibrados quanto ao critério de delimitação e identificação das cicatrizes de escorregamentos .....	39
Figura 16 – Representação dos trabalhos calibrados quanto à validação do modelo.....	41
Figura 17 – Localização da bacia do arroio Jaguar .....	43
Figura 18 - Imagens dos movimentos de massa ocorridos em 2000 na bacia do arroio Jaguar. (Fonte: Michel, 2015).....	44
Figura 19 – Mapa Geológico .....	46
Figura 20 – Mapa Pedológico.....	48
Figura 21 – Fluxograma da dissertação .....	49
Figura 22 – Representação Ilustrativa do BST (Michel, 2015).....	51
Figura 23 – Mapa do Modelo Digital do Terreno .....	53
Figura 24 – Mapa de Declividade.....	55
Figura 25 – Mapa da Área de Contribuição .....	56
Figura 26 – Mapa Geotécnico .....	58
Figura 27 - Definição das áreas usadas no cálculo de $IA$ e $IE$ – (Michel, 2015).....	62
Figura 28 – Exemplo gráfico da curva ROC adaptado de Van Den Eeckhaut <i>et al.</i> (2006) .....	63
Figura 29 - Desempenhos de $IA$ e $IE$ (limiar $\log q/T = -2,5$ ) .....	66
Figura 30 – Gráfico e desempenhos de $IA$ e $IE$ a partir do limiar $\log q/T = -2,5$ .....	67
Figura 31 - Porcentagem cumulativa de área e de escorregamentos mapeados em cada classe de estabilidade para cenário 1 ( $z = 2$ m) .....	68
Figura 32 – Mapa de estabilidade da bacia do arroio Jaguar (cenário 1) .....	69
Figura 33 - Desempenhos de $IA$ e $IE$ (limiar $\log q/T = -2,8$ ) .....	70
Figura 34 - Gráfico e desempenhos de $IA$ e $IE$ a partir do limiar $\log q/T = -2,8$ .....	71
Figura 35 - Porcentagem cumulativa de área e de escorregamentos mapeados em cada classe de estabilidade para cenário 4 (ponto 08 e $Z = 1$ m).....	71

Figura 36 - Mapa de estabilidade da bacia do arroio Jaguar cenário 4 (ponto 08).....	72
Figura 37 - Desempenhos de $IA$ e $IE$ (limiar $\log q/T = -3,1$ ) .....	73
Figura 38 - Gráfico de desempenhos de $IA$ e $IE$ a partir do limiar $\log q/T = -3,1$ .....	74
Figura 39 - Porcentagem cumulativa de área e de escorregamentos mapeados em cada classe de estabilidade do cenário 13 (13 pontos amostrais e $z = 3$ m) .....	75
Figura 40 - Mapa de estabilidade da bacia do arroio Jaguar cenário 13 (13 pontos amostrais e $z = 3$ m).....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais métodos internacionais de mapeamento geotécnico.....	17
Tabela 2 - Características dos mapas resultantes segundo metodologia Zuquette (1987) .....	18
Tabela 3- Classes de acordo com o modelo SHALSTAB.....	27
Tabela 4 – Dados físicos do solo da área de Estudo.....	59
Tabela 5 – Cenários propostos .....	61
Tabela 6 – Parâmetro de entrada do modelo SHALSTAB no cenário 1 .....	66
Tabela 7– Parâmetro de entrada do modelo SHALSTAB no cenário 4.....	71
Tabela 8– Parâmetro de entrada do modelo SHALSTAB no cenário 13.....	74

## TABELA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
$g$	Aceleração gravitacional	m/s <sup>2</sup>
$h$	Altura da coluna d'água	m
$\phi$	Ângulo de atrito interno do solo	°
$a$	Área de contribuição	m <sup>2</sup>
$E$	Área cumulativa dos Escorregamentos	%
$A$	Área cumulativa da bacia	%
$c_r$	Coesão de raízes	N/m <sup>2</sup>
$c$	Coesão do solo	N/m <sup>2</sup>
$c_s$	Coesão do solo	N/m <sup>2</sup>
$l$	Comprimento da encosta	m
$b$	Comprimento de contorno	m
$K_s$	Condutividade hidráulica saturada	m/d
$\theta$	Declividade da encosta	°
$\rho_w$	Densidade da água	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Densidade do solo úmido	kg/m <sup>3</sup>
$p$	Espessura do solo	m
$FS$	Fator de segurança	-
$i$	Gradiente hidráulico	m/m
$IA$	Índice de acerto	%
$IE$	Índice de erro	%
$SI$	Índice de estabilidade	-
$W$	Peso do solo	N
$u$	Porosidade	N/m <sup>2</sup>
$z$	Profundidade vertical do solo	m
$Q_e$	Quantidade de entrada d'água	m <sup>3</sup> /d
$Q_s$	Quantidade de saída d'água	m <sup>3</sup> /d
$q$	Taxa de recarga uniforme	mm/d
$\tau$	Tensão cisalhante	N/m <sup>2</sup>
$\sigma$	Tensão normal	N/m <sup>2</sup>
$T$	Transmissividade do solo	m <sup>2</sup> /d
$w$	Umidade do solo	m/m

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
3.1 Mapeamento Geotécnico .....	16
3.2 Teoria Geral do SHALSTAB .....	19
3.2.1 Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita.....	19
3.2.2 Modelo Hidrológico de Estado Uniforme .....	23
3.2.3 Combinação dos Modelos .....	25
3.2.4 Classificações de Estabilidade .....	26
3.3 Aplicação do Modelo SHALSTAB .....	27
3.4 Aplicação do Modelo SHALSTAB no Brasil.....	29
3.4.1 Distribuição Temporal e Espacial dos Trabalhos no Brasil .....	29
3.4.2 Avaliação do Tipo de Metodologia Adotada .....	32
<b>4. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>42</b>
4.1 Localização .....	42
4.2 Histórico de Escorregamentos na Área de Estudo.....	43
4.3 Geologia.....	44
4.4 Pedologia .....	47
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>
5.1 Materiais .....	49
5.1.1 Parâmetros Topográficos.....	49
5.1.2 Dados Pedológicos .....	50
5.2 Métodos .....	51
5.2.1 Mapas Base .....	51
5.2.2 Modelagem com SHASTAB.....	59
5.2.3 Verificação do desempenho do SHALSTAB.....	61
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>65</b>

<b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>95</b>
Apêndice 1 – Valores dos Parâmetros dos Cenário Propostos .....	95
Cenário 1.....	95
Cenário 2.....	95
Cenário 3.....	95
Cenário 4.....	95
Cenário 5.....	96
Cenário 6.....	96
Cenário 7.....	96
Cenário 8.....	96
Cenário 9.....	96
Cenário 10.....	96
Cenário 11.....	96
Cenário 12.....	97
Cenário 13.....	99
Cenário 14.....	100
Apêndice 2 – Resultados dos desempenhos do SHALSTAB de acordo com índices propostos por Sorbino <i>et al.</i> (2010) e limiar de instabilidade $\log q/T = -2,5$ .....	101
Apêndice 3 – Resultados dos desempenhos do SHALSTAB de acordo com índices propostos por Sorbino <i>et al.</i> (2010) e limiar de instabilidade $\log q/T = -2,8$ .....	108
Apêndice 4 – Resultados dos desempenhos do SHALSTAB de acordo com índices propostos por Sorbino <i>et al.</i> (2010) e limiar de instabilidade $\log q/T = -3,1$ .....	115

## 1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais no Brasil têm afetado de forma acentuada muitas vidas humanas devido à falta de planejamento preventivo na organização espacial constituída pela sociedade. Isso porque a ocorrência dos fenômenos que causam tais desastres não está relacionada somente com as características ambientais propícias, mas também com a inter-relação entre a sociedade e a natureza.

Segundo IBGE (2014), aproximadamente 50% dos municípios sofreram com pelo menos um fenômeno natural entre o período de 2008 a 2013, durante o qual 895 municípios foram atingidos pelos escorregamentos. Este número foi superado apenas pelas inundações bruscas (enxurradas) e inundações graduais que atingiram 1574 e 1543 municípios, respectivamente. Portanto, pode-se dizer que os escorregamentos estão entre os fenômenos que causam os maiores desastres naturais no Brasil. Essa mesma pesquisa constata que o estado brasileiro com maior número de ocorrência de escorregamentos registrados é Minas Gerais, com 225 municípios. Por conseguinte, outros estados também apresentaram destaque, sendo eles: São Paulo com 121 municípios; Santa Catarina com 118 municípios; Rio de Janeiro com 70 municípios; e Espírito Santo com 48 municípios.

Diante da frequência de eventos de escorregamentos, observa-se que atualmente diversas ferramentas como mapeamento de áreas de risco, planos de contingência e evacuação emergencial entre outras, podem subsidiar ações de controle e gestão visando à redução dos desastres naturais e os danos que estes podem causar à sociedade. Nesse sentido, cabe mencionar as modelagens computacionais aliadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) que vêm contribuindo na predição de escorregamentos, visto que permitem, por exemplo, a produção de mapas de áreas susceptíveis a ocorrência do fenômeno.

Nesse contexto, percebe-se a importância dessas ferramentas, já que a partir das mesmas, medidas estruturais e não estruturais podem ser adequadamente realizadas. Dentre os diversos modelos computacionais de escorregamentos utilizados no Brasil, o *Shallow Landsliding Stability Model* (SHALSTAB) proposto por Montgomery e Dietrich (1994) vem sendo amplamente adotado no mapeamento de escorregamentos em função de diversas vantagens. As principais são: o modelo disponível gratuitamente

na internet; plataforma amigável com usuário; pequena quantidade de dados requeridos pelo modelo; e rápido processamento. Tais vantagens contribuem para a utilização generalizada do modelo, porém às vezes de maneira indiscriminada, ou seja, desconsiderando as limitações e alguns aspectos que influenciam diretamente no grau de confiabilidade do mesmo. Ocasionalmente, conseqüentemente, mapas preditivos com valores não fidedignos que podem levar o usuário a conclusões errôneas. Em vista disso, o conhecimento das potencialidades e limitações das ferramentas, por parte de técnicos e gestores públicos, é imprescindível na assertividade da tomada de decisão.

À vista desses aspectos, além do conhecimento da origem metodológica dos dados de entrada, verifica-se a importância da calibração e validação do mesmo, assegurando dessa forma a eficiência e a fidedignidade dos resultados do modelo com a realidade de campo. No que tange aos dados de entrada do modelo, a busca inerente ao método de obtenção adotado, evidentemente, procura atingir ao máximo a veracidade local. No caso do modelo SHALSTAB, os dados de entrada são parâmetros topográficos e físicos do solo. No Brasil importante avanço científico ocorreu em função da modificação do algoritmo do SHALSTAB dada por Michel *et al.* (2012b) com a inserção de novas variáveis além da discretização dos parâmetros físicos do solo. Embora este fato seja considerado um marco na qualidade dos mapas gerados no Brasil, observa-se uma lacuna na bibliografia no que se refere a influência dos processos inerentes à caracterização das unidades geotécnicas dada pelas propriedades dos solos. À Vista disso pouco se sabe sobre a repercussão nos resultados gerados pelo SHALSTAB, quanto à espacialidade e a quantidade de dados amostrais de solo que caracterizam as unidades geotécnicas.

Desse modo, o presente estudo objetivou verificar o efeito da caracterização das unidades geotécnicas no cálculo de estabilidade de encostas. Para isso foram propostos diferentes cenários com propósito de representar distintos contextos de distribuição e quantificação de pontos de amostragens de solo.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Verificar o efeito da caracterização das unidades geotécnicas no cálculo de estabilidade de encostas, a partir do modelo SHALSTAB, na bacia do arroio Jaguar, nos municípios de Alto Feliz e São Vendelino – RS.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Revisar os diferentes métodos adotados na aplicação do modelo SHALSTAB no Brasil;
- ✓ Verificar o efeito das características das unidades geotécnicas no cálculo de estabilidade de encostas na bacia do arroio Jaguar.
- ✓ Analisar o desempenho do modelo SHALSTAB sob diferentes limiares de instabilidade.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Mapeamento Geotécnico

O mapeamento geotécnico é amplamente utilizado como subsídio no planejamento e gestão espacial. Desta forma, contribuem para diversas finalidades, abrangendo desde obras de engenharia e gestão ambiental até análises de locais perigosos, entre outras. De acordo com Caballero (1973), há registros de adoção de técnicas de mapeamento geotécnico, como apoio ao planejamento do solo, datando desde 1902 em Nova Iorque (EUA). Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), a cidade de Langen (Alemanha) foi pioneira no registro de documentos gráficos em 1913, que representaram as cartas geotécnicas. Esse histórico demonstra que utilização do mapeamento geotécnico não é atual, e sua importância refletiu, desde então, no desenvolvimento de diversos métodos voltados para distintas finalidades.

Dentre diversas metodologias existentes na literatura, a *International Association of Engineering Geology* (IEAG) (1976) é amplamente conhecida, e entendem que o mapeamento geotécnico, quando associado à aplicabilidade da Engenharia Civil e Minas, apresenta elementos geológicos importantes ao planejamento de solo, projetos, construções e manutenções. Esta metodologia possui um aspecto de multifinalidade ao planejamento urbano e regional. Higashi (2006) aponta que esta metodologia tem o intuito de adequação à maioria dos países, inclusive no que se refere à compatibilização para produção do mapeamento geotécnico, que sugere estar de acordo com a realidade socioeconômica e técnica. Ademais, há outras metodologias internacionalmente conhecidas, as quais apresentam muitas vezes finalidades e empregos diferentes, embora exista forte tendência à utilização ao planejamento urbano e regional. Isso é visível na Tabela 1 que apresenta as principais metodologias no âmbito internacional.

**Tabela 1** – Principais métodos internacionais de mapeamento geotécnico

<b>METODOLOGIA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FINALIDADE</b>	<b>UTILIZAÇÃO</b>
IAEG (Internacional)	<1: 100.000 >1:10.000	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
Francesa	Regional Local <1:100.000 >1:2.000	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
PUCE (Austrália)	Qualquer <1:2.500.000 >1:2.500	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Britânica (inglesa)	>1:10.000 <1:2.500	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional
Russa	<1:100.000.000	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Hinojosa e Leon	<1:1.000.000 >500.000	Específica	Planejamento e projeto de estradas
ZERMOS	>1:50.000	Específica	Movimento de massa (planejamento)
Espanhola	>1:200.000 <1:2.000	Específica Regional	Planejamento regional e territorial
USA (Kiefer)	Regional e local	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Canadá	Regional e local	Específica Multifinalidade	Planejamento urbano e regional

Fonte: Kopezinski, 2000.

No contexto nacional há registros de adoção de mapeamento geotécnico datado de 1907, voltado a obras de engenharia (HIGASHI, 2002). Desde então, várias metodologias tem sido desenvolvidas e aprimoradas por diversas instituições como: IPT ((Instituto de Pesquisas Tecnológicas), UNESP (Universidade Estadual Paulista)/ Rio Claro, USP (Universidade de São Paulo)/ EESC (Escola de Engenharia de São Carlos), UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Dentre estas instituições, as duas últimas apresentam significativa adoção pelos trabalhos em âmbito nacional.

A metodologia desenvolvida na USP/ EESC é ancorada no trabalho de Zuquette (1987) que aborda o mapeamento geotécnico como uma ferramenta de suporte ao planejamento relacionado às modificações associadas ao meio físico inerente às atividades antrópicas. Desta maneira, a metodologia de Zuquette (1987) visa a identificação de unidades homogêneas por intermédio da caracterização de elementos do meio físico relevante a finalidade do trabalho, sendo eles: materiais quanto ao tipo e

espessura (inconsolidado ou rochoso); profundidade do lençol freático; declividade; permeabilidade e drenagem, áreas de inundação; e forma e comprimento das encostas. Posteriormente à identificação das unidades com características geotécnicas equivalentes, é realizado o vínculo aos materiais inconsolidados e à litologia existente. Assim, por intermédio de ferramentas de SIG são produzidos mapas de *landforms* (feições de relevo) e das informações geotécnicas características, os quais viabilizam o entendimento do comportamento geotécnico com propósito de planejamento urbano.

Zuquette (1987) atenta para etapas que direcionam para elaboração das unidades geotécnicas, sendo elas: compilação e análise de informações pré-existentes, reconhecimento dos atributos e identificação das unidades homogêneas. Além disso, é sugerido que mapas produzidos apresentem escalas entre 1:50.000 e 1:10.000, constituindo três maneiras de representação, conforme está sintetizado na Tabela 2 :

**Tabela 2** - Características dos mapas resultantes segundo metodologia Zuquette (1987)

<b>MAPA</b>	<b>REPRESENTAÇÃO DO MEIO FÍSICO</b>	<b>FINALIDADE</b>
Geotécnico Geral	Sem zoneamento de áreas similares	Sem finalidade específica
Zoneamento Geotécnico Geral	Com zoneamento de áreas similares	Sem finalidade específica
Zoneamento Geotécnico específico ou carta de aptidão específica	Com zoneamento de áreas similares	Com finalidade específica

A metodologia desenvolvida pela UFRGS/ Grupo de Geotecnia, conhecida como Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, foi proposta por Davison (1995). Esta metodologia compreende a integração dos mapas geológicos e pedológicos para definição de unidades geotécnicas, capazes de pressupor o comportamento geomecânico similar apresentado pelos solos. Estas unidades geotécnicas são caracterizadas e identificadas a partir das simbologias “XYZxyz” embasadas nas classificações pedológicas e geológicas. Assim, considerando aspectos do perfil dominante dos horizontes A e B, é classificada a primeira parte que constitui a representação simbólica, formada por letras Maiúsculas “XYZ”. Já a segunda parte integrante desta simbologia é representada por letras minúsculas xyz e caracterizam os horizontes C, RA e R

construídos pelo substrato geológico, cabendo observar que é considerada a rocha dominante na formação. No entanto, caso não haja litologia dominante, todas as mesmas são indicadas e separadas por vírgulas.

Ainda é válido mencionar conforme observa Mafra (2007), muitos trabalhos que adotam a metodologia de Davison (1995) também integram outros fatores como uso do solo, hidrologia entre outros. Isso aliado a expedições de campo, análises de ensaios geotécnicos consistem em base para um mapeamento geotécnico. A Figura 1 representa a metodologia proposta por Davison (1995).



**FIGURA 1** – Esquema baseado na metodologia de Davison (1995)

Esta metodologia é amplamente utilizada no Brasil e foi adotada para esta pesquisa.

### **3.2 Teoria Geral do SHALSTAB**

O modelo SHALSTAB é um método determinístico, direcionado a identificação de locais com predisposição a escorregamentos translacionais. Esse modelo resultou da combinação do modelo de estabilidade de encosta, pelo método de talude infinito, e um modelo hidrológico (VIEIRA e MARTINS, 2016). Desse modo, o modelo determina as áreas suscetíveis a escorregamentos, a partir da relação entre a razão da quantidade da chuva e a transmissividade suficiente para provocar a instabilização de uma encosta.

#### **3.2.1 Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita**

O estudo de estabilidade de encostas considera, fundamentalmente, a relação de equilíbrio existente entre campos de forças provindas do peso dos materiais, efeito da

água e as relacionadas à resistência de ruptura. Dessa forma, a análise de equilíbrio-limite admite que as forças que tendem a induzir a ruptura ou o movimento de materiais em encostas são equalizadas pelas forças resistentes (FIORI e CARMIGNANI, 2015). Diante disso, a relação existente entre as forças de resistência e as que favorecem a ocorrência do deslocamento do material, em uma encosta, é calculada pelo fator de segurança ( $FS$ ) (SELBY, 1993).

Para análise de escorregamento translacional com o  $FS$ , é comumente utilizado o modelo de estabilidade de encosta infinita. Esse modelo é adequado para situações onde o comprimento da encosta é muito superior à profundidade do solo. Isso se deve em função do tipo de análise, realizada em relação a um plano infinito de solo sobre um plano inclinado que desconsidera os efeitos provindos do atrito nas laterais e nas extremidades. Portanto, segundo Guimarães *et al.* (2003), o escorregamento translacional com contato abrupto solo-rocha, apresenta características de fenômenos envolvidos que justificam a teoria de encosta infinita.

O modelo de estabilidade de encosta infinita fundamenta-se na lei de Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (1)$$

onde  $\tau$  é a tensão cisalhante no momento da ruptura;  $c$  é a coesão do solo;  $\sigma$  é a tensão normal; e  $\phi$  é o ângulo de atrito interno do solo. Essa lei vincula  $\phi$  e a  $c$  à resistência de cisalhamento do solo, ou seja, relacionado à tensão de um solo para um nível de deformação que permita caracterizar a condição de ruptura. Porquanto, o atrito interno do solo, representa o atrito físico e atrito fictício proveniente do entrosamento de suas partículas. Já a coesão do solo, é o efeito das forças eletroquímicas de atração entre suas partículas.

Terzaghy (1943) considerou a influência da pressão-poro da água ( $u$ ) à redução da resistência ao cisalhamento, o que modificou a Equação (1) obtendo-se:

$$\tau = c + (\sigma - u) \cdot \tan \phi \quad (2)$$

Na análise de encosta infinita, o peso do solo ( $W$ ) pode ser obtido com base na profundidade vertical do solo ( $Z$ ) (Figura 2). Em função da dificuldade de se obter a

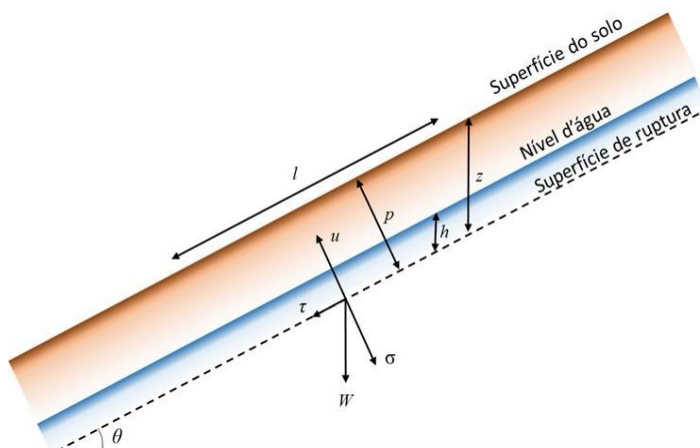
espessura vertical do solo perpendicularmente, de forma a manter a proporcionalidade, a profundidade vertical do solo pode ser expressa como:

$$z = \frac{p}{\cos \theta} \quad (3)$$

onde  $p$  é a espessura do solo [m]; e  $\theta$  [graus] é a declividade da encosta. Neste caso, o valor de  $W$  é calculado como:

$$W = l \cdot p \cdot \rho_s \cdot g \quad (4)$$

onde  $l$  é o comprimento da encosta [m];  $\rho_s$  é a densidade do solo úmido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]; e  $g$  é a aceleração gravitacional [ $\text{m}/\text{s}^2$ ].



**Figura 2** - Representação do modelo de estabilidade de encosta infinita. (Fonte: SELBY, 1993)

Partindo do princípio que tensões são expressas em forças por unidade de área, decompõem-se os vetores do peso, que se subentende uma análise bidimensional de talude infinito. Assim, considerando uma largura unitária (análise bidimensional) abrangendo toda extensão da encosta, as componentes pesos, paralela e perpendicular à encosta representam  $\tau$  e  $\sigma$ , respectivamente:

$$\tau = \frac{W \cdot \sin \theta}{l} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{W \cdot \cos \theta}{l} \quad (6)$$

Substituindo as Equações (3) e (4) nas Equações (5) e (6) obtém-se.

$$\tau = \frac{l \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \rho_s \cdot g \cdot \sin \theta}{l} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{l \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \rho_s \cdot g \cdot \cos \theta}{l} \quad (8)$$

Simplificando-as, obtém-se:

$$\tau = z \cdot \rho_s \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (9)$$

$$\sigma = z \cdot \rho_s \cdot g \cdot \cos^2 \theta \quad (10)$$

Fiori e Carmignani (2015) explicaram que  $u$  é a componente força que atua no sentido oposto à tensão normal, sendo resultante da pressão que a água dentro dos poros do solo está exposta. Então,  $u$  está vinculada ao peso da coluna d'água presente no solo e é expressa:

$$u = h \cdot \rho_w \cdot g \cdot \cos^2 \theta \quad (11)$$

onde  $h$  é a altura vertical da coluna d'água dentro da coluna de solo [m]; e  $\rho_w$  é a densidade da água [kg/m<sup>3</sup>].

Selby (1993) substituiu as Equações (9), (10) e (11) na Equação (2) aplicando a modelos de estabilidade de vertente infinita:

$$\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = c_r + c_s + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2 \theta) \cdot \tan \phi \quad (12)$$

onde  $c_r$  é a coesão das raízes [N/m<sup>2</sup>]; e  $c_s$  é a coesão do solo [N/m<sup>2</sup>].

Nesse contexto, por intermédio da Equação (12) que representa as forças de estabilidade (lado direito da equação) e as forças instabilidade (lado esquerdo da equação), pode-se calcular o fator de segurança ( $FS$ ):

$$FS = \frac{c_r + c_s + [\rho_s \cdot g \cdot z - \rho_w \cdot g \cdot h] \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}{\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad (13)$$



Assim, onde as forças que promovem a estabilidade forem exatamente iguais as forças que levam a instabilidade, o  $FS$  é igual a 1. Já quando  $FS < 1$ , a encosta está predisposta à falha; e onde  $FS > 1$ , a encosta tende a estabilidade. Não se pode designar um valor que representa a estabilidade absoluta, apenas por um aumento da probabilidade de estabilidade com o aumento do valor de  $FS$  (SELBY, 1993).

### 3.2.2 Modelo Hidrológico de Estado Uniforme

Os modelos hidrológicos TOPMODEL (Beven e Kirkby, 1979) e TOPOG (O’loughlin, 1986) apresentam proposições que embasam o modelo hidrológico de estado uniforme. O mesmo simula a variação padrão do comportamento espacial de umidade do solo (altura da coluna d’água do solo), considerando estado de recarga uniforme, em um período chuvoso que, evidentemente, não está em estado uniforme.

Na Figura 3 que apresenta o estado uniforme, a área de contribuição à montante é representada por  $a$ , o comprimento de contorno do limite inferior de cada elemento representado por  $b$  e a taxa de recarga uniforme representada por  $q$ . Por fim,  $h$  e  $z$  representam a coluna d’água a partir das espessuras do fluxo subsuperficial e da massa do solo, respectivamente.

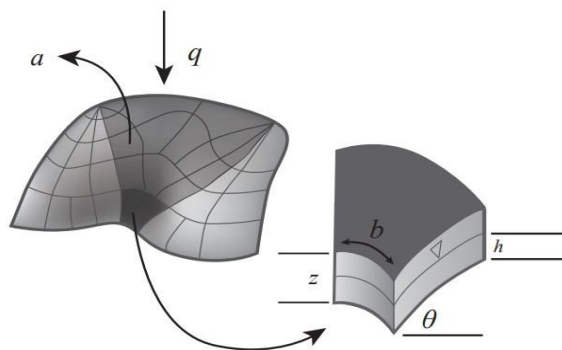


Figura 3 - Elementos usados pelo modelo hidrológico. (Adaptado de Montgomery e Dietrich, 1994).

Nesse âmbito, a quantidade de água que entra ( $Q_e$ ) [ $m^3/d$ ] na área de contribuição é:

$$Q_e = q \cdot a \quad (14)$$

Já no que tange a quantidade de água de saída ( $Q_s$ ) [ $m^3/d$ ] pela camada saturada, o modelo considera que o escoamento subsuperficial seja expresso pelo produto da velocidade de fluxo pela área de saída. Assim sendo, com base na lei de Darcy, a velocidade de fluxo pode ser calculada pelo produto entre a condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) [ $m/d$ ] e o gradiente hidráulico ( $i$ ) [ $m/m$ ] é:

$$Q_s = K_s \cdot i \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b \quad (15)$$

Diante disso, cabe mencionar que o modelo pressupõe  $K_s$  constante para toda a camada de solo acima da rocha (BEVEN e KIRKBY, 1979). O valor de  $i$  é representado pelo quociente entre a carga hidráulica (diferença altimétrica entre o ponto inicial e final do escoamento) e o comprimento da encosta a ser percorrido em meio poroso. Dessa forma, assumindo-se que  $i = \sin \theta$ , obtém-se:

$$Q_s = K_s \cdot \sin \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b \quad (16)$$

Em vista desta circunstância, existem duas condições do comportamento da água no sistema que compete atender. A primeira é quando há a equalização entre a quantidade de água que entra e sai do sistema, repercutindo em uma condição uniforme, representada assim, pela Equação (14) igual à Equação (16).

$$q \cdot a = K_s \sin \theta \cdot h \cos \theta \cdot b \quad (17)$$

Já a segunda condição é quando o solo está inteiramente saturado. Logo a quantidade de água que sai pela camada do solo se torna máxima, obtém-se:

$$Q_{s_{\max}} = K_s \cdot \sin \theta \cdot z \cdot \cos \theta \cdot b \quad (18)$$

Aqui, nota-se que a transmissividade ( $T$ ) [ $m^2/d$ ] é o produto entre a  $K_s$  [ $m/d$ ] e a espessura do solo:

$$T = K_s \cdot z \cdot \cos \theta \quad (19)$$

Substituindo a Equação (18) na (19), obtém-se:

$$Q_{s_{\max}} = b \cdot T \cdot \sin \theta \quad (20)$$

De acordo com O'Loughlin (1986), definiu um índice de umidade (*wetness*) representada por  $w$  [m/m] na condição de saturação total do solo. Portanto, nessa condição de saturação do solo, tem-se a quantidade de água que entra, em determinado estado uniforme, sobre a quantidade máxima de saída pela camada de solo:

$$w = \frac{Qe}{Qs_{\max}} \frac{q \cdot a}{b \cdot T \sin \theta} \quad (21)$$

Substituindo as Equações (17) e (18) na (21), obtém-se:

$$w = \frac{K_s \sin \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b}{b \cdot K_s \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta} = \frac{h}{z} \quad (22)$$

Assim, juntando as Equações (21) e (22), pode-se reescrever:

$$w = \frac{q \cdot a}{b \cdot T \sin \theta} = \frac{h}{z} \quad (23)$$

### 3.2.3 Combinação dos Modelos

A combinação do modelo de encosta infinita e do modelo hidrológico de estado uniforme é gerada a partir do rearranjo da Equação (13) em função de  $h/z$  com consideração de  $c = c_s + c_r$ :

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \tan \phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (24)$$

Assim sendo, pode-se estimar a proporção saturada, necessária para instabilidade, da espessura do solo e classificar de acordo com as 7 classes de instabilidade proposta pelo modelo SHALSTAB. Analisando a relação entre  $h/z$  igualada à zero (ausência de coluna d'água do solo), tem-se que a elevada declividade da encosta se sobressai aos parâmetros de resistência do solo:

$$\tan \theta \geq \tan \phi + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (25)$$

Nessa condição, é estabelecida a classe incondicionalmente instável, geralmente identificada pelas áreas de difícil acumulação dos solos em função da declividade.

No entanto, tem-se a situação em que  $h/z$  representa a saturação total do solo, no contexto em que parâmetros de resistência serão sempre maiores ou igual à declividade. Essa situação representa a determinação da classe incondicionalmente estável:

$$\tan \theta \leq \tan \phi \cdot \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (26)$$

Ela pode ser comumente identificada pelas áreas de baixa declividade que não apresentam condições para escorregamento, embora esteja sobre intensas cargas hidráulicas (Montgomery e Dietrich 1994).

As demais cinco classes estão diretamente relacionadas com a quantidade de água, classificadas conforme a razão do parâmetro  $q/T$ . Para isto realiza-se a combinação entre os dois modelos expressos pelas as Equações (23) e (24):

$$\frac{q \cdot a}{T \cdot b \cdot \sin \theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \tan \phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (27)$$

Por fim a partir da resolução da Equação (27) pode-se obter a formulação final do SHALSTAB, escrita em função das variáveis  $q$  e  $T$  (variáveis hidrológicas):

$$\frac{q}{T} = \frac{b}{a} \cdot \sin \theta \cdot \left\{ \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \tan \phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \right\} \quad (28)$$

Em síntese, os parâmetros necessários para aplicação do modelo são seis, sendo que  $\theta$  e  $a$  são provindo do modelo digital do terreno (MDT);  $\phi$ ,  $c$ , e  $\rho_s$  podem ser obtidos pela amostragem do solo em campo e  $z$  pode ser observado em campo.

### 3.2.4 Classificações de Estabilidade

A partir da razão entre  $q$  e  $T$  é calculado o grau de instabilidade para cada célula da área de estudo. Em função dessa razão apresentar valores muito pequenos, os resultados do modelo se dão em escala logarítmica (MONTGOMARY e DIETRICH, 1998). A Tabela 3 apresenta as sete classificações.

**Tabela 3-** Classes de acordo com o modelo SHALSTAB

ID	Classes
1	Incondicionalmente instável
2	$\log q/T < -3,1$
3	$-3,1 < \log q/T < -2,8$
4	$-2,8 < \log q/T < -2,5$
5	$-2,5 < \log q/T < -2,2$
6	$\log q/T > -2,2$
7	Incondicionalmente estável

Fonte: Dietrich e Montgomery, 1998.

Michel *et al.* (2015a) no intuito de facilitar a compreensão dos processos relacionados ao desencadeamento dos escorregamentos propuseram uma reclassificação das sete classes para quatro classes, sendo elas: incondicionalmente instável, incondicionalmente estável, instável e estável. As duas primeiras classes estão vinculadas com as condições enquadradas nas Equações 25 e 26, respectivamente. Já as classes instável e estável, derivadas do agrupamento das cinco classes intermediárias, são determinadas pela resolução da Equação 28. Em vista desta reclassificação, observa-se que um único valor de  $q/T$  viabiliza a determinação do limiar de estabilidade e instabilidade.

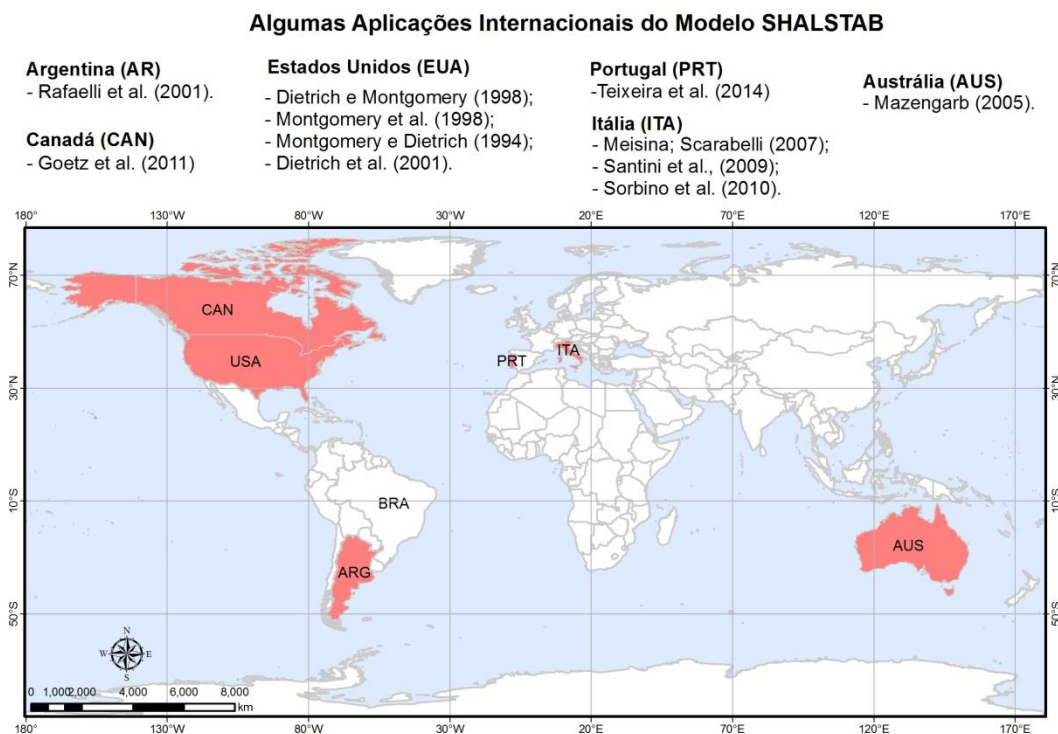
### 3.3 Aplicação do Modelo SHALSTAB

A aplicação do modelo SHALSTAB para cálculo de estabilidade de encosta teve início nos estados de Washington, Oregon e Califórnia nos Estados Unidos (EUA) pelo trabalho de Montgomery e Dietrich (1994). Nestes locais as áreas de estudos, constituídas por três bacias hidrográficas (*Tennessee Valley*, *Mettman Ridge* e *Split Creek*) já apresentavam histórico de ocorrência de escorregamentos. Os dados de entrada referente aos parâmetros físicos do solo foram estimados por intermédio de trabalhos pré-existentes que permitiram identificar as características das diferentes litologias. Já os dados topográficos foram obtidos pelo modelo digital do terreno constituído a partir das curvas de nível com equidistância de 5 m. Neste trabalho a eficiência do modelo foi verificada a partir da variação dos parâmetros físicos do solo. Assim, aliada ao inventário das cicatrizes os resultados foram aceitáveis já que coincidiram com as áreas com potencial instabilidade apontada pelo modelo.

Ainda nos EUA, em Washington, o modelo SHALSTAB foi aplicado por Montgomery *et al.* (1998) em 14 bacias hidrográficas. Os registros dos escorregamentos

chegaram ao total de 3224 digitalizados para análise em plataforma SIG. Utilizando-se desta ferramenta foi possível associar os escorregamentos aos valores críticos de precipitação. Um único conjunto de parâmetros físicos do solo foi utilizado para simular todas as bacias no intuito de analisar a influência topográfica sobre os escorregamentos. Estes parâmetros foram obtidos em medições de campo em Oregon (Montgomery *et al.*, 1997). Informações dos dados topográficos foram utilizadas a partir do modelo digital do terreno do USGS (*United States Geological Survey*) com 30 m de resolução espacial. O desempenho do modelo apresentou significativas variações. Os melhores resultados ocorreram em bacias mais declivosas. Além do mais, a significativa correlação entre os escorregamentos e aos baixos valores de precipitação crítica indicou a influência do controle topográfico na localização dos escorregamentos.

Ainda cabe mencionar outros trabalhos como: Dietrich; Montgomery (1998); Dietrich *et al.* (2001); Rafaelli *et al.* (2001); Mazengarb (2005); Meisina e Scarabelli (2007); Santini *et al.* (2009); Sorbino *et al.* (2010); Goetz *et al.* (2011); Teixeira *et al.* (2014); A Figura 4 apresenta tais trabalhos mencionados em perspectiva espacial.



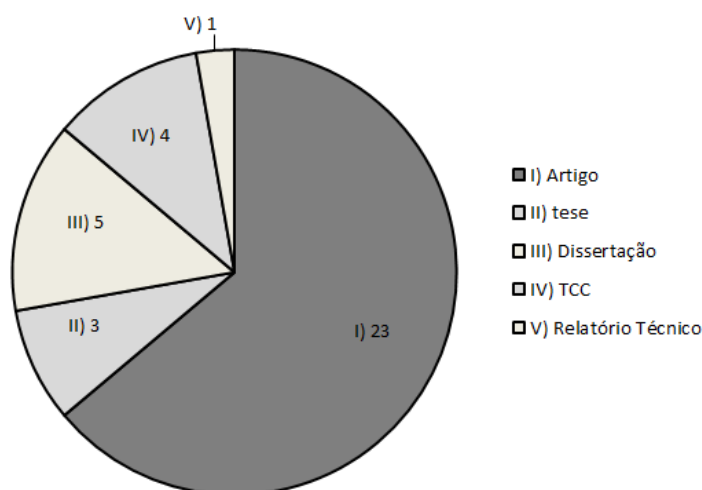
**Figura 4** – Representação de algumas aplicações internacionais do modelo SHALSTAB

Frente ao exposto, observa-se que o modelo SHALSTAB tem sido amplamente adotado em âmbito internacional apresentando bons resultados. No Brasil sua aplicação já se estende por vários estados contribuindo na previsão de áreas suscetíveis a escorregamentos, fenômeno que vem causando grandes desastres. Desta forma, o próximo subcapítulo abordará aplicabilidade do modelo no país abordando os diferentes métodos adotados.

### 3.4 Aplicação do Modelo SHALSTAB no Brasil

#### 3.4.1 Distribuição Temporal e Espacial dos Trabalhos no Brasil

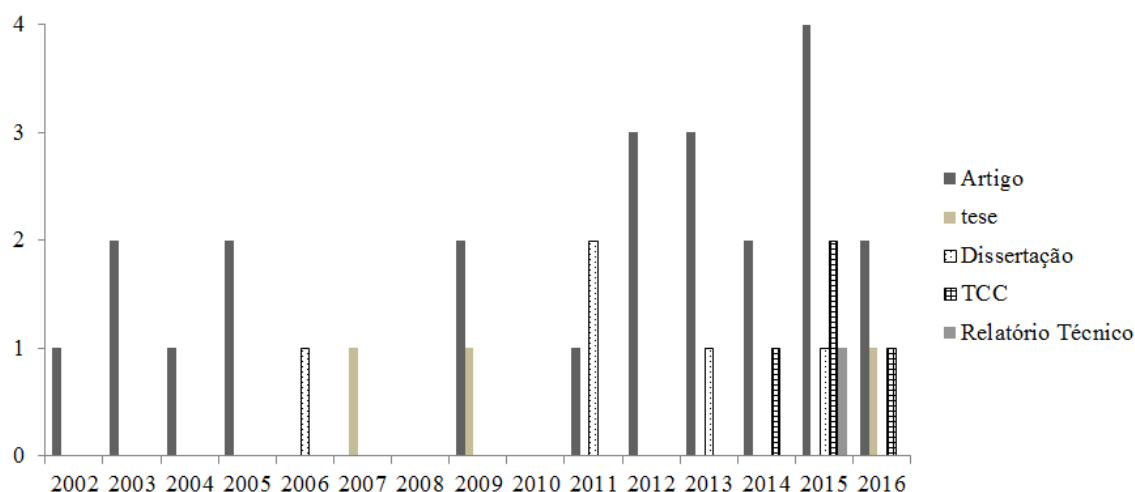
O presente capítulo se embasa em pesquisas via internet de trabalhos técnico-científicos que aplicaram o modelo SHALSTAB para mapeamentos de escorregamentos no Brasil. Foram compilados 36 trabalhos que abrangeram: artigos; teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e relatório técnico. Aqui salienta-se que alguns pesquisadores publicam seus artigos científicos com base em seus TCCs, dissertação e tese. Então, caso encontrasse um artigo científico o qual foi elaborado nesta situação, o presente trabalho adotou apenas o artigo para análise. A Figura 5 apresenta a quantidade dos trabalhos de acordo com as categorias mencionadas.



**Figura 5** - Número de publicações dos trabalhos com o modelo SHALSTAB no Brasil no período de 2002-2016.

No Brasil o modelo SHALSTAB surgiu no final do século XX. A aplicabilidade do modelo teve impulso com a tese de doutorado de Guimarães (2000). Antes disso, diversos trabalhos foram apresentados em forma de artigos em congressos (Guimarães *et al.*, 1999a e 1999b; Vieira *et al.*, 1999). Embora o trabalho mencionado marque

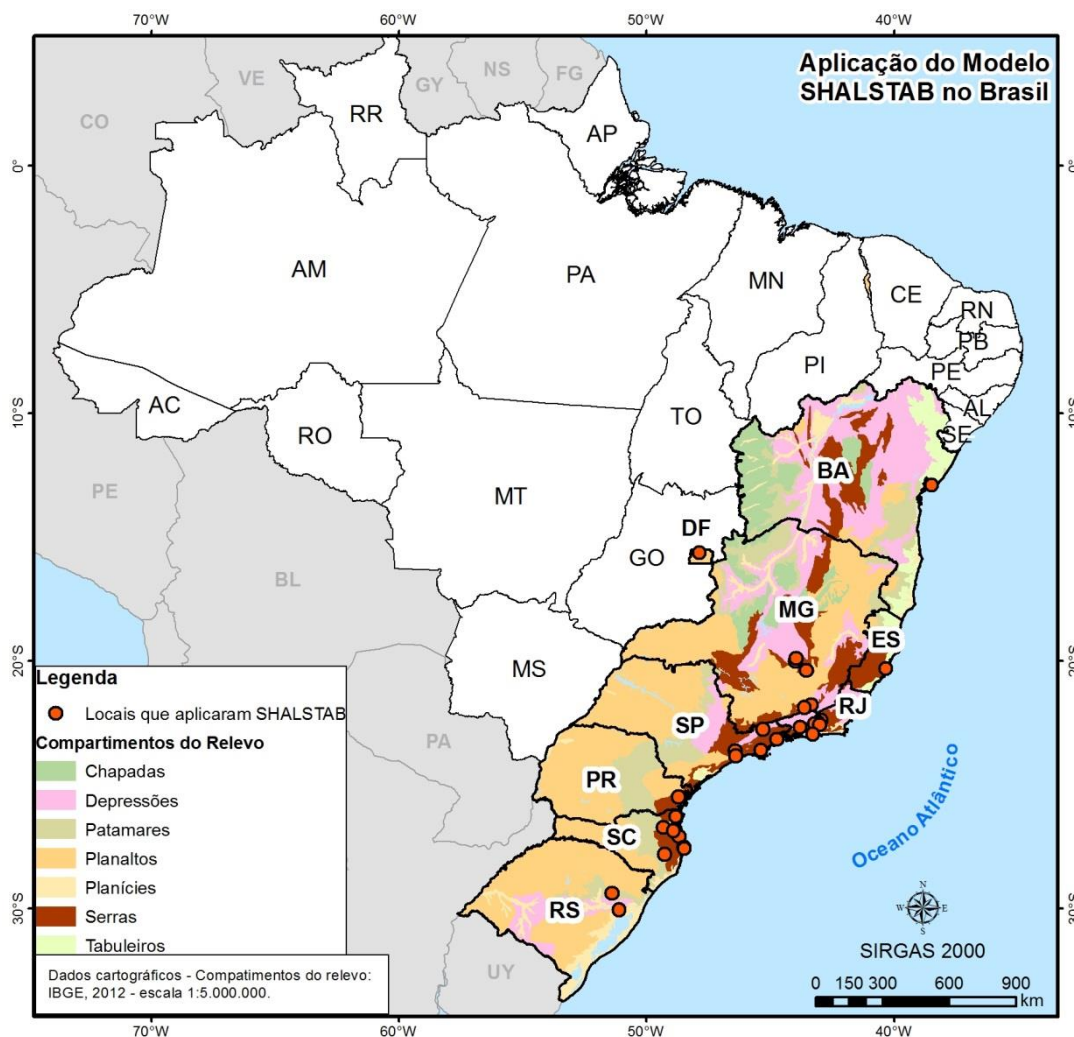
historicamente o pioneirismo do SHALSTAB no país, a Figura 6 apresenta em perspectiva temporal, as publicações aqui analisadas. Neste panorama, observou-se que dentre o período observado (2002 a 2016), a produção científica teve maior frequência no ano de 2015, com destaque na produção de artigos. Ainda que já se conjecturasse os artigos como a categoria de maior frequência, em função das demais categorias, exceto relatório técnico, subsidiarem em grande parte a produção dos mesmos.



**Figura 6** – Produções científicas analisadas no Brasil no período de 2002 – 2016.

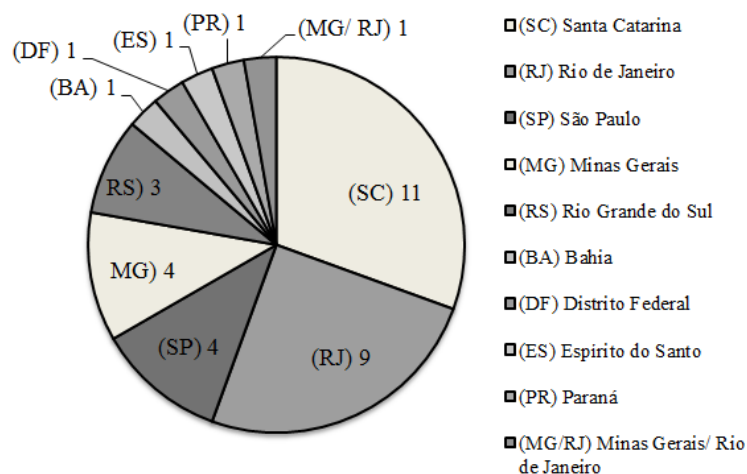
Na Figura 7 que apresenta a distribuição espacial dos trabalhos que aplicaram o modelo SHALSTAB no Brasil, observa-se que a maioria das áreas de estudos está localizada em relevo de serra, ou seja, áreas com declividade acentuada. Sendo assim, conjectura-se que a forte declividade aliada ao clima tropical (característico por altos índices pluviométricos) são condições favoráveis para desencadear escorregamentos de encosta. Destas áreas de estudos, 9.795 km<sup>2</sup> foram mapeados com aplicação do modelo. No entanto, deste total não estão contemplados, a bacia do córrego Independência (ZAIDAN e FERNANDES, 2009), da estrada Rio-Teresópolis (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2005) e da estrada BR 356 em Ouro Preto – MG (REDIVO *et al.* 2004), devido à ausência de informação da área total.





**Figura 7** - Distribuição espacial dos trabalhos com o modelo SHALSTAB no Brasil

Com base na informação dos locais da Figura 8, compreendem-se os trabalhos em termo de estados no país. A maior frequência de trabalhos publicados contemplam áreas de estudos nos estados de SC, RJ e SP. Os demais estados não ultrapassaram mais de 3 publicações. Além disto, observou-se que os estados do RJ, SC e RS apresentaram maior densidade espacial, visto que alguns trabalhos abrangeram a mesma área de estudo, sendo elas: bacia do rio Quitite e Papagaio (GUIMARÃES *et al.*, 2003; GOMES *et al.*, 2005a e 2013b), bacia do rio Cunha (MICHEL *et al.*, 2012a e 2012b; e REGINATO, 2012); e bacia do rio Forromeco (SCHENKEL *et al.* 2015 e RIFFEL *et al.*, 2016), respectivamente.



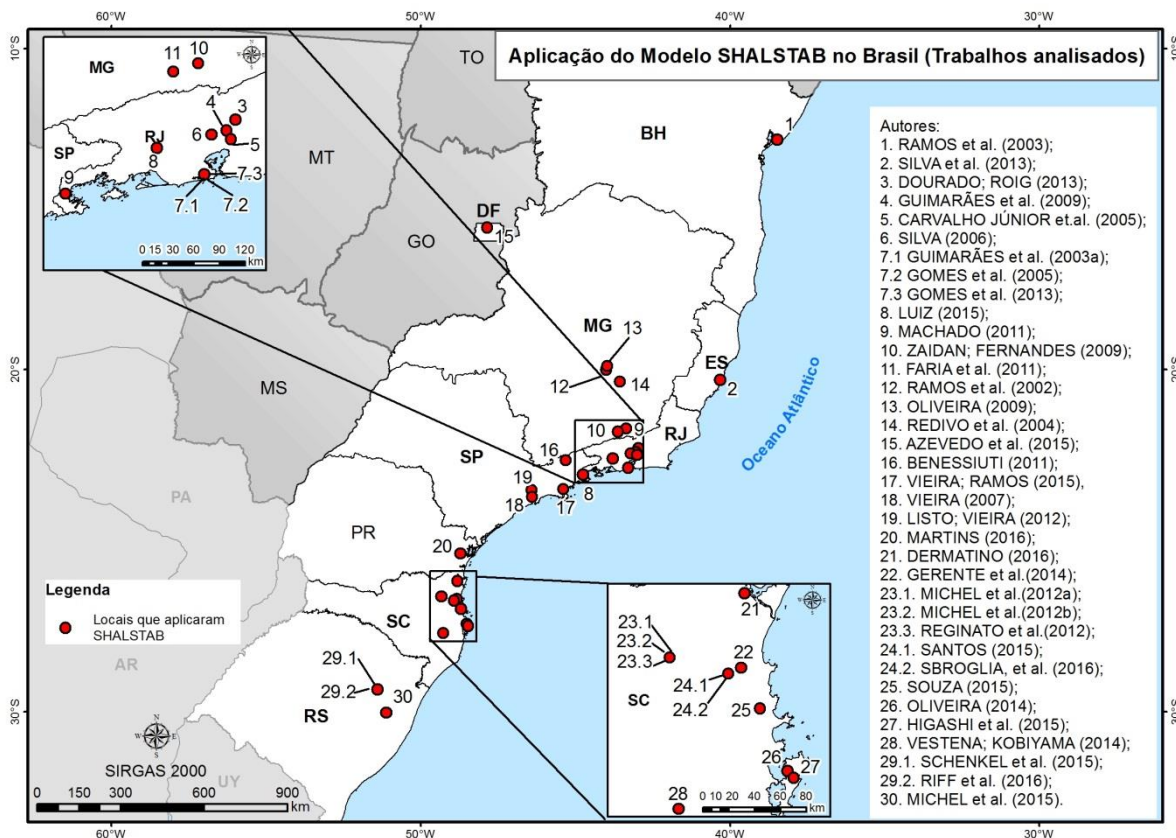
**Figura 8** - Número de trabalhos por estado que aplicaram o modelo SHALSTAB

### 3.4.2 Avaliação do Tipo de Metodologia Adotada

Os escorregamentos são fenômenos complexos, desencadeados por uma ampla gama de fatores, sendo, portanto, passíveis de análise sob distintos enfoques. Assim, vê-se na bibliografia, um mesmo autor com publicações diversas para uma mesma área de estudo. Apesar de o critério de pesquisa adotado no presente trabalho abordar a relação de autor por área de estudo, não serão aqui quantificadas as publicações por autor, mas sim, elucidadas as diferentes metodologias de aplicação do modelo SHALSTAB.

Em contrapartida, salvo alguns casos, será quantificada mais de uma publicação na relação apresentada, sendo eles: a) Quando em distintas publicações são adotados diferentes métodos para obtenção dos parâmetros de entrada do modelo; b) Incremento de novos parâmetros; e c) modificação do algoritmo original do SHALSTAB.

Sendo assim, a Figura 9 apresenta a distribuição espacial das áreas de estudos das publicações, associadas aos respectivos autores, dos quais foram possíveis de serem analisados. Ressalta-se que alguns locais estão vinculados com mais de uma publicação, neste caso as numerações são identificadas em subníveis.



**Figura 9** - Distribuição espacial dos trabalhos analisados em detalhe.

### 3.4.2.1 Parâmetros Físicos do Solo

O modelo SHALSTAB necessita, fundamentalmente, de quatro parâmetros de entrada:  $\phi$ ,  $c$ ,  $\rho_s$ , e  $z$ . Embora, exista a opção na plataforma do modelo que desconsidere  $c$  (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998), muitos trabalhos já demonstraram a significativa influência deste parâmetro nos resultados. Realizando a análise de sensibilidade do modelo de estabilidade de encosta, Hammond *et al.* (1992), Borga *et al.* (2002) e Michel *et al.* (2013) demonstraram a forte sensibilidade do mesmo ao valor de  $c$ . Ramos *et al.* (2003) demonstraram que ao considerar a coesão do solo, classes de estabilidade aumentaram, visto ser um parâmetro relacionado à resistência do solo. Portanto, com base nos trabalhos analisados, 75% levaram em conta o parâmetro de coesão do solo, enquanto 25% não adotaram. Na Figura 10 é notável tal discrepância dos trabalhos frente adoção do parâmetro  $c$ .

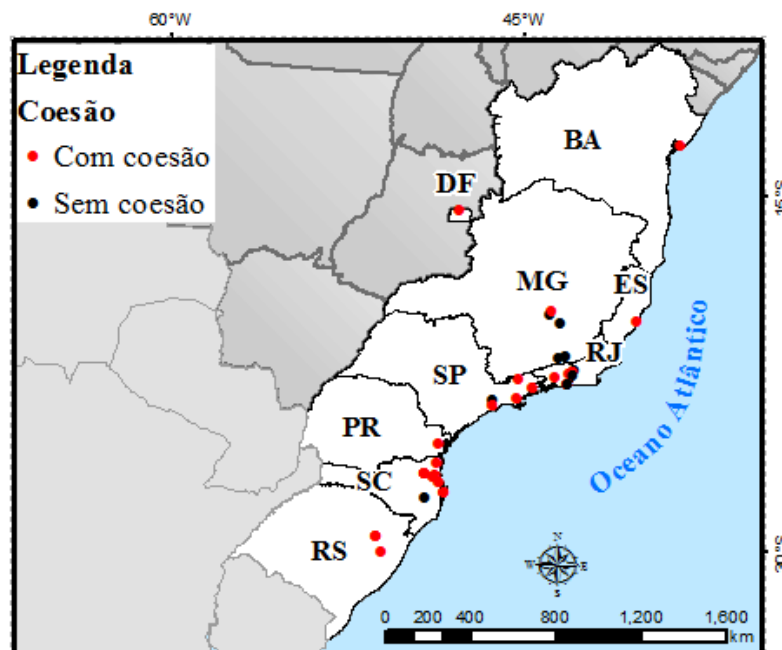
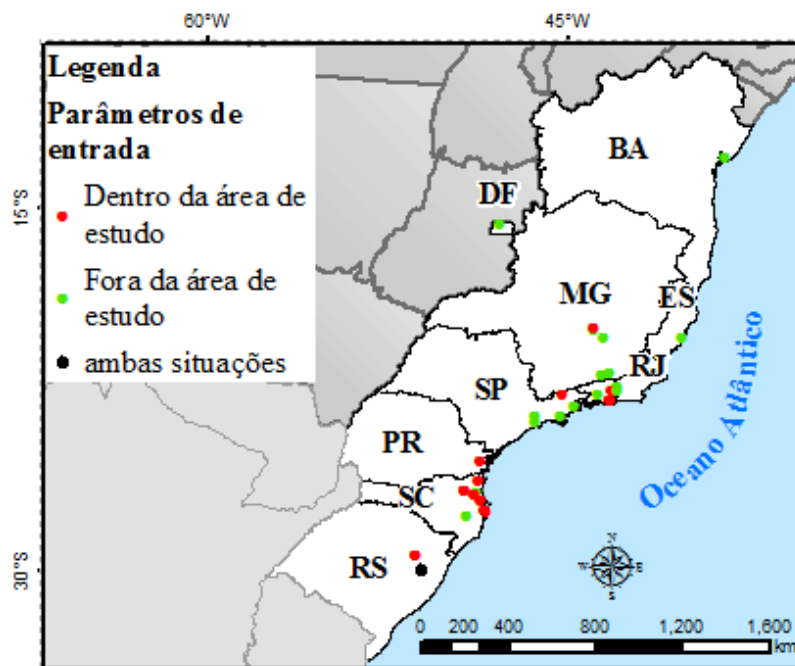


Figura 10 – Representação dos trabalhos quanto adoção do parâmetro c.

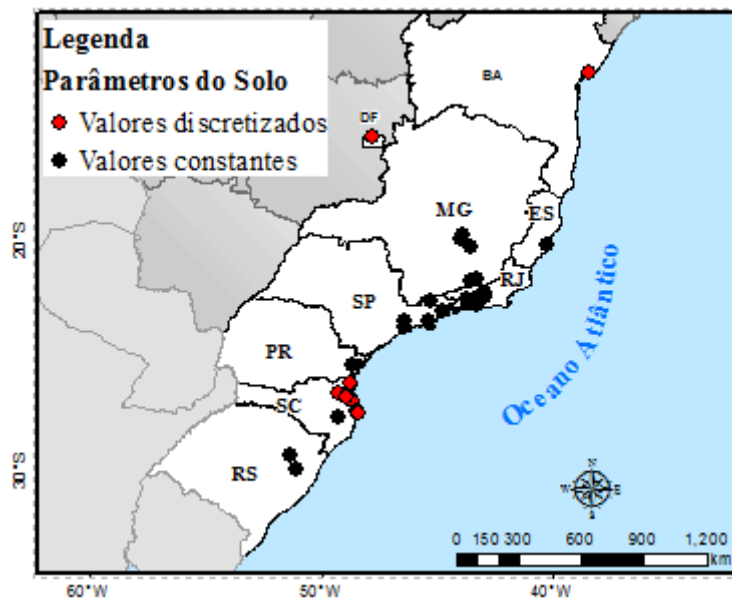
Além disto, observou-se que as informações dos parâmetros de entrada do modelo SHALSTAB são providas, frequentemente, de três maneiras, sendo elas: valores propostos pelo default do software, considerando  $\phi$  igual  $45^\circ$  e  $\rho_s$  igual  $1,6 \text{ g/cm}^3$  (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998); e/ou valores providos de medições realizadas na própria área de estudo; e/ou valores de referência, proveniente de medições de campo realizados em outra área de estudo. Desta forma, 47% dos trabalhos analisados adotaram valores de referência de outras áreas de estudo, sendo que desta frequência, 41% adotaram os valores dos parâmetros propostos pelo software. Já os trabalhos que utilizaram valores dos parâmetros correspondentes da própria área de estudo corresponderam 50%. Por fim, os 3% restantes representado pelo trabalho de Michel *et al.* (2015b) adotaram, concomitantemente, as duas das opções mencionadas (parâmetros da área de estudo e de referência). A Figura 11 apresenta a espacialização dos trabalhos analisados quanto a origem dos parâmetros de entrada.



**Figura 11** – Representação dos trabalhos quanto origem dos parâmetros de entrada

Neste contexto cabe mencionar que os valores dos parâmetros de solo na rotina original do SHALTAB não são discretizados, ou seja, o modelo original admite valores constantes para toda área. Assim sendo, ao considerar os referidos aspectos originais do modelo, muitos trabalhos no Brasil, no intuito de melhorar a metodologia, utilizaram técnicas que possibilitaram a variação dos parâmetros do solo conforme cada classe mapeada. Tais considerações apontam para os trabalhos de Ramos *et al.* (2003), Michel *et al.* (2012b), Azevedo *et al.* (2015); Santos (2015); Sbroglia *et al.* (2016); Souza (2015); Higashi *et al.* (2015); e Dermatino (2016). Na Figura 12 estão representados tais trabalhos com pontos vermelhos. É notável a predominância dos trabalhos com adoção de valores constantes para os parâmetros físicos do solo.

Outro aspecto, não menos relevante no aprimoramento do algoritmo do modelo, é na consideração da influência da vegetação na estabilidade das encostas, proposto pelo trabalho de Michel *et al.* (2012b).



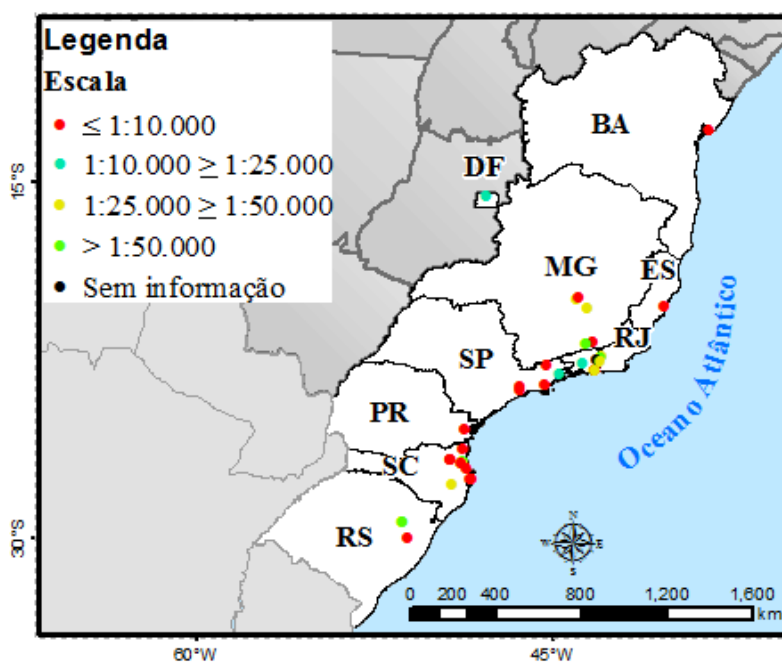
**Figura 12** – Representação dos trabalhos quanto à discretização dos parâmetros do solo.

### 3.4.2.2 Parâmetros Topográficos

As variáveis topográficas  $a$ ,  $b$  e  $\theta$ , são obtidas do MDT. Para tanto a obtenção do MDT de qualidade torna-se importante, pois a capacidade de gerar um modelo que represente da forma mais fidedigna possível o relevo, permite a indicação de onde haverá maior concentração de água repercutindo dessa maneira na maior predisposição de falha (MICHEL *et al.*, 2010). Neste sentido, Gomes *et al.* (2005) observaram, ao comparar distintas escalas na produção do MDT, a extrema importância da adoção da maior escala (1:10.000) com resolução espacial 2 m no aumento do desempenho em áreas críticas. Ainda comentaram que desta forma há um avanço que vai além da análise exploratória do fenômeno de escorregamento, concluindo que a utilização da escala menor (1:50.000) e resolução espacial de 10 m é apropriada para análises preliminares do fenômeno. Zhang e Montgomery (1994) verificaram a influência do tamanho do *grid* na representação das zonas de saturação. Observaram que o tamanho de 10 m do *grid* apresenta melhoria significativa quando comparados com 30 m e 90 m. No entanto, não houve melhoria expressiva em comparação aos tamanhos de *grid* de 2 m e 4 m.

No Brasil, dentre os trabalhos aqui analisados, observa-se que 56% dos trabalhos, adotaram escala maior ou igual a 1:10.000, enquanto 8% utilizaram escalas menores que 1:10.000 variando até 1:25.000. Já as demais escalas, menores que 1:25.000,

contemplaram 33% dos trabalhos. Tais frequências são representadas espacialmente na Figura 13. Dentre as frequências supramencionadas, não foi incluído o trabalho de Silva (2006), dado que neste não consta a informação da escala adotada. Ainda que a maioria dos trabalhos tenham demonstrado qualidade na precisão do MDT, é notável a frequência, significativa, da dificuldade de muitos estados brasileiros obterem dados de relevo em grande escala.



**Figura 13** – Representação dos trabalhos quanto à escala.

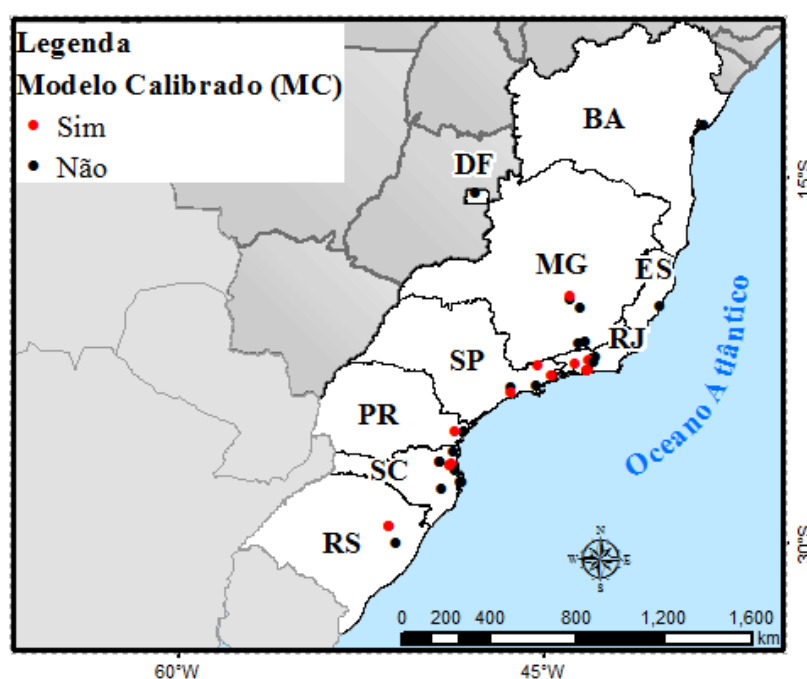
### 3.4.2.3 Calibração e Inventário de Cicatrizes

Além dos processos supracitados, há a etapa de calibração do modelo, que comumente embasado no inventário de cicatrizes, viabiliza informar o nível de proximidade à veracidade do fenômeno envolvido na área de estudo. Visto que cada região possui particularidades geotécnicas, pluviométricas e geomorfológicas que interagem de diferentes maneiras. Este processo é necessário, principalmente, quando não há quantidade suficiente de obtenção direta de amostras para definição dos valores numéricos adotados aos parâmetros, situação comum na maioria dos trabalhos. No caso do modelo SHALSTAB, Dietrich *et al.* (1998) realizaram a calibração por intermédio da correlação das áreas de cicatrizes de escorregamentos e classes de instabilidade.



Atentaram para a situação da relação de maior classe de instabilidade contemplada em menor área possível dentro da cicatriz, ser um desempenho aceitável do modelo. Isso devido à variação dos parâmetros não abrangerem grandes proporções de áreas instáveis que não retratam a realidade. No trabalho dos autores supramencionados, na costa da Califórnia nos EUA, o limiar de instabilidade  $\log -3,1$ , foi adotado com o melhor desempenho. Com este limiar, o modelo classificou 8% da área total como instável, captando 56% dos escorregamentos.

No Brasil, dos trabalhos analisados, 47% realizaram calibração, enquanto 53% não calibraram. Na Figura 14 observa-se que as áreas de estudo dos trabalhos que realizaram calibração estão contempladas nos estados de MG, RJ, SP, PR, SC e RS.

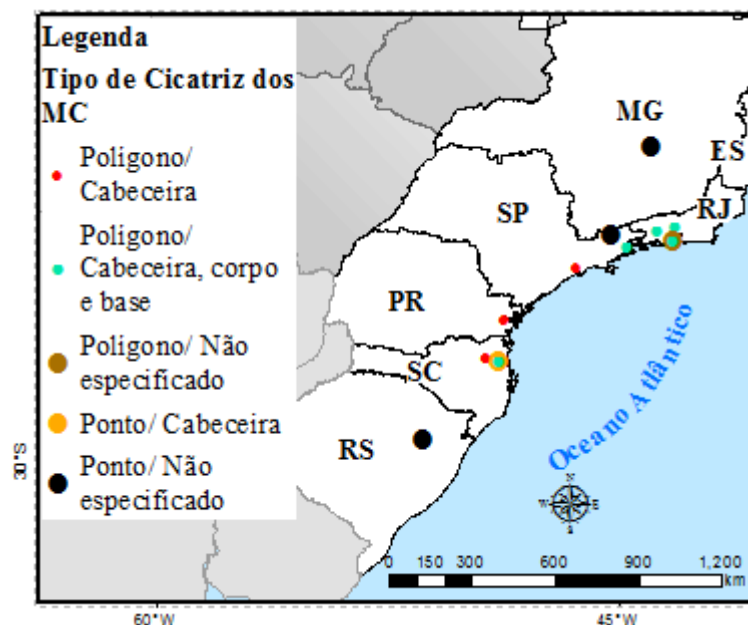


**Figura 14** – Representação dos Trabalhos quanto ao processo de calibração

Dos trabalhos calibrados, apoiados em inventário de cicatrizes cartografadas, 76% adotaram geometria poligonal para representação das cicatrizes, dos quais realizaram análises quantitativas. No entanto, 24% adotaram representação geométrica pontual, baseando-se em análises qualitativas (identificação visual). Levando em conta que o modelo SHALSTAB permite identificar áreas com potencial início de escorregamento (ruptura), considerou-se válido analisar o critério utilizado, nos trabalhos que realizaram calibração, para delimitar e identificar as cicatrizes de



escorregamento. Assim, observou-se: 41% contemplaram somente a zona de ruptura; 35% consideram zona de ruptura, transporte e deposição; 24% dos trabalhos não foram identificados com clareza o critério de delimitação. Tais critérios de representação das cicatrizes de escorregamentos são apresentados na Figura 15.



**Figura 15** – Trabalhos calibrados quanto ao critério de delimitação e identificação das cicatrizes de escorregamentos

Nesta conjuntura de análise, foram observados ainda, diferentes ferramentas de avaliação utilizadas para calibração. Esta etapa é realizada pelo ajuste do parâmetro livre  $q/T$  de forma que haja verificação de coincidência espacial das cicatrizes e classes de instabilidade geradas pelo modelo. Neste sentido, para compor esta verificação, grande parte dos trabalhos no Brasil adotaram o método de variação de um ou mais parâmetros do modelo, geralmente optado por aquele com maior possibilidade de erro. Além deste, 12% dos trabalhos adotaram índice desenvolvido por GAO (1993). Outros índices utilizados foram: posicionamento global, índice de exatidão global e índice Kappa. Maiores detalhes destes índices podem ser consultados nos respectivos trabalhos que os adotaram: Reginato *et al.* (2012), Luiz (2015) e Riffel *et al.* (2016). Por último, cabe mencionar o índice de ajuste do modelo proposto por Guimarães *et al.* (2003) que combinaram com os índices de acurácia do produtor e usuário, criados por Story e Congalton (1986).

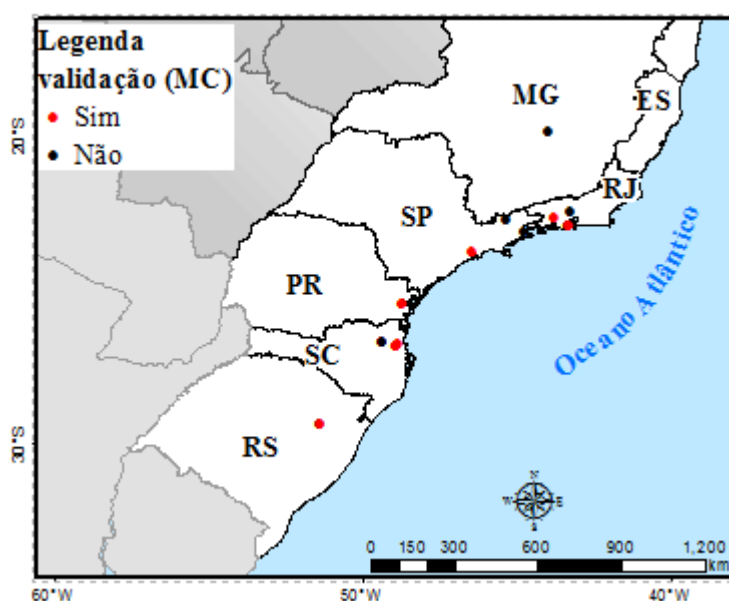
Ainda foram caracterizados os trabalhos em função da adoção do limiar de instabilidade. Logo, os trabalhos que executaram a calibração a partir do ajuste do parâmetro livre  $q/T$  foram distinguidos daqueles que realizaram a variação de um dos parâmetros de entrada do modelo. Desta maneira, observou-se que dos trabalhos calibrados, apenas Michel *et al.* (2012a) ajustou por intermédio da variação do parâmetro livre  $q/T$  a partir dos limiares logaritmos -3,4, -3,3, -3,1 e -2,8. Assim, com tais valores e conhecendo o valor de  $T$ , foram calculados os valores de  $q$  que pudessem satisfazer a relação  $q/T$ . Ademais, outro aspecto interessante dos trabalhos analisados, foram os diferentes limiares adotados para mesma área de estudo por Schenkel *et al.* (2015) e Riffel *et al.* (2016), sendo eles:  $\log q/T$  de -2,5 e  $\log q/T$  de 2, respectivamente.

#### 3.4.2.4 Validação

A validação também é um processo importante para a geração de mapas de suscetibilidade de escorregamento. É por intermédio da mesma que é possível verificar o nível de confiabilidade dos resultados apresentados pelo modelo. Beguería (2006) comenta que a validação é fundamental, pois a partir das informações que apresentem devidamente o grau de acurácia e poder preditivo do fenômeno, é possível que sejam tomadas de decisões assertivas.

A validação de modelos de susceptibilidade de escorregamentos pode ser realizada similarmente ao processo de calibração, ou seja, tomando por base as amostras do inventário de cicatrizes. Estas amostras podem ser as mesmas utilizadas para a modelagem ou outras que sejam independentes deste processo. No entanto, esta última tem maior respaldo internacional. Isso se deve em função da capacidade da predição não estar embasada ao nível de ajuste do modelo aos dados (GUZZETTI *et al.* 2006; COROMINAS e MAVROULI, 2011; PEREIRA, 2009). Isto posto, com base na separação dos eventos utilizados para modelagem e para validação, é possível adotar os seguintes métodos, conforme propostos por Chung e Fabbri (2003): temporal, espacial ou aleatório. O primeiro método propõe que seja estabelecida uma data que permita a divisão dos eventos de escorregamentos em períodos distintos, a partir de uma data limite que caracterizará eventos passados e futuros. Michel *et al.* (2015a) observa que caso sejam consideradas variáveis transientes (séries de chuva), é necessário que o inventário seja discretizado conforme a data (e horário) de ocorrência do

escorregamento, podendo assim vincular a ocorrência de um determinado grupo de escorregamentos a uma estação chuvosa específica. Ainda, convém mencionar que de acordo com Garcia (2012), o método de validação temporalmente separado seria o mais adequado para modelos direcionados à previsão de escorregamentos rasos. Isto em função de serem desencadeados, geralmente, por ocorrência de chuvas cuja distribuição, intensidade e duração, são normalmente, bastante distintos. Desta forma, atribuindo um período significativo, entre os subconjuntos de dados, é possível que processos relacionados aos eventos de escorregamentos utilizados para validação, possam diferir daqueles que são usados para calibração, evitando desta maneira a polarização de eventos isolados. O segundo método considera a divisão espacial do terreno, composto pelas cicatrizes de escorregamento, em duas partes sendo elas direcionadas para modelagem e para predição. Cabe observar que embora este método admita a aplicação do modelo para áreas lindeiras e com características geológicas similares, os resultados podem ser questionáveis em vista da variabilidade de valores dos parâmetros nesse contexto (CARRARA *et. al.*, 2008). Já o terceiro método, aplicado por Dietrich *et al.* (2001), é similar ao anterior, porém a divisão espacial do inventário de escorregamentos é aleatória, ou seja, irregular abrangendo toda a área de estudo, (CHUNG e FABBRI, 2003). Em face ao exposto, dos trabalhos calibrados, 53% verificaram a qualidade do modelo (Figura 16). Os mesmos adotaram o método de coincidência espacial contemplando as mesmas cicatrizes de escorregamentos utilizados para modelagem.



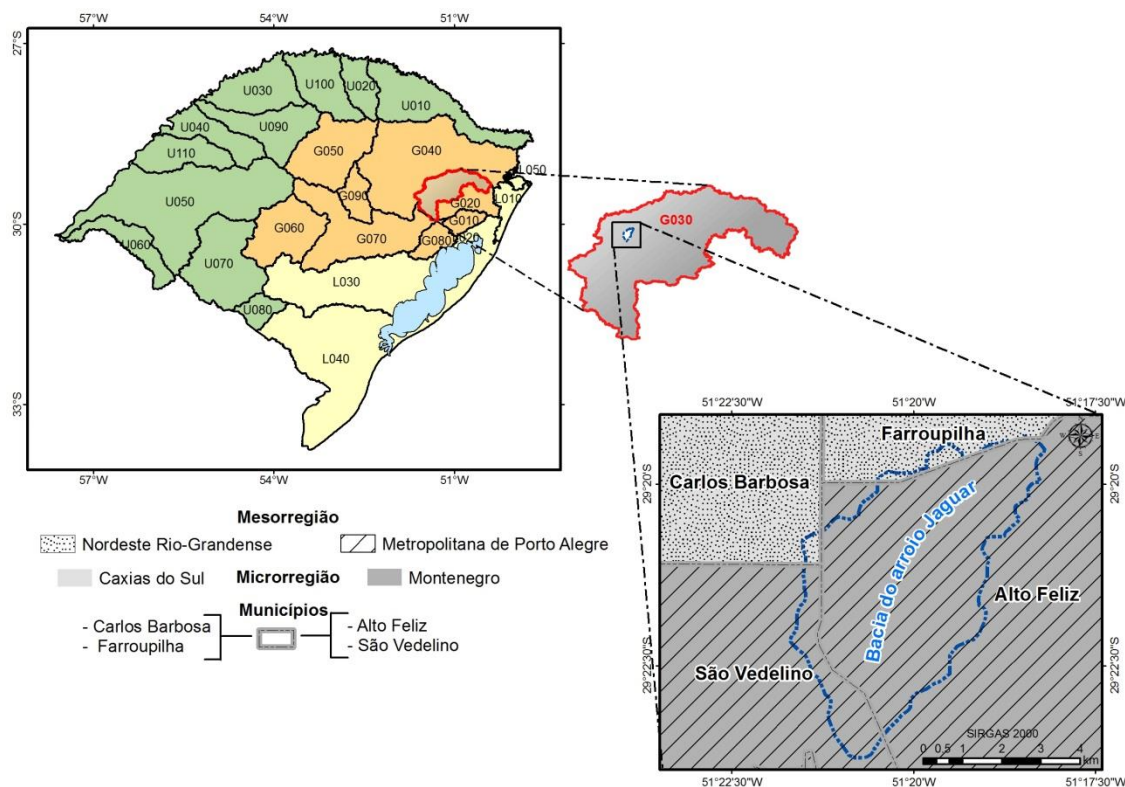
**Figura 16** – Representação dos trabalhos calibrados quanto à validação do modelo.

Diante disso, independente da escolha do método para validar o modelo, é imprescindível a determinação de uma ferramenta que possibilite avaliar a qualidade dos resultados. No Brasil, o método utilizado por Dietrich *et al.*, 2001, é amplamente adotado contemplando 44% dos trabalhos validados. Esse método relaciona as classes de estabilidade e a porcentagem cumulativa de área e escorregamento de cada classe, considerando o modelo bem sucedido quando as cicatrizes são mais comuns nas áreas menos estáveis abrangendo simultaneamente pequena porcentagem da área da bacia. Já o segundo índice mais utilizado é o proposto por GAO (1993), que compôs 22% dos trabalhos validados. Além destes, convém mencionar o índice de acerto (IA) e índice de erro (IE) proposto por Sorbino *et al.* (2010), adotado por Michel *et al.* (2012a) para validar os modelos SHALSTAB E SINMAP (Stability Index Mapping); curva de validação utilizado por Sbroglia *et al.* (2016); e índice *Kappa* e acurácia do produtor aplicado por Riffel *et al.* (2016).

## **4. ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 Localização**

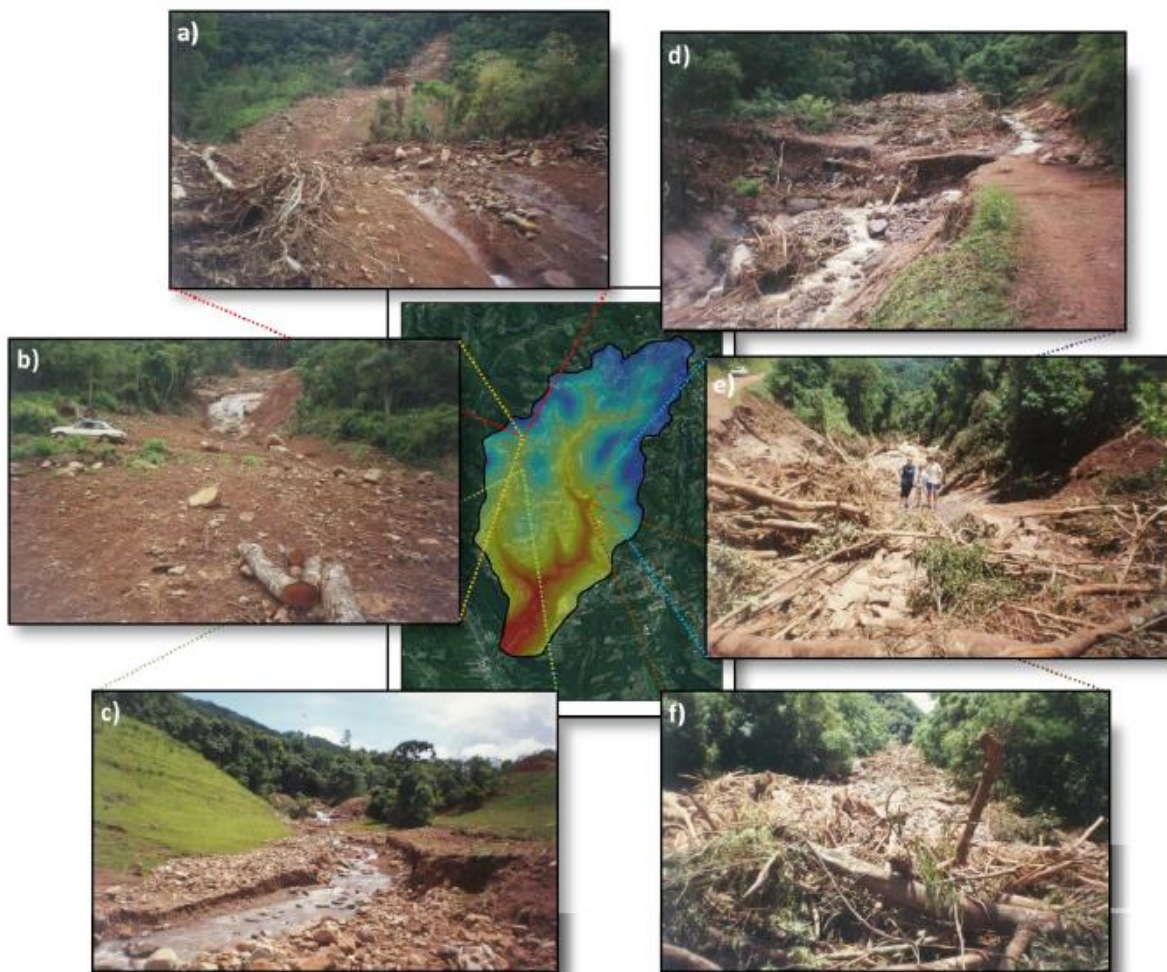
A bacia hidrográfica do arroio Jaguar (25 km<sup>2</sup>) se localiza no estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°19' e 29°23' de latitude Sul e 51°18' e 51°21' de longitude Oeste. No que tange aos políticos-administrativos, a área de estudo localiza-se predominantemente na mesorregião metropolitana de Porto Alegre, microrregião de Montenegro, municípios de Alto Feliz e São Vendelino. Pequena parcela da bacia está abrangida pela mesorregião do nordeste Rio-Grandense, microrregião de Caxias do Sul, municípios de Farroupilha e Carlos Barbosa. Afluente da bacia do arroio Forromeco, contemplada pela bacia do rio Caí, (G030), é pertencente à região hidrográfica do Guaíba no Estado (Figura 17).



**Figura 17** – Localização da bacia do arroio Jaguar

## 4.2 Histórico de Escorregamentos na Área de Estudo

A bacia do arroio Jaguar já foi palco de diversas ocorrências de desastres naturais. Segundo informações das prefeituras de Alto Feliz e São Vedelino há registros intensos eventos movimentos de massa nos anos de 1982 e 2000 (MICHEL, 2015). Mesma fonte ainda observa que estes movimentos de massa são caracterizados principalmente por escorregamentos translacionais rasos (Figura 18). Em função destas ocorrências a bacia do arroio Jaguar foi selecionada, pois a severidade destes eventos, conforme consta em Michel (2015), chegaram a causar mortes devido à passagem de fluxo de detritos devido à convergência de escorregamentos translacionais.



**Figura 18** - Imagens dos movimentos de massa ocorridos em 2000 na bacia do arroio Jaguar. (Fonte: Michel, 2015)

### 4.3 Geologia

As unidades litológicas que contemplam a região pertencem a Formação da Serra Geral. A Serra Geral é formada por derrames de basalto, basalto andesitos, riolacito e riolitos, de filiação toleítica (afinidade química) que se intercalam com arenitos intertrápicos de Formação Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência. As variações composicionais, os dados geocronológicos, as características texturais e o arranjo entre derrames e intrusivas, possibilitaram a divisão deste magmatismo da Serra Geral em diversas fácies distintas (WILDNER *et al.*, 2004). Desse modo, a fácies de Gramado (k1\_beta\_gr), contempla 67% da bacia. Está relacionada ao magnetismo máfico, correspondendo às primeiras manifestações vulcânicas sobre os sedimentos arenosos do então deserto Botucatu.

Especificamente, essas Fácies têm características relacionadas aos derrames basálticos granulares finos a médio, melanocromáticos cinzas, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estrutura de fluxo e *pahoehoe* comuns, intercalações com arenitos os arenitos Botucatu ( $132,4 \pm 1,4$  Ma datação pelo sistema isotópico). Já a fácies Caxias ((k1\_beta\_cx), que apresenta menor frequência, abrange 33% é caracterizada por derrames de composição intermediária e ácida, riolitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas freqüentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte das mineralizações da região ( $132,3 \pm 0,5$  Ma datação pelo sistema isotópico) (SILVA, 2008). A Figura 19 mostra as litologias da área de estudo. A base cartográfica pertence ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (escala: 1: 750.000).



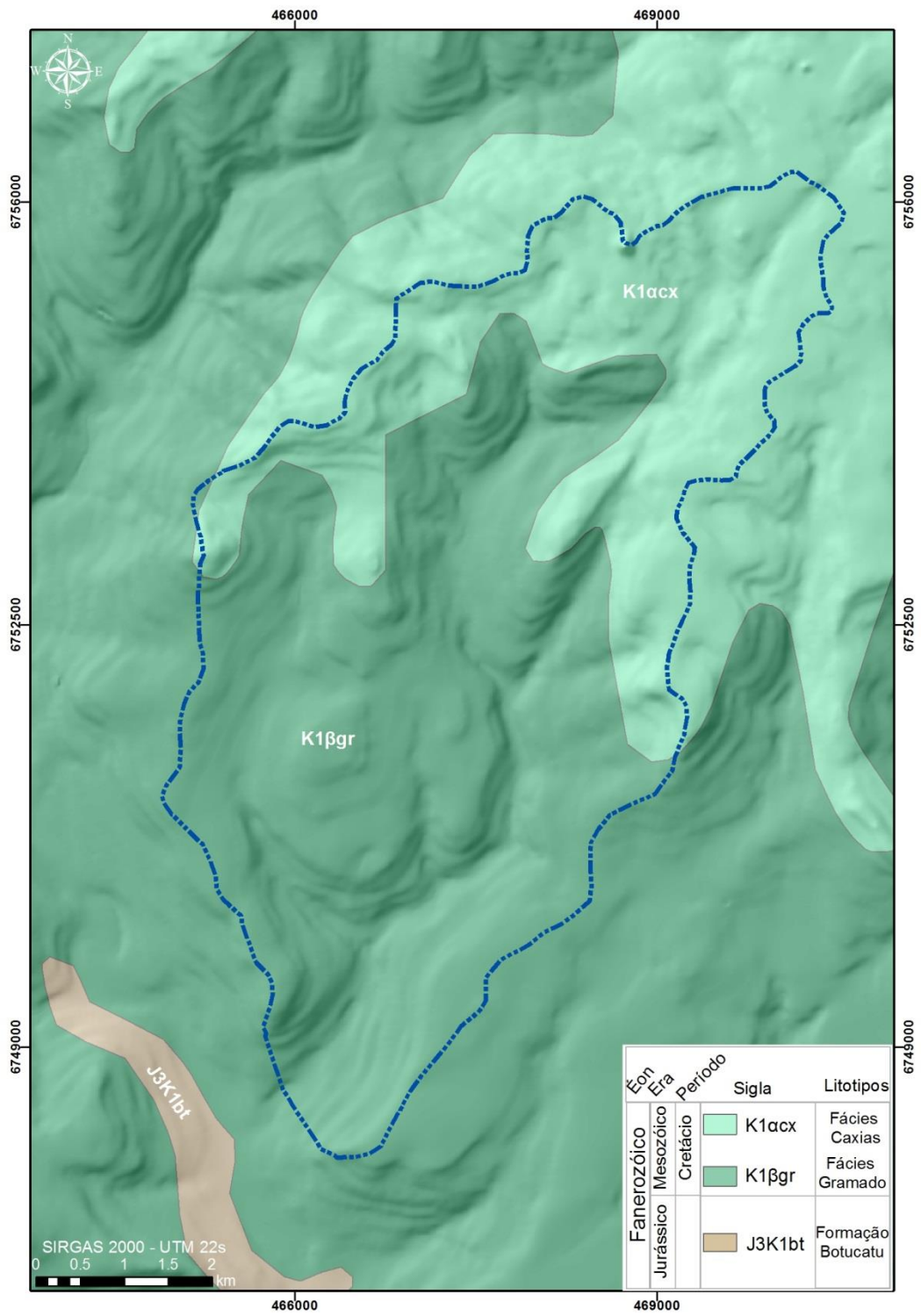
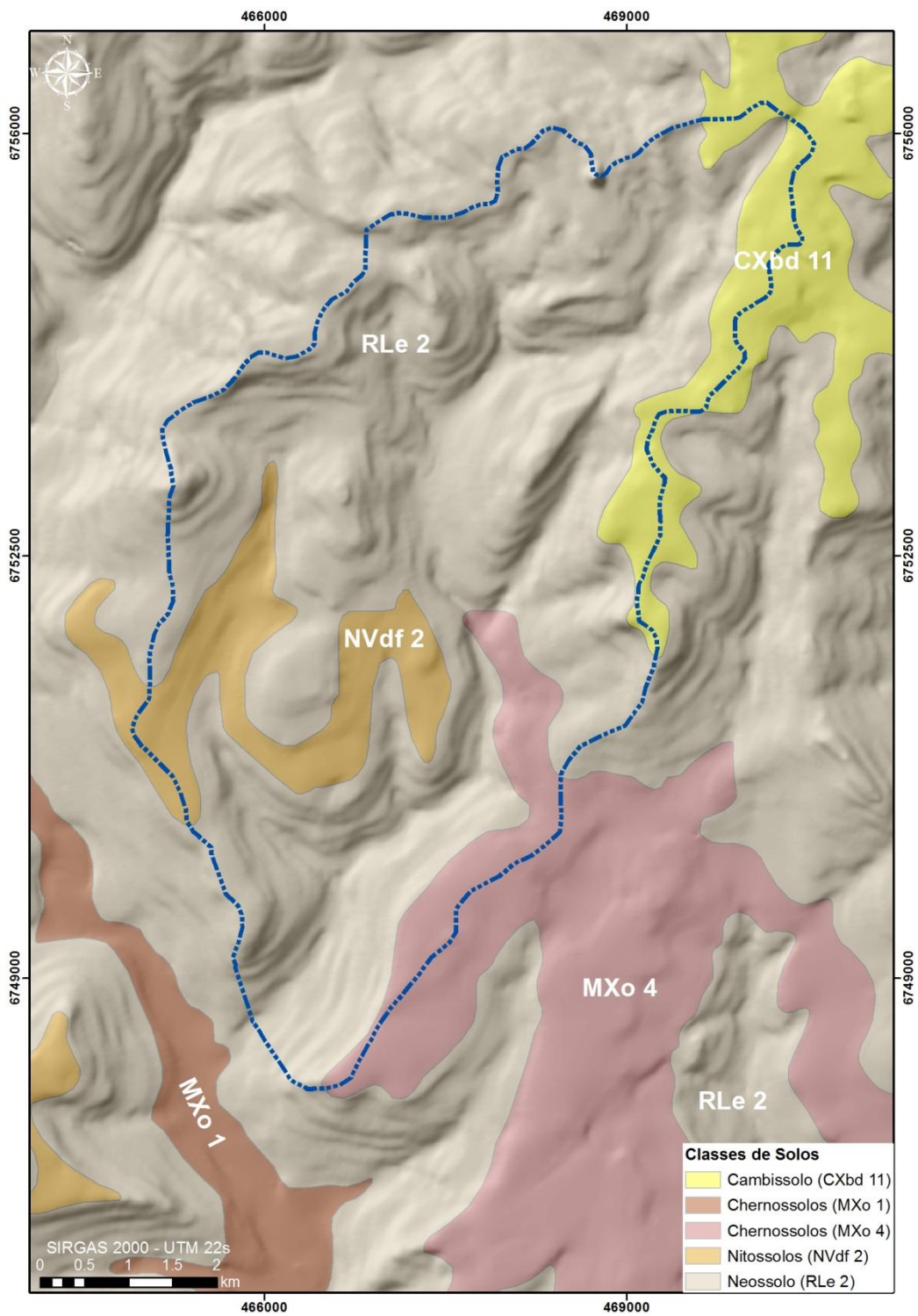


Figura 19 – Mapa Geológico



#### 4.4 Pedologia

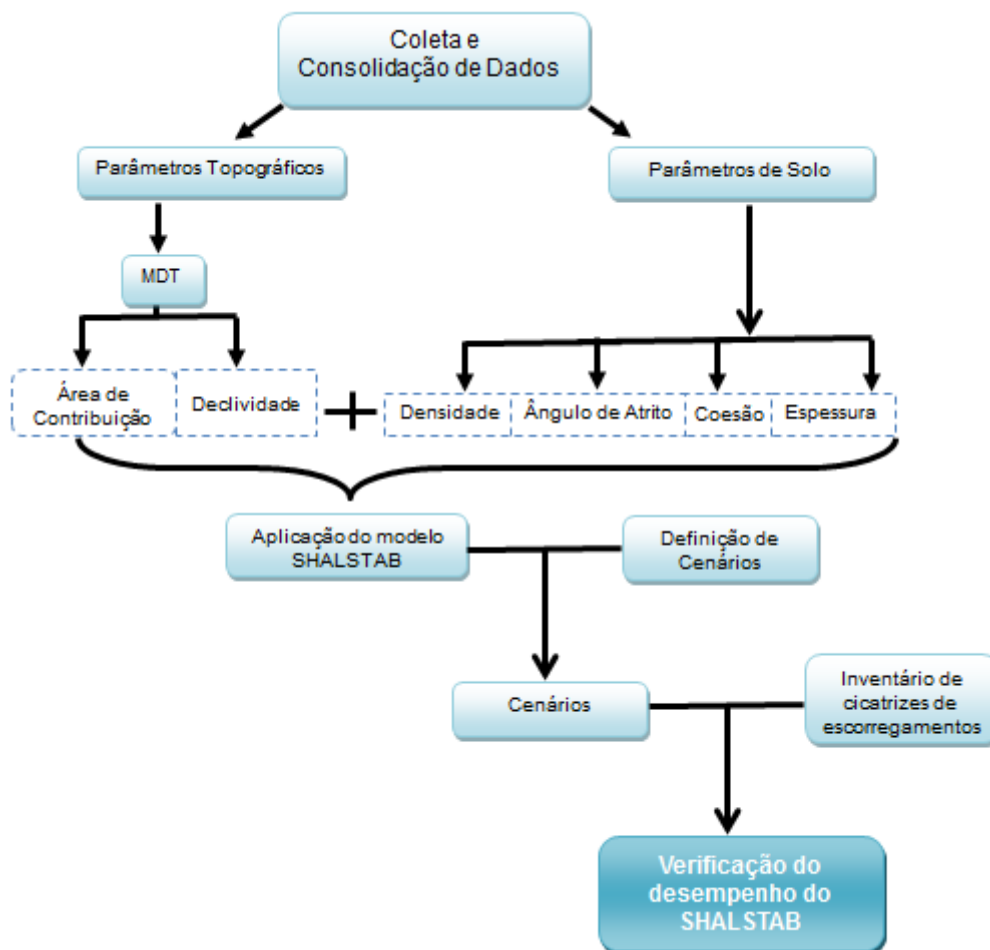
Em relação à pedologia os neossolos (RLe 2) são predominantes na bacia abrangendo aproximadamente 79% da área total. Este é um neossolo litólico eutrófico típico, de textura média, com fases pedregosas e rochosas, associado ao relevo montanhoso; combinado a um cambissolo háplico Ta eutrófico, de textura argilosa, fase pedregosa, no relevo forte ondulado a moderado. Os Nitossolos (NVdf 2) abrangem 10% da bacia, e constituem um nitossolo vermelho distroférico, com textura muito argilosa, associado ao relevo suave ondulado; combinado ao cambissolo háplico Tb distrófico, de textura argilosa, no relevo ondulado a moderado. Já os Chernossolos (MXo 4) e Cambissolo (CXbd 11) representam a mesma frequência, juntos representam 12% da área da bacia. Os primeiros são um chernossolo argilúvico férrico, de textura muito argilosa, associado ao relevo ondulado; combinado com chernossolo háplico órrico, de textura arfilosa com fases pedregosas no relevo ondulado; e ainda a uma neossolo litólico eutrófico típico chernossólico, de textura média com fase pedregosa também associado ao relevo ondulado. Por conseguinte, é caracterizado por um cambissolo háplico Tb distrófico, de textura média e fase pedregosa em relevo suave ondulado; combinado a um neossolo litólico distrófico típico de textura média em relevo ondulado a proeminente; e ainda a um argissolo acinzentado distrófico típico, textura média/argilosa associado ao relevo suave ondulado (FLORES et al. 2007). A Figura 20 mostra as classes de solos da área de estudo. Tais classes pertencem à base cartográfica da EMBRAPA (escala: 1:250.000).



**Figura 20** – Mapa Pedológico

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas das atividades realizadas no presente trabalho são apresentadas sucintamente pelo fluxograma da Figura 21.



**Figura 21** – Fluxograma da dissertação

### 5.1 Materiais

#### 5.1.1 Parâmetros Topográficos

Os dados topográficos (parâmetros geomorfológicos) foram obtidos a partir do MDT. A resolução espacial deste está associada aos resultados do modelo. Logo, a precisão dos resultados tende a diminuir à medida que a resolução diminui, promovendo suavização da topografia e subestimando valores da declividade (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998). Para o presente estudo foi adotado o MDT com resolução espacial de 2,5 m, cedidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Este MDT foi

gerado pela BRADAR por interferometria de dados de Radar de Abertura Sintética na banda P (CPRM, 2015).

### 5.1.2 Dados Pedológicos

A estabilidade das encostas sofre forte influencia as características dos solos. Isso porque ditam a resistência de cisalhamento do solo e a capacidade de transmitir a água que infiltra no solo (MICHEL *et al.*, 2012a). As características do solo adotadas para o presente estudo foram obtidas de Michel (2015). Assim foram adotados 20 pontos de amostragens, distribuídos pela bacia, que constituíram parâmetros necessários para entrada do modelo, sendo eles: coesão, ângulo de atrito interno, massa específica e profundidade média da bacia. Os parâmetros de resistência foram estimados a partir das envoltórias de cisalhamento obtidas por intermédio de ensaios em campo com aparelho *borehole shear test* (BST) desenvolvido por Handy e Fox, 1967. Assim, conforme consta em Michel (2015) a partir deste aparelho executado *in situ* as informações de resistência do solo foram obtidas de maneira fácil e rápida. Desta forma, previamente é aberto um orifício no solo até a profundidade pretendida com um trado de diâmetro um pouco maior que a cabeça de cisalhamento. Subsequentemente, a cabeça de cisalhamento é inserida no orifício e expandida, por intermédio de uma bomba manual, até que a tensão normal esperada esteja determinada. Posteriormente ao tempo devido para consolidação do solo a cabeça de cisalhamento, onde contém placas corrugadas que prendem-se ao solo, é arrancada por meio da aplicação de uma força de cisalhamento determinada por uma haste presa a ela. A partir desta haste que está aportada a uma placa base conectada a um dinamômetro é registrado a tensão cisalhante máxima. Assim, para obtenção da envoltória de cisalhamento, este processo é repetido de três a quatro vezes, com acréscimo da tensão normal. A Figura 22 representa ilustrativamente o BST.

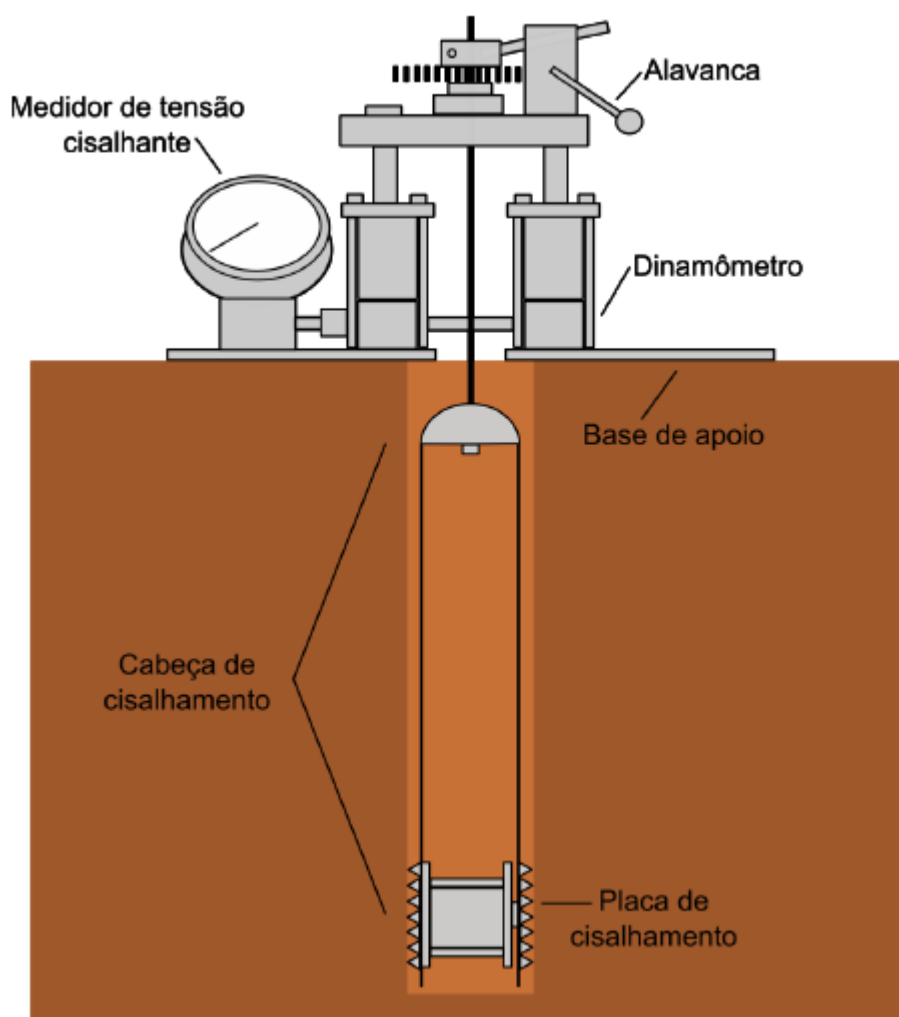


Figura 22 – Representação Ilustrativa do BST (Michel, 2015).

Os parâmetros da massa específica do solo e a profundidade do solo foram determinados em laboratório a partir das coletas indeformadas do solo e pelo método de tradagem manual, respectivamente. Maiores detalhes dos processos metodológicos podem ser consultados em Michel (2015).

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Mapas Base

Posteriormente a obtenção dos dados de entrada do modelo, foram criados os mapas que embasaram o presente estudo. Tais mapas foram produzidos no software ArcGis 10.2, em escala de apresentação 1:55.000 e datum SIRGAS 2000.

Inicialmente foram gerados mapas de declividade e área de contribuição a partir do MDT. Previamente a elaboração de tais mapas, o MDT foi corrigido em função de possíveis imperfeições relacionadas à presença de pico e sumidouros. Este processo foi executado através da ferramenta TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), desenvolvida pelo grupo de pesquisas hidrológicas da Utah State University e disponível para download pelo site <http://hydrology.usu.edu/taudem>. A Figura 23 apresenta o mapa do MDT.

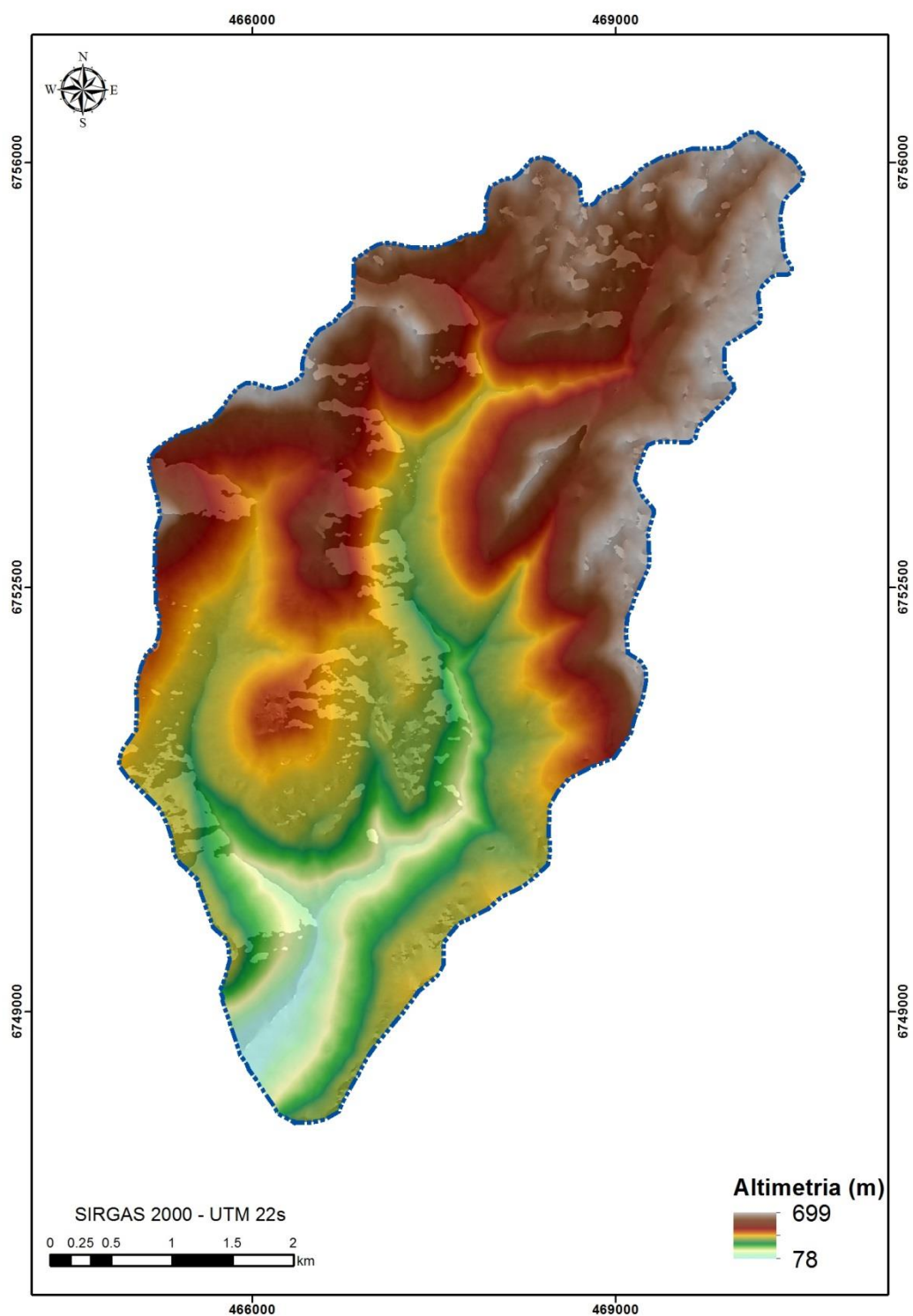
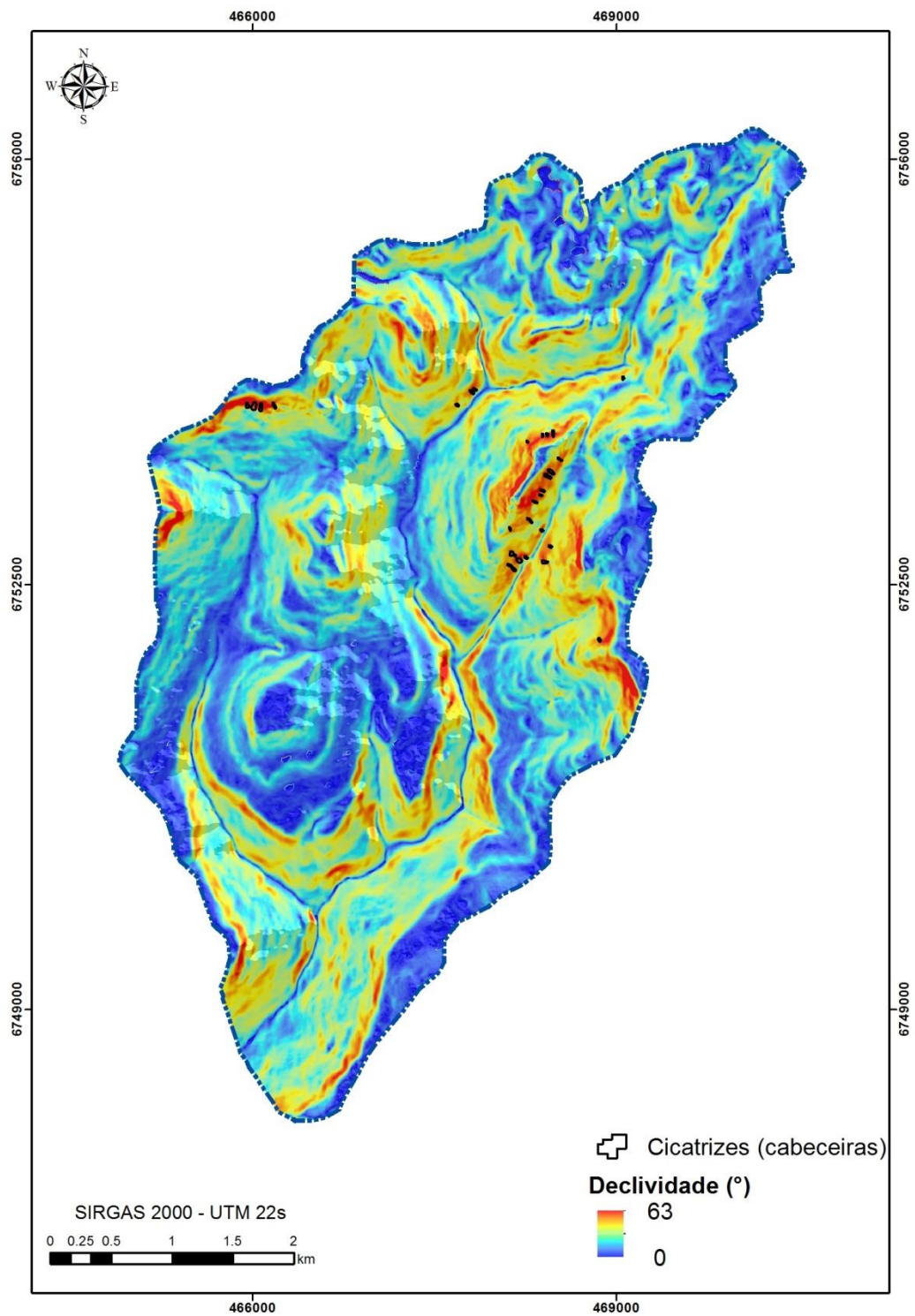


Figura 23 – Mapa do Modelo Digital do Terreno

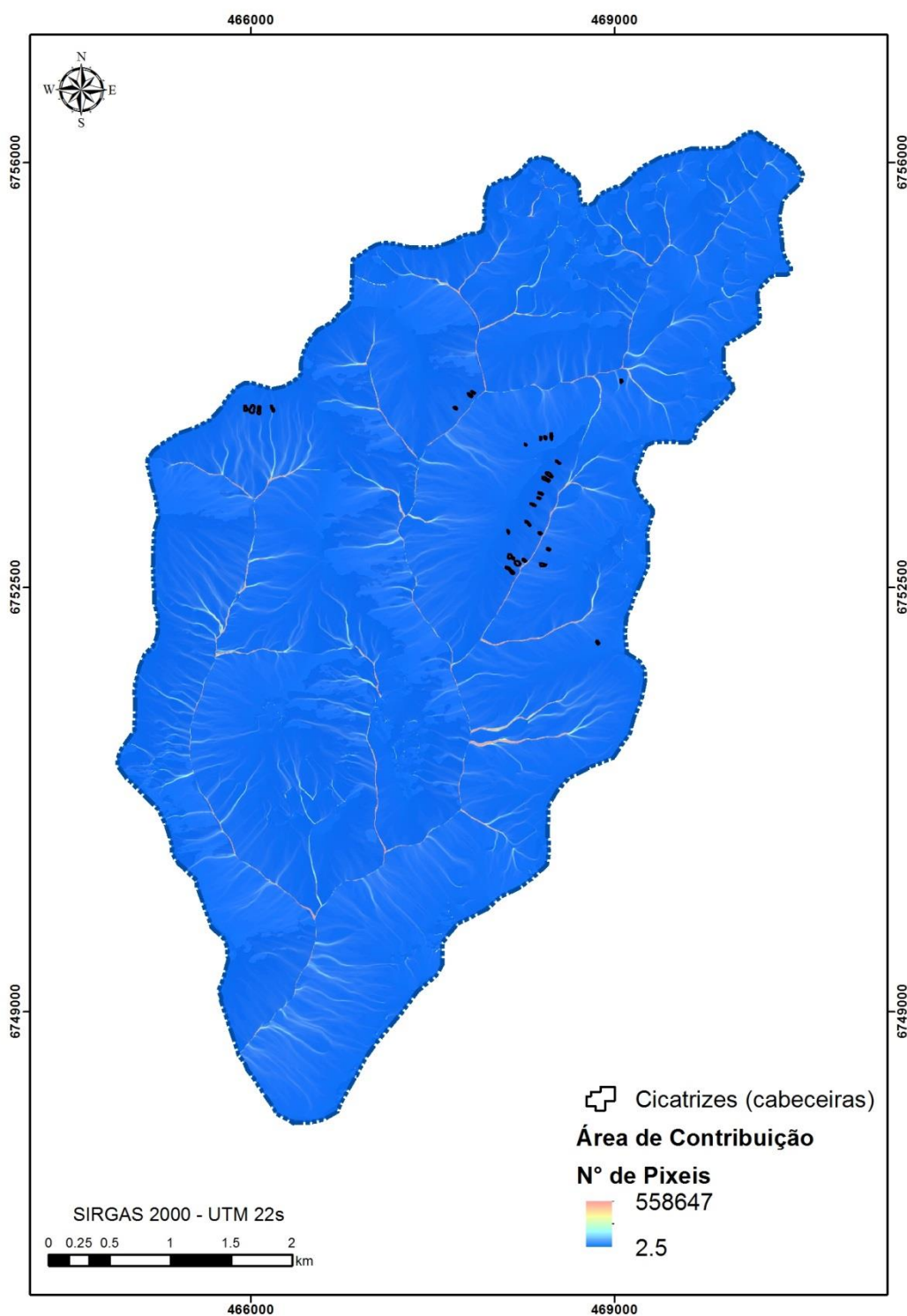
A ferramenta TauDEM foi também adotada para o cálculo de  $\theta$  e  $a/b$ . Este último parâmetro foi calculado levando em consideração a propagação do fluxo de água em

infinitas direções sobre o terreno. A Figura 24 mostra o mapa de declividade e a Figura 25 o mapa da área de contribuição. Ainda, em tais mapas estão representados, em polígonos pretos, as cabeceiras das cicatrizes de escorregamentos obtidos a partir de Michel (2015). Esse inventário de cicatrizes foi produzido por intermédio de imagens de satélite, do período posterior aos eventos de escorregamentos ocorridos no ano 2000 na área de estudo. Aliado a isso, Michel (2015) também adotou dados do inventário preliminar de escorregamentos realizado por Vanacôr e Rolim (2012) e da CPRM (2014) para compor a versão final do inventário de cicatrizes de escorregamentos. No mapa de declividade é notável que as cicatrizes de escorregamentos concentram-se em áreas com declividades mais acentuadas, ou seja, locais onde há maior predisposição a ocorrência de processos erosivos. Já no mapa de área de contribuição as cabeceiras das cicatrizes de escorregamentos concentraram-se, majoritariamente, em regiões onde iniciam os maiores valores em função da convergência de fluxo dado geralmente em relevo com geomorfologia côncava. Corroborando esta análise, segundo Montgomery e Dietrich (1994), há locais chamados de *hollows* onde há convergência do fluxo e transporte de partículas de solo a partir das cabeceiras e que apresentam forte incidência de escorregamentos rasos.





**Figura 24** – Mapa de Declividade



**Figura 25** – Mapa da Área de Contribuição

Já no que tange o mapeamento geotécnico, foi elaborado seguindo a mesma metodologia adotada por Michel (2015), ou seja, as unidades geotécnicas preliminares

foram baseadas em Davison (1995) conforme descrito no item 4.1. Desta forma, as unidades geotécnicas foram estabelecidas pelos distintos tipos de solos (escala de produção: 1:250.000) e litologias (escala de produção: 1: 750.000), das quais foram identificadas por símbolos maiúsculos e minúsculos, respectivamente. A FIGURA 26 mostra tais unidades geotécnicas com a distribuição dos pontos amostrais dos dados físicos de solos, compondo desta forma o mapeamento geotécnico. A Tabela 4 apresenta valores estimados de  $\phi$  e  $c$ , com os respectivos coeficientes de determinação da envoltória de cisalhamento dos 20 pontos amostrados. Também são apresentados os dados estimados de  $\rho_s$  e  $Z$  (média da bacia).

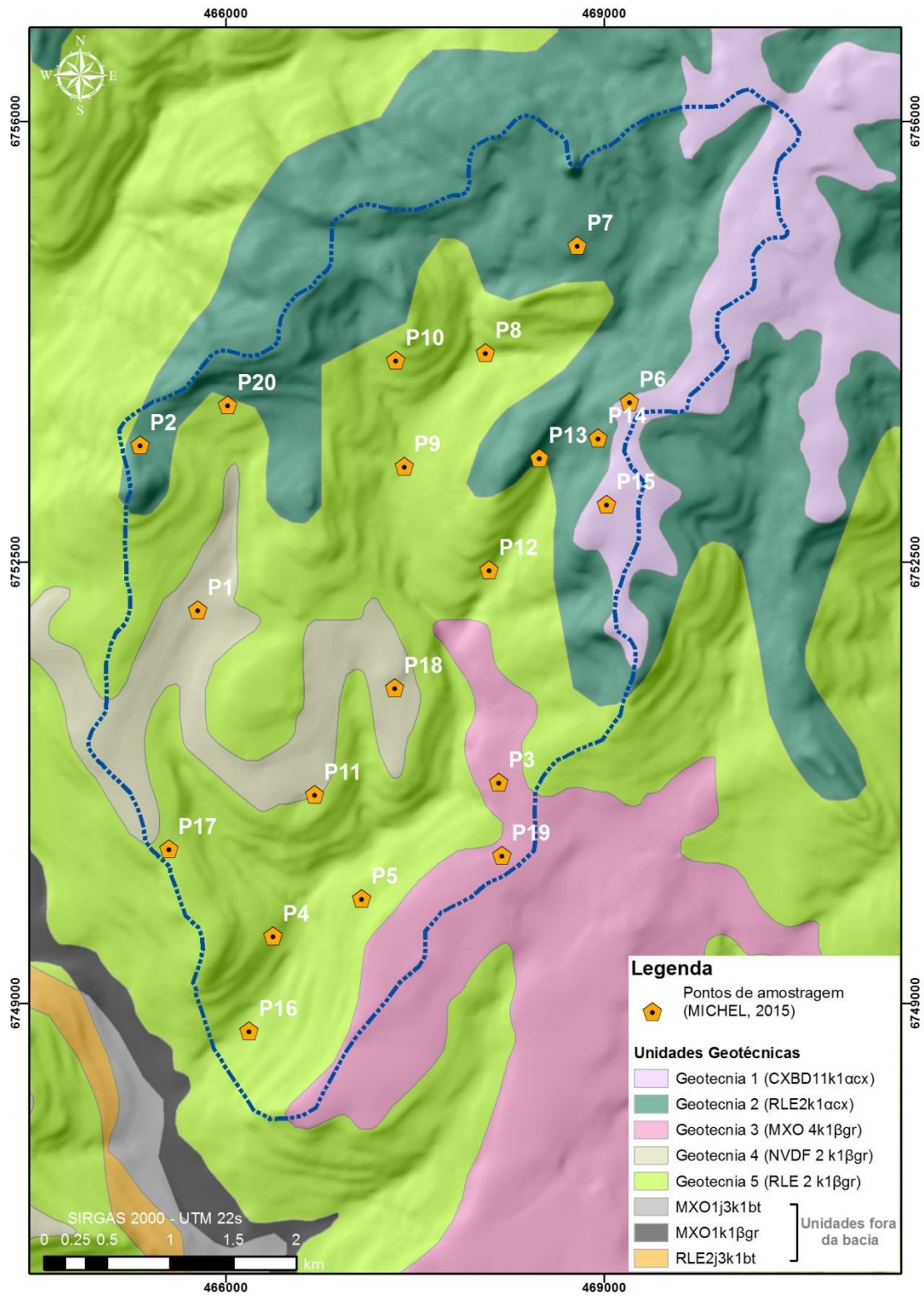


Figura 26 – Mapa Geotécnico

**Tabela 4** – Dados físicos do solo da área de Estudo

Ponto	$\phi$ (°)	$c$ (N/m <sup>2</sup> )	$R^2$	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$z$ (m) – média
P1	40	7800	0.997	1820	
P2	32	16000	0.99	1800	
P3	25	11000	0.99	1830	
P4	32	7220	0.97	1650	
P5	25	5000	0.997	1680	
P6	35	5950	0.993	1730	
P7	30	5130	0.996	1820	
P8	10	6360	0.98	1760	
P9	32	12800	0.986	1810	
P10	30	7210	0.99	1680	0,75
P11	39	2310	0.999	1630	
P12	28	4390	0.981	1780	
P13	26	6080	0.99	1670	
P14	33	1400	0.997	1750	
P15	33	3500	0.992	1650	
P16	21	2630	0.968	1770	
P17	24	12060	0.979	1700	
P18	38	8000	0.999	1680	
P19	29	8710	0.986	1630	
P20	33	4500	0.999	1570	

Fonte: Michel (2015)

### 5.2.2 Modelagem com SHASTAB

Após a obtenção e consolidação dos dados de entrada foi utilizado o modelo SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability Model*) para o cálculo de estabilidade de encosta. O algoritmo original deste modelo considera um único conjunto de valores geotécnicos para toda bacia. No entanto, o presente trabalho adotou algoritmo proposto por Michel *et al.* (2012b) que admite discretizar os valores de cada unidade geotécnica. Desta forma, foi possível realizar distintas combinações baseadas nos valores dos 20 pontos amostrais distribuídos pelas cinco unidades geotécnicas na área de estudo. Tais combinações repercutiram em 14 cenários no intuito de verificar o cálculo de estabilidade de encosta, sob a hipótese de diferentes contextos de distribuição espacial e quantitativa de pontos amostrais dos parâmetros geotécnicos. Assim sendo, o cenário 1 leva em consideração a totalidade dos 20 pontos amostrais para o cálculo de cada parâmetro ( $\phi$ ,  $c$  e  $\rho_s$ ), considerando a média do conjunto de pontos inseridos em cada unidade geotécnica. O cenário 2 admite valores dos parâmetros de apenas um ponto por

unidade geotécnica, adotando aquele com melhor coeficiente de determinação da envoltória de cisalhamento. Já o cenário 3 foram usados valores dos parâmetros constante para toda bacia baseados na média dos 20 pontos amostrados. Da mesma forma, o cenário 4 levou em consideração valores constantes para toda bacia, porém para cada conjunto de parâmetros do 20 pontos amostrados. Ainda nesta mesma perspectiva espacial, com valores constantes para toda bacia, os cenários 5 até 9 foram embasados na média de cada conjunto de pontos amostrados inseridos em cada unidade geotécnica. Da mesma forma, os valores dos parâmetros que compuseram o cenários 10 não foram discretizados por unidades geotécnicas, sendo assim, considerado valores obtidos a partir da média das unidades geotécnicas 2 e 5, visto que nestas estão inseridas as cicatrizes de escorregamentos. No cenário 11 foram levados em consideração os valores adotados pelo *default* do SHALSTAB. Já os cenários 12 e 13 estão baseados na dispersão existente entre a média do parâmetro do  $\phi$  em cada unidade geotécnica e os pontos amostrais inseridos na mesma. Desta maneira, o critério adotado no cenário 12 admite dispersão dos valores maiores para os menores, ou seja, foram gradualmente retirados os valores com maiores dispersões em relação à média até restassem apenas 1 ponto por unidade geotécnica. Já o cenário 13 o critério foi invertido, com retirada progressiva dos valores com menores dispersões em relação à média. No caso de dispersões idênticas entre dois pontos, o critério foi à remoção do ponto com pior coeficiente da envoltória de cisalhamento. Por fim, o cenário 14 foi proposto a partir da adoção dos valores dos parâmetros resultantes do interpolador IDW (Inverse Distance Weighting). A Tabela 5 apresenta sucintamente os cenários propostos.

Cabe observar que cada cenário foi simulado para seis diferentes profundidades do solo. A média da profundidade da bacia 0,75 m, de acordo com Michel (2015), foi adotada. Além desta, foram adotadas mais cinco profundidades, sendo elas: 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m e 3 m. A TABELA 5 apresenta resumidamente os 14 cenários. Os valores dos parâmetros do solo para cada cenário encontram-se no apêndice.

**Tabela 5** – Cenários propostos

Cenário	Metodologia	Critério	Nº de Simulações
1	Valores da média dos pontos por unidade geotécnica	Todos os 20 pontos	6
2	Valores de um ponto por unidade geotécnica	Ponto com melhor coeficiente de determinação de cada unidade geotécnica. Pontos: 06, 14, 03, 18 e 20	6
3	Média dos pontos para bacia	Todos os 20 pontos	6
4	Valor de cada ponto para bacia	Todos os 20 pontos	120
5	Valores da média dos pontos da geotecnia 1	Pontos 06 e 15	6
6	Valores da média dos pontos da geotecnia 2	Pontos 02, 07, 13 e 14	6
7	Valores da média dos pontos da geotecnia 3	Pontos 03 e 19	6
8	Valores da média dos pontos da geotecnia 4	Pontos 01, 11 e 18	6
9	Valores da média dos pontos da geotecnia 5	Pontos 04, 05, 08, 09, 10, 12, 16, 17 e 20	6
10	Valores da média dos pontos das geotecnias 2 e 5	Pontos 02, 04, 05, 07, 08, 09, 10, 12, 13, 14, 16, 17 e 20	6
11	Valores padrão da bibliografia	Valores <i>default</i>	6
12	Valores da média dos pontos por unidade geotécnica	Dispersão dos maiores valores entre a média do $\phi$ e cada ponto amostral	90
13	Valores da média dos pontos por unidade geotécnica	Dispersão dos menores valores entre a média do $\phi$ e cada ponto amostral	90
14	Valores a partir do interpolador IDW.	Todos os 20 pontos	6

### 5.2.3 Verificação do desempenho do SHALSTAB

A comparação entre o desempenho do SHALSTAB, para os distintos cenários propostos foi embasada no inventário de cicatrizes de escorregamentos (cabeceira) distribuindo as em cada classe de estabilidade. Os resultados foram avaliados variando-se o limiar de instabilidade de acordo com a densidade de células instáveis dentro do inventário de cicatrizes de escorregamentos. Os limiares adotados para o presente estudo foram  $\log q/T = -3,1$ ,  $\log q/T = -2,5$  e  $\log q/T = -2,8$ . Assim sendo, a variação destes limiares ocasiona alteração de áreas classificadas como instáveis dentro da bacia.



Os métodos de avaliação de desempenhos adotados foram baseados nos propostos por Sorbino *et al.* (2010) e Dietrich *et al.* (2001).

Sorbino *et al.* (2010) propuseram dois índices, sendo eles: Índice de Acerto (*IA*) e Índice de Erro (*IE*). O *IA* corresponde à porcentagem de área definida como instável pelo modelo que coincide com a área de ocorrência de escorregamentos, ou seja, o inventário de cicatrizes (Equação 29). Já o *IE* é a razão percentual entre as áreas consideradas como instáveis pelo modelo e não compatíveis com o inventário de cicatrizes e áreas da bacia que não foram coincidentes por escorregamentos (Equação 30). A Figura 27 representa como são definidas as áreas para a realização do cálculo dos índices.

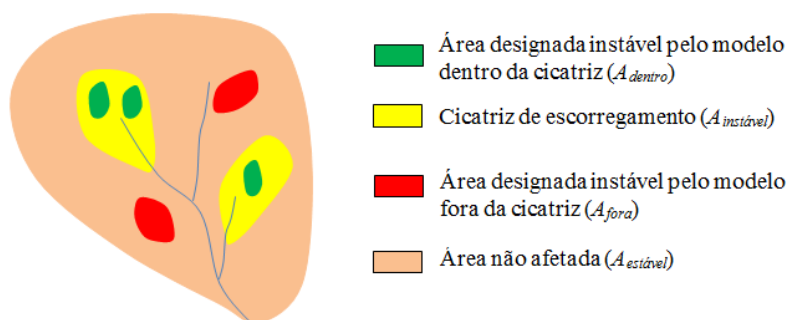


Figura 27 - Definição das áreas usadas no cálculo de *IA* e *IE* – (Michel, 2015)

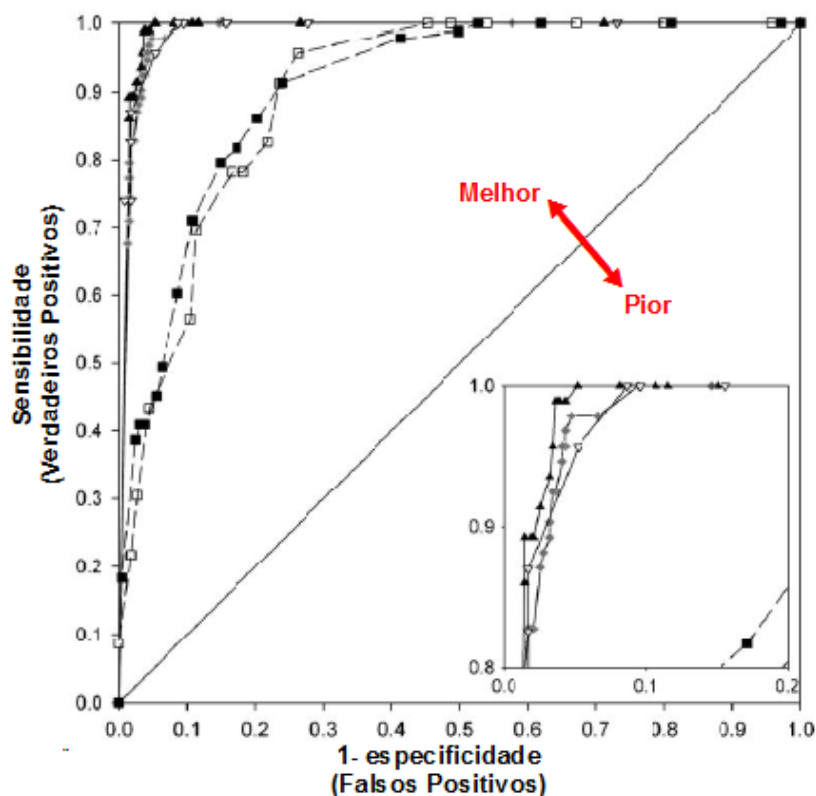
$$IA = \frac{A_{dentro}}{A_{instável}} \cdot 100 \quad (29)$$

$$IE = \frac{A_{fora}}{A_{estável}} \cdot 100 \quad (30)$$

Adotando os índices propostos por Sorbino *et al.* (2010), cabe observar, os mesmos foram calculados para áreas com declividade acima  $26,7^\circ$ . Este critério foi adotado para o presente estudo, embasado em Michel (2015), que observa ser esta a declividade mínima inserida dentro das cicatrizes de escorregamentos para bacia do arroio Jaguar. Ademais o presente trabalho aderiu à representação de tais resultados em gráficos de dispersão de pontos. No intuito de comparar os desempenhos, o *IA* foi plotado no eixo das ordenadas, enquanto o *IE* no eixo da abscissas. Esta configuração



gráfica viabilizou a verificação dos desempenhos dada pela representação da proporcionalidade percentual de tais índices. Dentro deste contexto, cabe mencionar o trabalho de Van Den Eeckhaut *et al.* (2006) que basearam-se nesta abordagem para calibração e validação dos modelos baseados na curva ROC ( *Receiver Operating Characteristic*), onde cada par de coordenadas aponta a capacidade do modelo em distinguir, de maneira correta, as áreas instáveis e estáveis, repercutindo assim na forma da curva. A Figura 28 apresenta um exemplo desta curva realizada no trabalho de Van Den Eeckhaut *et al.* (2006). Os modelos com melhores resultados aproximaram-se dos verdadeiros positivos (sensibilidade) no eixo da ordenadas, em detrimento da ocorrência dos falsos positivos (especificidade), eixo das abscissas.



**Figura 28** – Exemplo gráfico da curva ROC adaptado de Van Den Eeckhaut *et al.* (2006)

Outrossim, também apoiou-se para a avaliação do desempenho do modelo a metodologia proposta por Dietrich *et al.* (2001). Este método estabelece que um desempenho satisfatório seria aquele que consegue detectar os escorregamentos em menor área classificada como instável na bacia. Desta forma, cada célula com menor valor  $q/T$ , resultante do modelo SHALSTAB, detectada no polígono da cicatriz de escorregamento, representa o local menos estável, sendo assim, considerada a categoria

que controla a estabilidade do local. Aliado a esta perspectiva de análise os autores propuseram avaliação do desempenho por intermédio de curvas que representam o número de células de grade em cada categoria de  $\log q/T$  e a frequência cumulativa resultante da área total que recai em cada categoria. Deste modo, a representação a partir destas curvas de áreas cumulativas na bacia e nas cicatrizes de escorregamentos, em cada categoria, é possível verificar o desempenho do modelo, já que o mesmo melhora à medida que as curvas se distanciam. Á vista disso, o presente estudo propôs um índice para o cálculo da área existente entre as curvas. Tal índice representado pela Equação 31, onde  $E$  é igual o percentual da área cumulativa dos escorregamentos e  $A$  é o percentual da área cumulativa da área total na bacia.

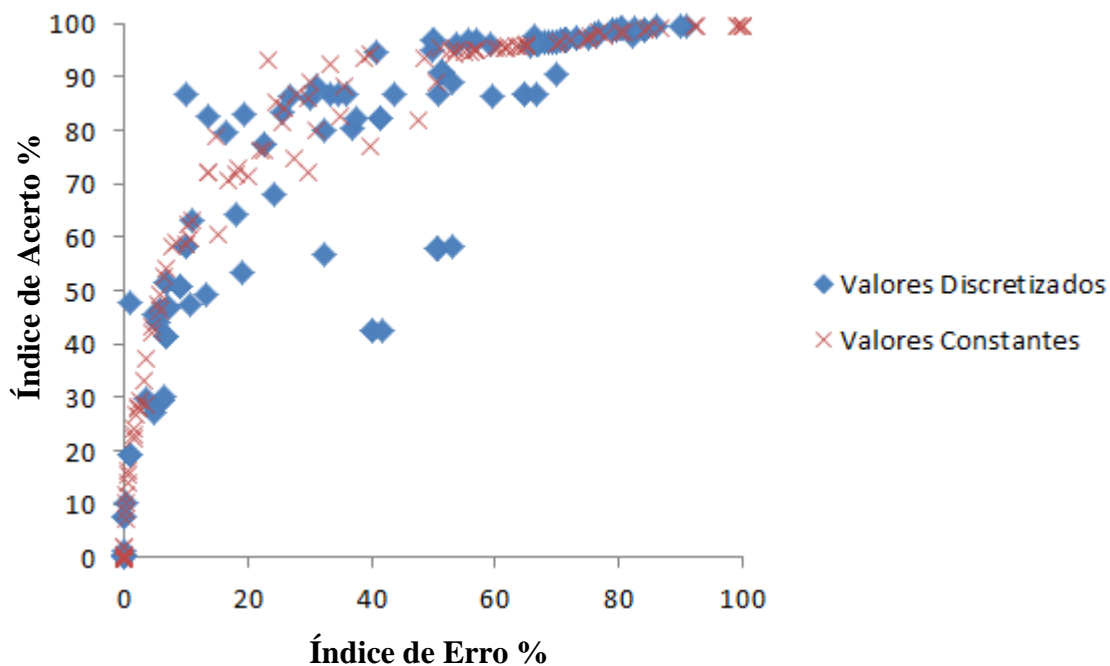
$$I = \sum (E - A) \quad (31)$$

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos 14 cenários propostos foram gerados 364 simulações, englobando setes classes de estabilidade propostas por Dietrich e Montgomery (1998). Para melhor representação essas classes são expressas em função logarítmica decimal, em virtude de serem valores muito pequenos. As classes incondicionalmente instável e incondicionalmente estável são em conformidade as características topográficas e pedológicas. Já as demais classes estão vinculadas aos parâmetros hidrológicos e ficam em função do parâmetro livre  $q/T$ . A partir do cálculo de estabilidade, os menores valores resultantes de  $\log q/T$  representam um contexto que tende necessitar menos das condições hidrológicas para que a área se torne instável. Logo, estes valores de  $\log q/T$  representam maior instabilidade.

Com base nos resultados observou-se que, em todos os cenários, a partir de determinada profundidade, classes de instabilidade foram incrementadas com o aumento dos valores da mesma. Por outro lado, os menores valores de profundidade tenderam apresentar reduzidas áreas de instabilidade, mesmo em declividades elevadas onde comumente ocorrem elevadas taxas de erosão e propensão a escorregamentos. Desta forma, nota-se que a espessura tem significativa influência na resistência solo, visto que embora estejam em elevadas declividades, profundidades menores são capazes de sustentar o solo mesmo em condição de saturação.

Com base nos cenários propostos observou-se que aderindo ao limiar  $\log q/T = -2,5$ , os melhores desempenhos das simulações resultantes da adoção de parâmetros discretizados por unidade geotécnica e constantes para toda bacia, não apresentaram índices significativamente discrepantes (Figura 29) .



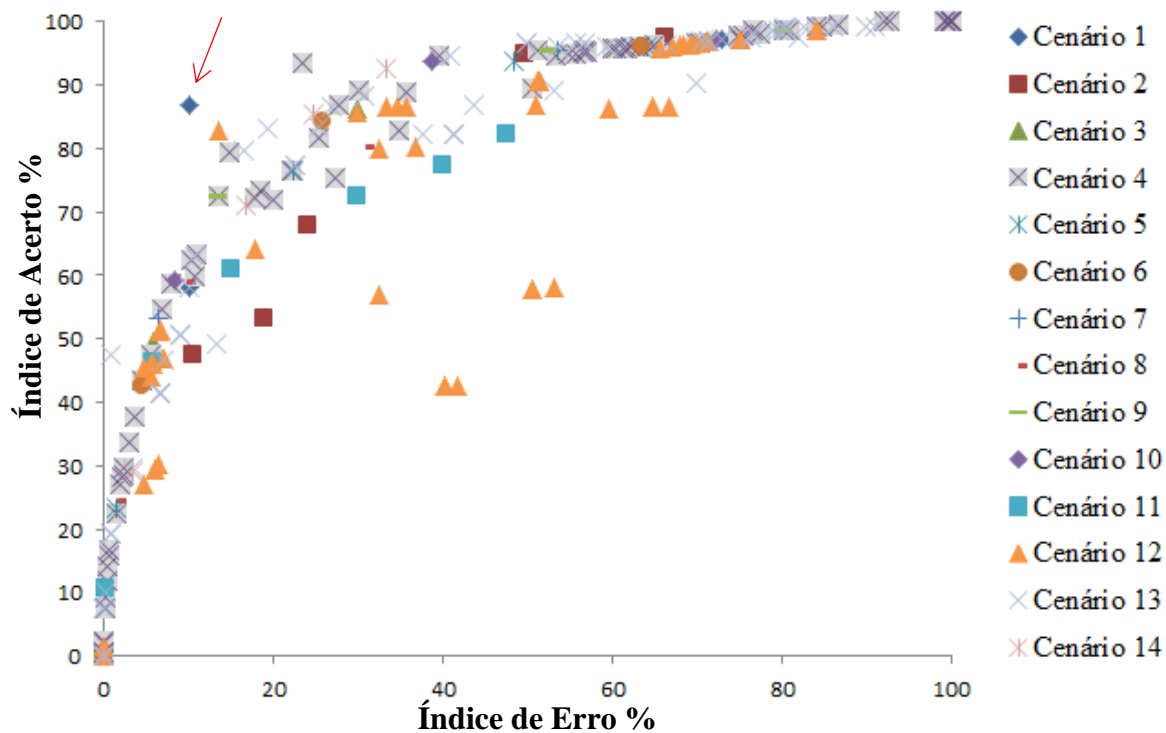
**Figura 29** - Desempenhos de *IA* e *IE* (limiar  $\log q/T = -2,5$ )

Dentre os 14 cenários propostos, o melhor desempenho foi apresentado na simulação contemplada pelo cenário 1 considerando  $Z = 2$  m, conforme está indicado no gráfico da Figura 30. Neste contexto, o *IA* correspondeu 87%, enquanto *IE* 10%. Neste cenário foram adotados valores discretizados por unidade geotécnica, abrangendo a totalidade de 20 pontos amostrados. A

TABELA 6 mostra a quantidade de pontos amostrados por unidade geotécnica e os valores da média dos parâmetros.

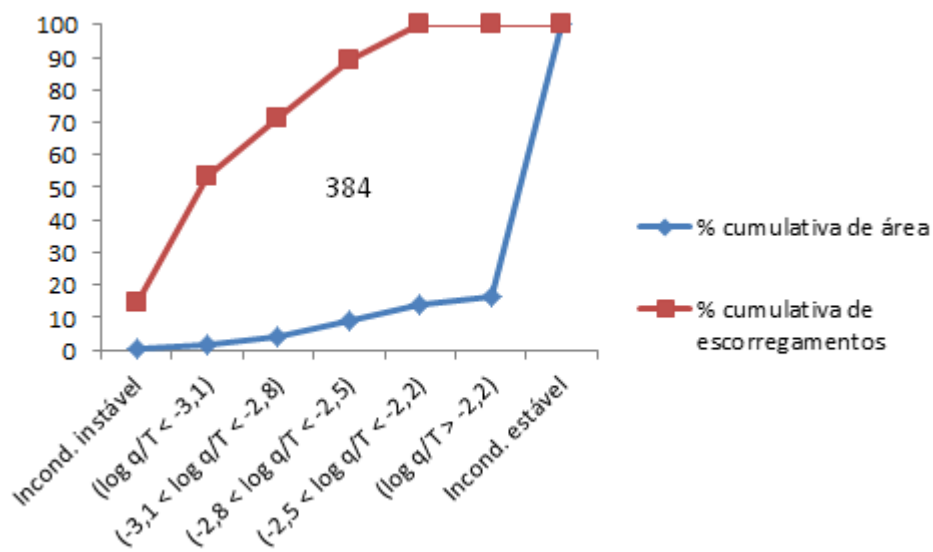
**Tabela 6** – Parâmetro de entrada do modelo SHALSTAB no cenário 1

Unidades Geotécnicas	20 Pontos	$\phi$ (°) Média	c (N/m <sup>2</sup> ) Média	Média $\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07, 13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01, 11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	04, 05, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	6908	1711



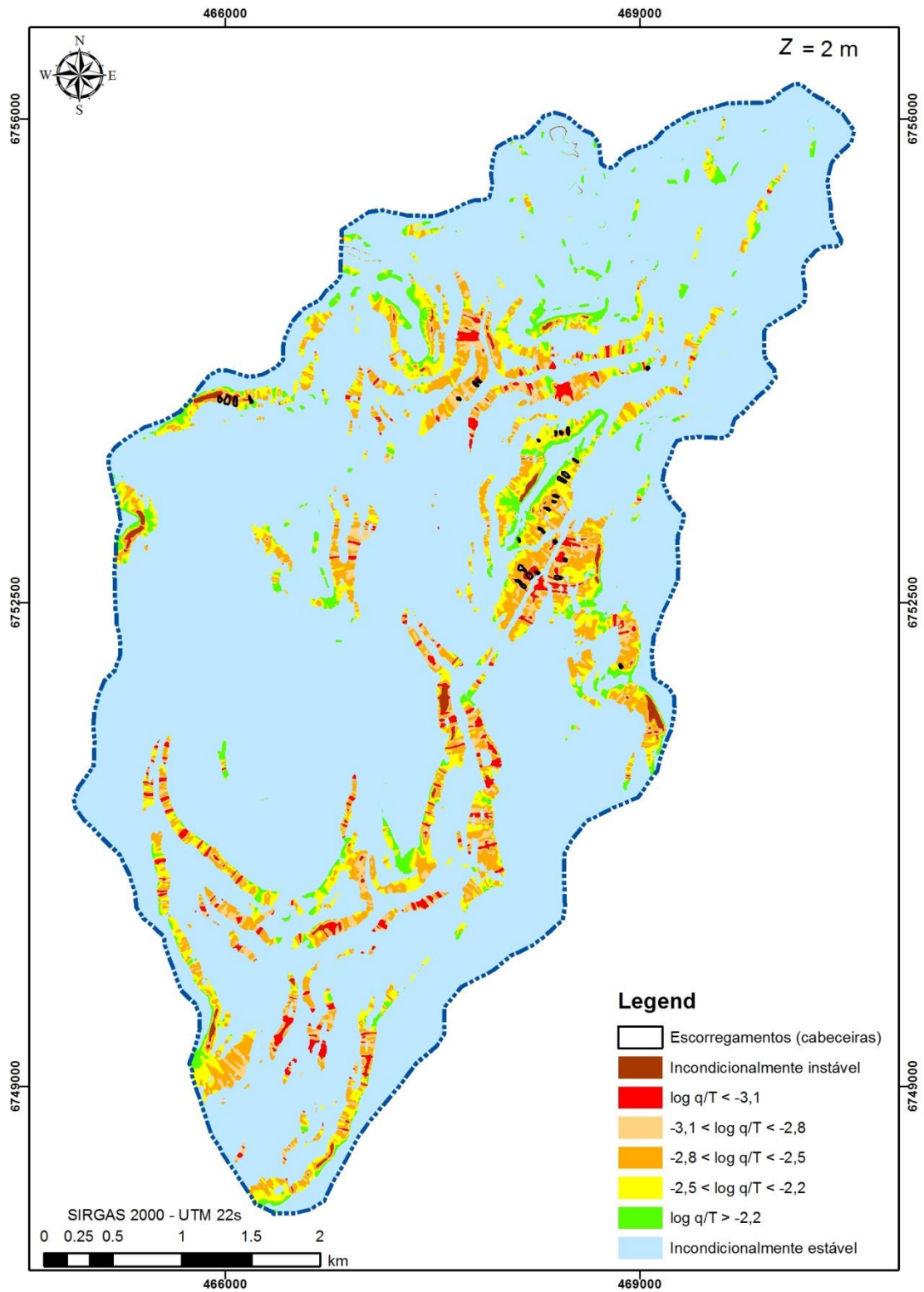
**Figura 30** – Gráfico e desempenhos de *IA* e *IE* a partir do limiar  $\log q/T = -2,5$

Ademais, relacionando as classes de estabilidade do modelo e a porcentagem cumulativa de área e escorregamentos em cada classe para esta simulação, observou-se que a partir deste limiar ( $\log q/T = -2,5$ ) 89% dos escorregamentos enquadram-se em apenas 9% de área instável na bacia, conforme observa-se no gráfico na Figura 31. Tal gráfico também apresenta área calculada entre as curvas, conforme equação 31 proposta por esta dissertação.



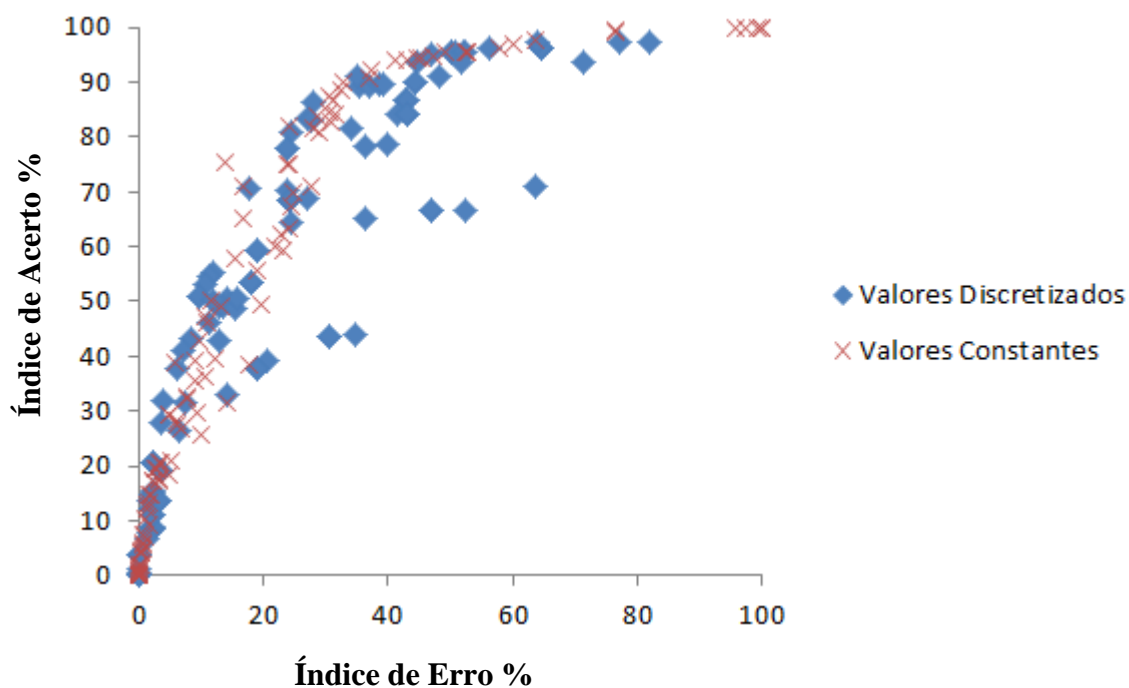
**Figura 31** - Porcentagem cumulativa de área e de escorregamentos mapeados em cada classe de estabilidade para cenário 1 ( $z = 2$  m)

A Figura 32 apresenta o mapa de estabilidade, do cenário 1 considerando a profundidade de 2 m, com as sete classes definidas pelo SHALSTAB.



**Figura 32** – Mapa de estabilidade da bacia do arroio Jaguar (cenário 1)

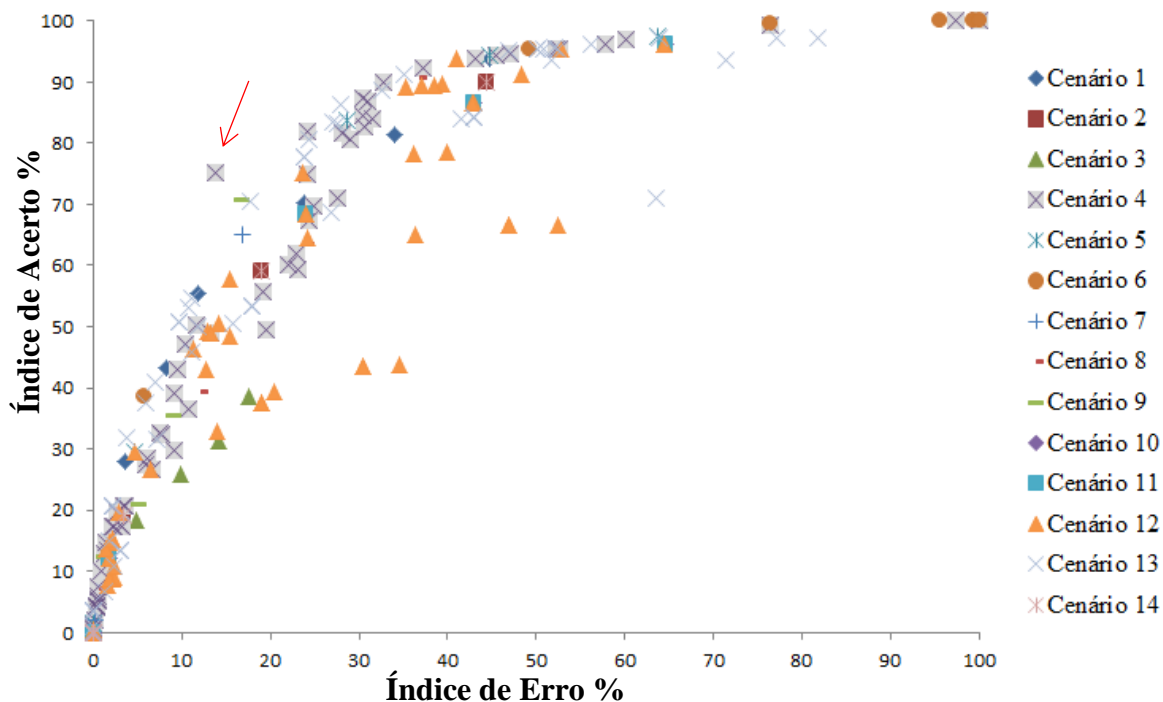
Adotando-se o limiar de instabilidade  $\log q/T = -2,8$ , os desempenhos das simulações derivadas da adoção de parâmetros constantes para toda bacia tenderam melhores índices (FIGURA 33).



**Figura 33** - Desempenhos de *IA* e *IE* (limiar  $\log q/T = -2,8$ )

O melhor desempenho foi apresentado no cenário 4, conforme pode-se observar a indicação na Figura 34. Os valores dos parâmetros do ponto amostral 08 considerando  $Z = 1$  m, localizado na unidade geotécnica 5, gerou o melhor desempenho. À vista disso o *IA* correspondeu 75%, enquanto *IE* 14%. A Tabela 7 mostra tais valores utilizados para toda bacia.



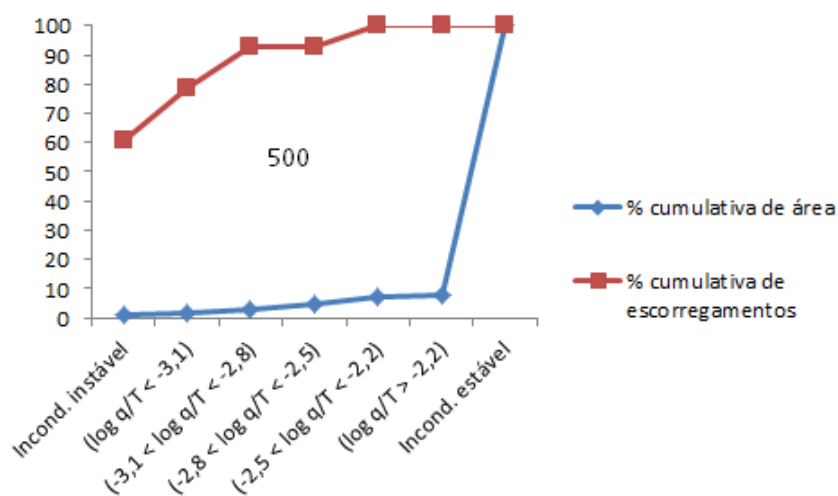


**Figura 34** - Gráfico e desempenhos de *IA* e *IE* a partir do limiar  $\log q/T = -2,8$

**Tabela 7**– Parâmetro de entrada do modelo SHALSTAB no cenário 4

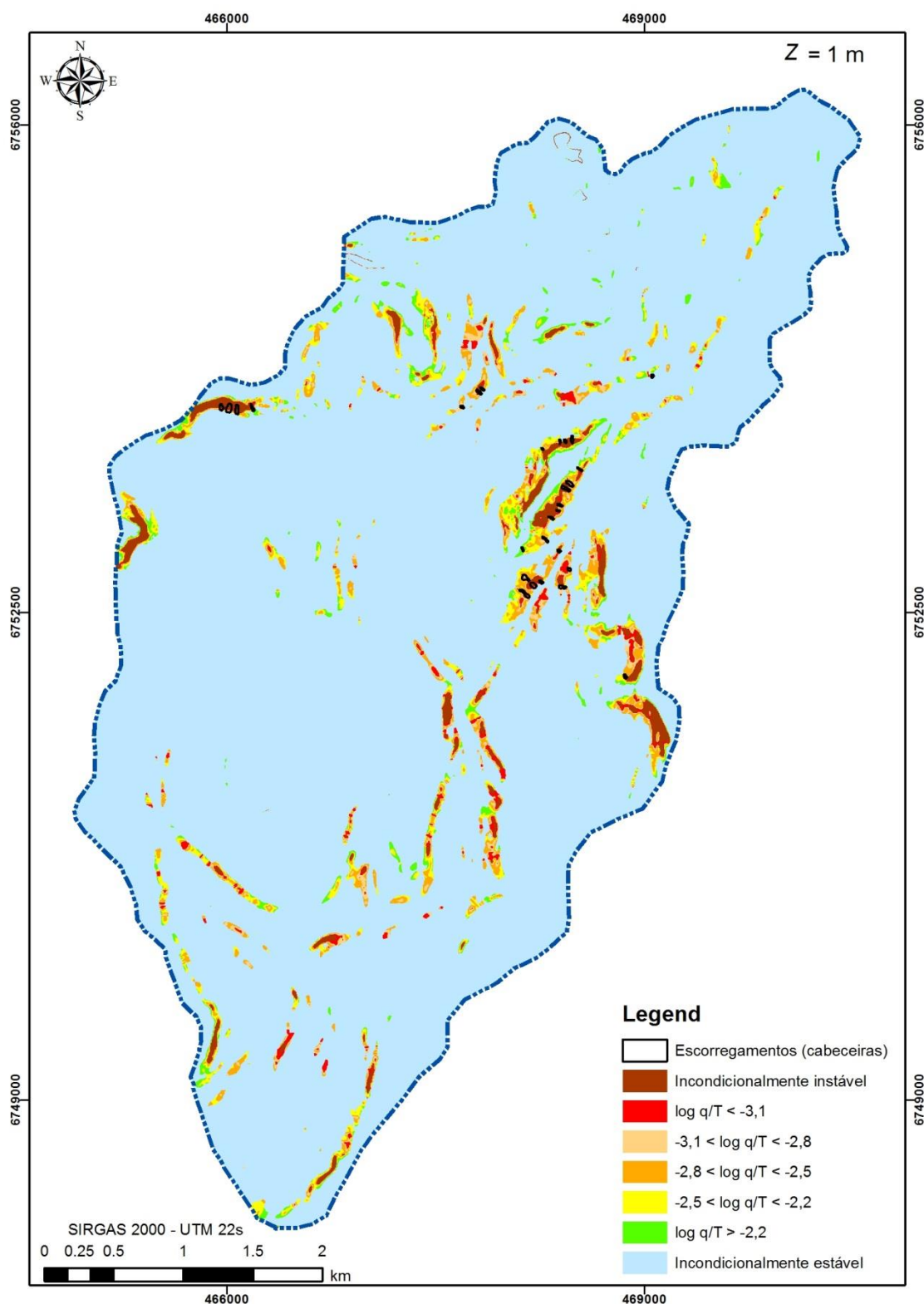
Unidades Geotécnicas	Ponto	$\phi$ (°)	$c$ (N/m <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Geotecnia 5	08	10	6360	1760

A Figura 35 mostra o gráfico relacionando as classes de estabilidade do modelo e a porcentagem cumulativa de área e escorregamentos em cada classe para este cenário. Assim, foram enquadrados 93% dos escorregamentos em 3% de área instável na bacia.



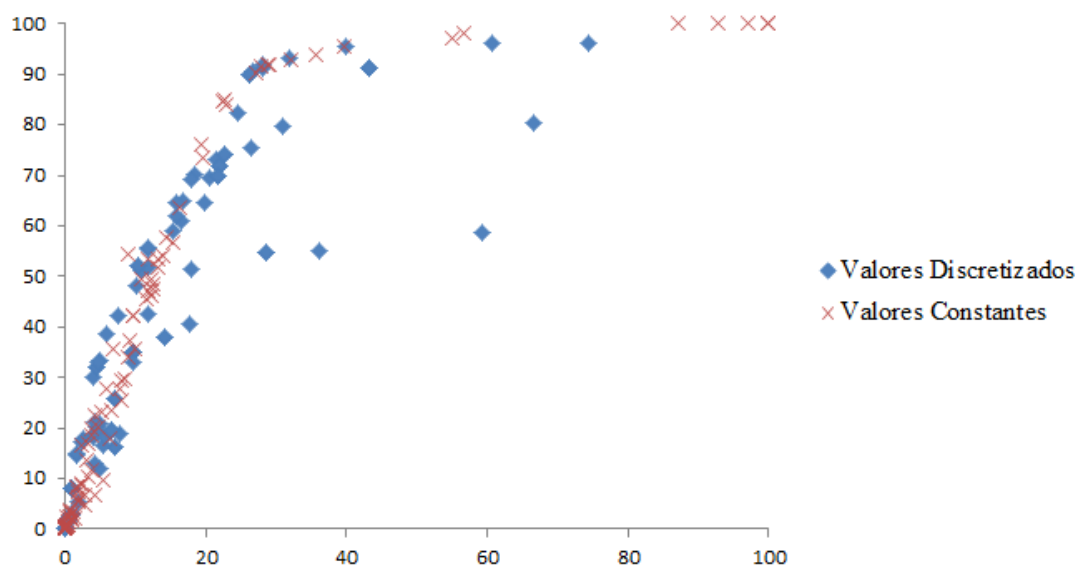
**Figura 35** - Porcentagem cumulativa de área e de escorregamentos mapeados em cada classe de estabilidade para cenário 4 (ponto 08 e  $Z = 1$  m)

A Figura 36 mostra o mapa de estabilidade, do cenário 4 considerando a profundidade de 1 m, com as sete classes definidas pelo SHALSTAB.



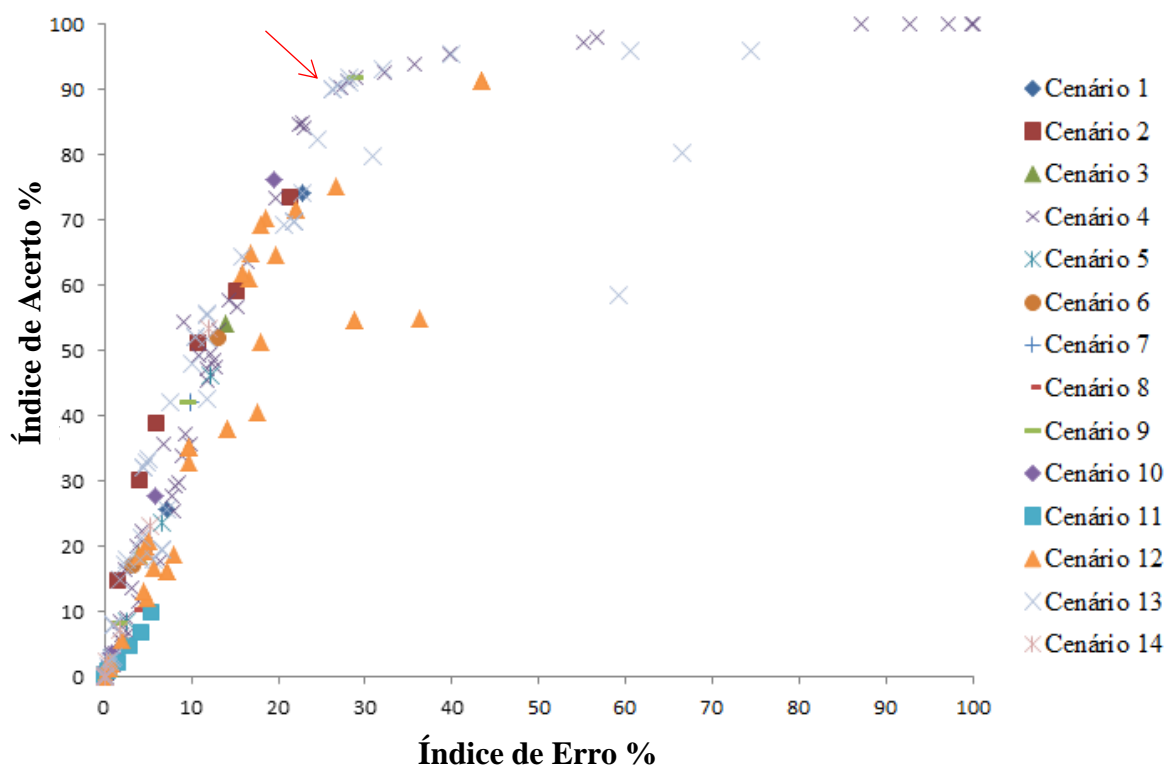
**Figura 36** - Mapa de estabilidade da bacia do arroio Jaguar cenário 4 (ponto 08)

Já para o limiar de instabilidade  $\log q/T = -3,1$ , a tendência dos melhores desempenhos são resultantes das simulações que assumiram parâmetros discretizados por unidade geotécnica (Figura 39).



**Figura 37** - Desempenhos de *IA* e *IE* (limiar  $\log q/T = -3,1$ )

O melhor desempenho foi assumido pelo cenário 13 que abrangeram 13 pontos amostrais e  $Z = 3$  m, conforme indicado na Figura 38. Isto posto, *IA* correspondeu 90%, enquanto *IE* 26%. A Tabela 8 mostra a quantidade de pontos amostrados por unidade geotécnica e os valores da média dos parâmetros.

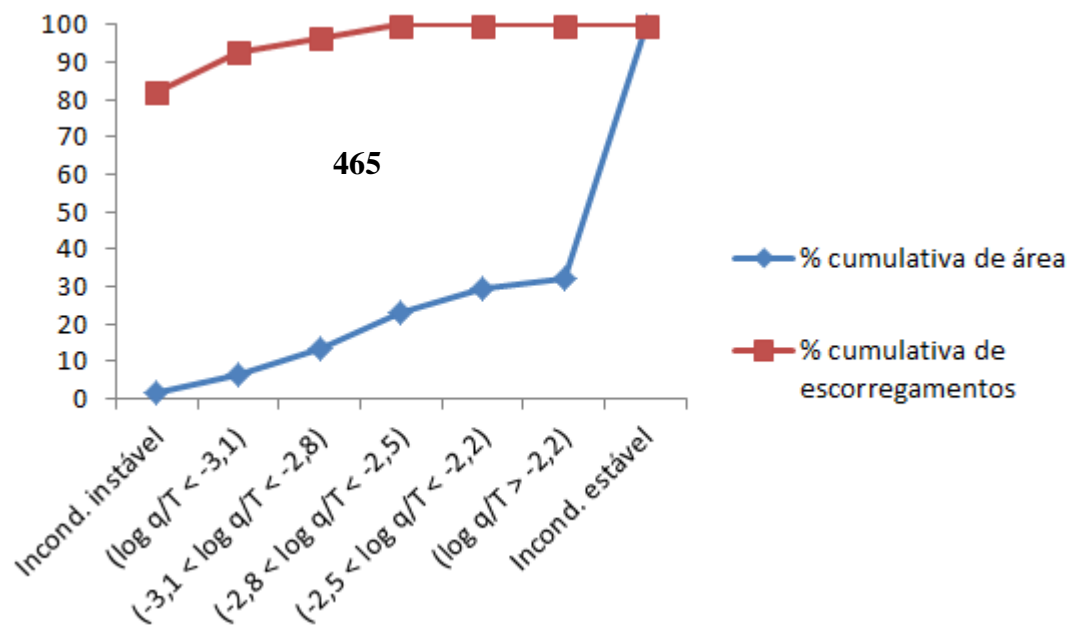


**Figura 38** - Gráfico de desempenhos de IA e IE a partir do limiar  $\log q/T = -3,1$

**Tabela 8**– Parâmetro de entrada do modelo SHALSTAB no cenário 13

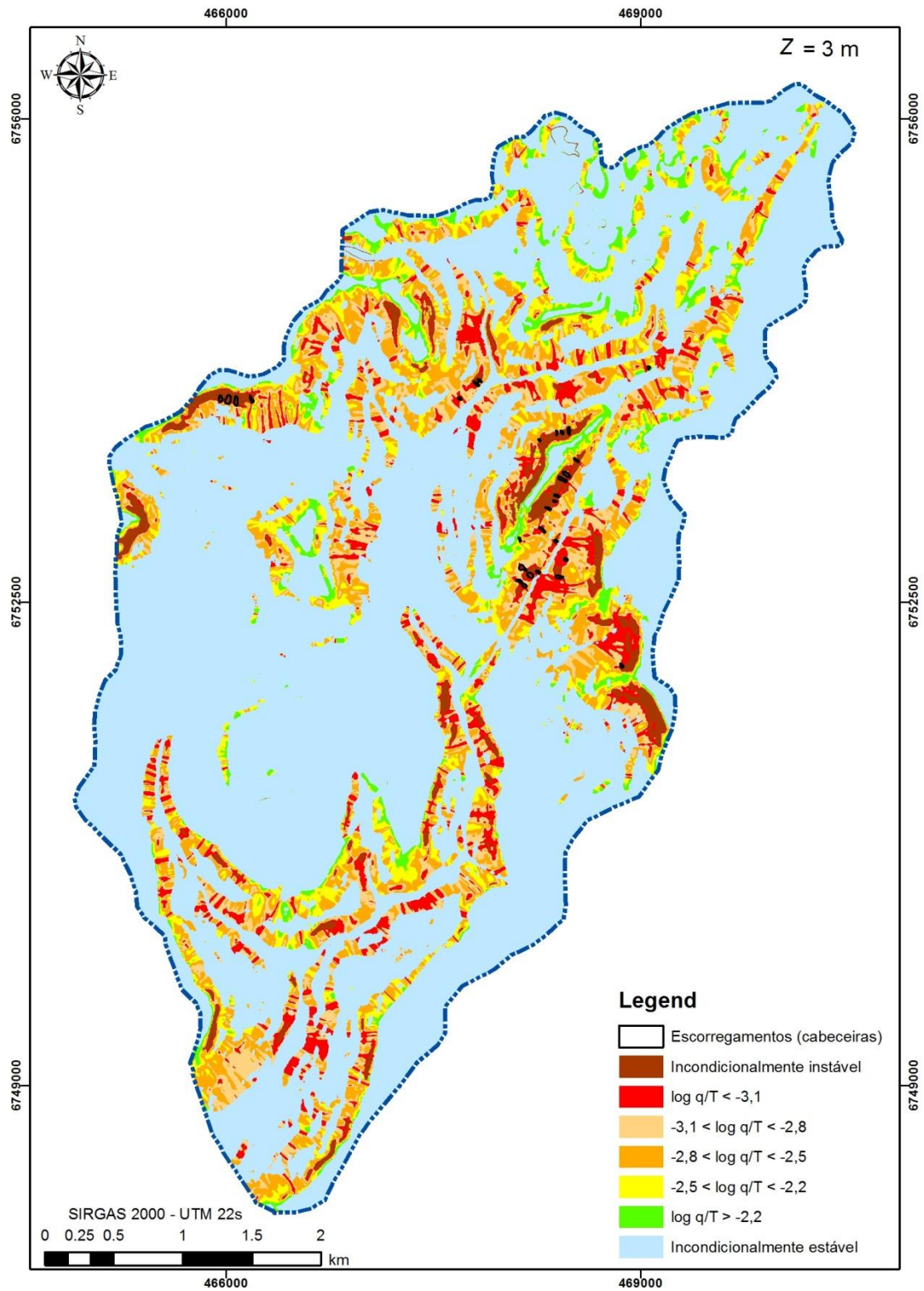
Unidades Geotécnicas	13 Pontos	$\phi$ (°) Média	c (N/m <sup>2</sup> ) Média	Média $\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13 e 14	30	3740	1710
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09, 10, 16, 17 e 20	26	7540	1706

A Figura 39 mostra o gráfico relacionando as classes de estabilidade do modelo e a porcentagem cumulativa de área e escorregamentos em cada classe deste cenário. Deste modo, foram capturados 93% dos escorregamentos em 7% de área instável na bacia.



**Figura 39** - Porcentagem cumulativa de área e de escorregamentos mapeados em cada classe de estabilidade do cenário 13 (13 pontos amostrais e  $Z = 3$  m)

A Figura 40 apresenta o mapa de estabilidade, do cenário 13 considerando a profundidade de 3 m, com as sete classes definidas pelo SHALSTAB.



**Figura 40** - Mapa de estabilidade da bacia do arroio Jaguar cenário 13 (13 pontos amostrais e  $Z = 3$  m)

Frente tais resultados observam-se que quando considerados os limiares de instabilidade  $\log q/T -2,5$  e  $\log q/T -3,1$  os melhores desempenhos foram resultantes dos cenários que contemplaram valores dos parâmetros de solo discretizados por unidade geotécnica. Verificou-se que a área obtida a partir das curvas relacionando as classes de estabilidade do modelo e a porcentagem cumulativa de área e escorregamentos em cada classe, foi maior no cenário que apresentou melhor desempenho quando adotado limiar  $\log q/T -3,1$ , corresponde a 465. Tal resultado gerado a partir do cenário 13 e  $Z = 3$  m, obteve os escorregamentos enquadrados majoritariamente (82%) na classe incondicionalmente instável. Esta classe não está vinculada aos parâmetros hidrológicos. Isso demonstra uma incoerência, já que as chuvas são responsáveis pelos escorregamentos. Já quando analisado cenário 1 e  $Z = 1$  m, considerado com melhor desempenho quando adotado limiar  $\log q/T -2,5$ , observou-se que foram capturados os escorregamentos (75%), predominantemente, por categorias associadas aos parâmetros hidrológicos, enquanto os demais escorregamentos capturados (14%) enquadraram-se na classe incondicionalmente instável. Assim sendo, embora numericamente tais desempenhos tenham apresentado bons resultados, nota-se que no cenário 13 a influência dos valores de parâmetros de entrada tenderam polarizar os resultados. Conjectura-se que a redução, de pouco mais de 50%, do valor de coesão do solo da unidade geotécnica 2 tenha superestimado áreas instáveis na bacia. Aliado a isso, a elevada espessura do solo contribuiu para tal resultado.

Por outro lado, quando considerado o limiar de instabilidade  $\log q/T -2,8$ , o melhor desempenho foi apresentado pelo cenário 4, resultante da adoção de parâmetros do solo constante para toda bacia. Assim, a partir dos valores do ponto 08 e  $Z = 1$ , localizado na unidade geotécnica 5, os escorregamentos foram enquadrados predominantemente (61%) na classe incondicionalmente instável. Enquanto, 18% dos escorregamentos foram enquadrados na classe  $\log q/T < -3,1$ . De maneira similar a análise supramencionada associada ao limiar  $\log q/T -3,1$ , neste contexto, presume-se que este resultados também tenham sido influenciados por valores que não estejam condizentes com a realidade local. Assim, presume-se que o baixo valor adotado do ângulo de atrito ( $10^\circ$ ) para toda a bacia, contribuiu na superavaliação de classes instáveis, repercutindo no enquadramento, predominante, dos escorregamentos na classe incondicionalmente instável.

Em frente ao exposto, observa-se que existem muitas incertezas relacionadas ao efeito da caracterização das unidades geotécnicas. Nota-se que a avaliação de diferentes limiares de instabilidade aliado aos distintos cenários propostos conduziram observar que a quantidade, de 20 pontos amostrados nesta bacia para caracterização das unidades geotécnicas, apresentaram resultados mais realistas. Isso ficou evidente quando considerados os limiares  $\log q/T$  -2,8 e  $\log q/T$  -3,1 onde os melhores desempenhos tenderam ter resultados polarizados devido a variação brusca dos parâmetros de resistência do solo.



## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo SHALSTAB vem viabilizando a obtenção de resultados confiáveis para predição de escorregamentos, Isso se deve a característica determinística embasada em leis físicas da natureza, que permitem à diminuição da subjetividade a previsão de escorregamento.

No Brasil, a partir do trabalho precursor da tese de doutorado de Guimarães (2000) e seus derivados artigos científicos, a aplicabilidade do modelo SHALSTAB se expandiu por vários estados, devido a suas vantagens, tais como: o modelo disponível gratuitamente na internet, plataforma amigável com usuário, pequena quantidade de dados requeridos pelo modelo e rápido processamento. No entanto, embora estes aspectos sejam positivos, há que atentar para a complexidade do fenômeno. Pois diante dos fatores topográficos, geotécnicos e hidrológicos envolvidos, os bons resultados do modelo estão associados à quantidade e qualidade destas informações que na maioria das vezes são de difícil obtenção. Isso porque, necessitam de tempo *in loco* e recursos financeiros muitas vezes não disponíveis.

Assim sendo, o principal objetivo deste estudo foi verificar, sob a hipótese de diferentes contextos de caracterização das unidades geotécnicas, a influência no cálculo de estabilidade de encosta com o modelo SHALSTAB. Para isso, foram propostos 14 cenários para bacia do arroio Jaguar. Estes cenários foram embasados nos parâmetros de solos, retirados de Michel (2015), de vinte pontos distribuídos pelas cinco unidades geotécnicas da bacia. O desempenho do modelo foi avaliado a partir do *IA* e *IE* propostos por Sorbino *et al.* (2010). Além deste método de avaliação, adotou-se o método proposto por Dietrich *et al.* (2001) que estabelece desempenho satisfatório do modelo quando as cicatrizes de escorregamentos são enquadrados em menor área classificada como instável na bacia. Foram geradas curvas de áreas cumulativas na bacia e nas cicatrizes de escorregamentos, em cada categoria. Ademais, foi proposta para esta dissertação uma equação que calcula área existente entre essas curvas.

Por intermédio de tais índices analisados sob diferentes limiares de instabilidade, foi possível observar que a quantidade de pontos amostrados na caracterização das unidades geotécnicas é proporcional no alcance de resultados mais coerentes com a realidade local. Embora ainda estes resultados sejam insuficientes para uma conclusão definitiva, pode-se dizer que além da variabilidade espacial dos pontos de amostrados,

há que atentar para quantidade. Caso contrário há forte possibilidade das classes de instabilidade ser subestimadas ou superestimadas, podendo repercutir desta forma em resultados equivocados, acabando por comprometer vidas além de recursos financeiros.

Recomenda-se para trabalhos futuros aplicação de outros índices de avaliação de desempenhos, como o índice de posicionamento global, índice de exatidão global e índice Kappa, entre outros. Por fim, o empenho das autoridades públicas no mapeamento detalhado de unidades geotécnicas e no registro de cicatrizes de escorregamentos contribuiriam imensamente para o avanço na pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, G. F.; CARVAJAL, H. E. M.; SOUZA, N. M. Avaliação determinística e probabilística da susceptibilidade a ocorrência de deslizamentos pela aplicação do modelo SHALSTAB. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa-PB: INPE, 8p. 2015.
- BEGUERÍA, S. Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. **Natural Hazards**, 37(3): 315-329, 2006.
- BENESSIUTI, M. F. **Estudo dos mecanismos de instabilidade em solos residuais de biotita-gnaiss da bacia do Ribeirão Guaratinguetá**. 2011,128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - área de concentração geotecnia ambiental, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Bauru - São Paulo, 2011.
- BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/ Un modèle à base physique de zone d’aple variable de l’hydrologie du bassin versant, *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, v. 24, n.1, p.43-69, 1979.
- BORGA, M.; FONTANA, G. D.; GREGORETTI, C.; MARCHI, L. (2002) Assessment of shallow landsliding by using a physically based model of hillslope stability. **Hydrological Processes**, 16(14), pp. 2833-2851.
- CABALLERO, M. **Evolución Histórica de los Mapas Geotécnicos**. In: BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO, Espanha, 1973.
- CARRARA, A.; CROSTA G.; FRATTINI, P. Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine environment, **Geomorphology**, 94(3-4), 2008.
- CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J., **Hillslope Form and Process**, Cambridge, University Press, 1972, 416p.

- CARVALHO JUNIOR, O. A.; BLOISE, G. L. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M.; GUIMARAES, R. F. Previsão de escorregamentos em rodovias a partir do uso do modelo SHALSTAB. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 9, **Anais**, São Paulo, p.3011-3024, 2005.
- CHUNG, C.F.; FABRI, A.G. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping, **Natural Hazards**, 30(3): 451-472, 2003.
- COROMINAS, J.; MAVROULI, O. **Recommended procedures for validating landslide hazard and risk models on maps**. SafeLand: Living with Landslide Risk in Europe: Assessment, Effects of Global Change, and Risk Management Strategies, Norwegian Geotechnical Institute – NGI (eds.), 7th Framework Programme, Work Area 2: Quantitative risk assessment, Oslo, Norway 162 p. Disponível em: <https://www.ngi.no/download/file/5994>. Acessado em dezembro de 2016.
- COULOMB, C.A. (1776) “**Essai sur une application des regles de maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs a l’architecture.**” Memoires de mathematique et de physique, Presentes a l’Academie Royale des Sciences, Paris 7, pp. 343-382.
- CPRM – Serviço Geológico Brasileiro, **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Igrejinha – RS**. Brasília, 2015, Escala: 1:40.000.
- DAVISON DIAS, R. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais**. In: Revista do Instituto Geológico, São Paulo, SP, 1995, p.51-55.
- DERMATINO, N. M. **Aplicação do Modelo SHALSTAB no Mapeamento de Deslizamentos Rasos na Sub-bacia do Rio Comprido – Joinville/SC**. 88p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DIETRICH, W. E.; BELLUGI D.; REAL DE ASUA R. **Validation of the shallow landslide model, SHALSTAB, for forest management.** In: M.S. Wigmosta, and S.J. Burges, editors, Land Use and Watersheds: Human influence on hydrology and geomorphology in urban and forest areas, Amer. Geoph. Union, Water Science and Application 2, 2001, p.195-227.

DIETRICH, W. E.; REISS, R.; HSU, M. L.; MONTGOMERY, D. R. A. A validation study of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in forested lands of Northern California. **Stillwater Ecosystem, Watershad and Riverine Sciences**, Berkeley, 1998, p.59.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: A digital terrain model for mapping shallow landslide potential**, NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), Technical Report, 1998, 29p.

DIETRICH, W. E.; REISS, R.; HSU, M.; MONTGOMERY, D. R. **A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data.** Hydrological Processes, v. 9, 1995, p. 383-400.

DOURADO, F.; ROIG, H. Mapas de susceptibilidade a escorregamentos rasos, usando os modelos SHALSTAB e SINMAP, da bacia do rio Paquequer -Teresópolis –RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, Rio de Janeiro, v.04, n.1, p.56-66, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Ministério de Agricultura e Abastecimento, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília (DF): Serviço de Produção de Informação (SPI), p.411, 1999.

FARIA, R. L.; OLIVEIRA, D. C. G.; ZAIDAN, R. T. Zoneamento de áreas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos na bacia do rio Paraibuna – MG/RJ. **Revista Principia**, Juiz de Fora, v. 15, p. 57-64, 2011.

- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n.1, p. 51-71, 2001.
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas, Aplicações na Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, p.139.
- FLORES, C. A.; PÖTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; HASENACK H. & WEBER, E. **Levantamento semidetalhado de solos: Região da Serra Gaúcha - Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS/Embrapa Clima Temperado, 2007.
- GAO, J. Identification of topographic settings Nelson County, Virginia, U.S.A. In. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 18, p. 579-591, 1993.
- GARCIA, R. A. C. **Metodologias de Avaliação de Perigosidade e Risco Associado a Movimentos de Vertente: Aplicação na Bacia da Ribeira de Alenquer**. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Universidade de Lisboa, Lisboa, PT 437p., 2012.
- GERENTE, J.; LUIZ, E. L.; SANTO, M. A. D. Utilização do SHALSTAB como ferramenta para o diagnóstico preliminar da suscetibilidade a deslizamentos rasos no baixo vale do rio Luís Alves – SC. In. **Revista Ambiente** Guarapuava (PR) v.10 Suplemento 1 p. 333 – 350, 2014.
- GOETZ, J. N.; Guthrie, R. H.; Brenning, A. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. **Geomorphology** 129: 376-386, 2011.
- GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. e FERNANDES, N. F. Análise de um modelo de previsão de deslizamentos

(SHALSTAB) em diferentes escalas cartográficas. **Revista Solos e Rochas - ABGE/ABMS**, v.28, n.1, Janeiro-Abril, p.85-97, 2005.

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; FERNANDES, N. F.; AMARAL JÚNIOR, E. V. Combining spatial models for shallow landslides and debris-flows prediction. **Remote Sensing**, v. 13, n. 5, p. 2219-2237, 2013.

GRISON, F.; KOBAYAMA, M.; Teoria e aplicação da geometria hidráulica: Revisão, **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 12, n. 2, p. 25-38, 2011.

GUIMARÃES, R. F. **A modelagem matemática na avaliação de áreas de risco a deslizamentos: o exemplo das bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ)**. 150p. Tese (Doutorado em Geologia) – Depto. de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. Movimento de Massa, In. FLORENZANO, T. G. (org.). Geomorfologia: **Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de texto, 2008, cap.6.

GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S.N.; FERNANDES, N.F. Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. In. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 39, n. 1, p. 190-198, 2009.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v. 69, n. 1, p. 99-108, 2003.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N.F. Aplicação do Modelo SHALSTAB para a Determinação de Áreas de Risco a Escorregamentos Rasos em Regiões Tropicais. In: **9 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 1999, São Pedro SP, Anais do 9 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1999a.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R. ; GREENBERG, H. ; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. Application of a Model for the Topographic Control on Shallow Landslides to Catchments Near Rio de Janeiro. In: **Annual Conference of the International Association of Mathematical Geology**, 1999. Trondheim, Proceedings of 5 th Annual conference of the International association for mathematical geology, 1999b, v. 1, p. 349-354.

GUIMARÃES, R. F.; RAMOS, V. M.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Application of the SHALSTAB model for mapping susceptible landslide areas in mine zone. (Quadrila/spl acute/tero Ferri/spl acute/fero in southeast Brazil ), Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003, IGARSS 03, **Proceeding**, 2003 IEEE International, 2003b. 21-25 July 2003b. p. 2444-2446 vol. 4.

GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P.; ARDIZZONE, F.; CARDINALI, M.; GALLI, M. Estimating the quality of landslide susceptibility models. **Geomorphology**, 81: 166-184, 2006.

HAMMOND, C.; et al. (1992) **Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0**. General Technical Report INT-285, USDA Forest Service Intermountain Research Station.

HANDY, R. L.; FOX, N. S. **A Soil Borehole Direct Shear Test Device**. National Academy of Sciences, Highway Research Board, Highway Research News, n. 27, 1967, p. 41-45.



- HIGASHI, R. R. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2002, 143 p.
- HIGASHI, R. R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental** – Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 485p. 2006.
- HIGASHI, R. A. R et. al. **Mapeamento geotécnico da suscetibilidade a movimento de massa na bacia do Itacorubi**. Relatório final das atividades do Laboratório de Gestão de Riscos de Desastres, Florianópolis: UFSC, 2015, 199p. Anexo 3, 2015.
- IAEG – UNESCO **Engineering Geological Maps**. A Guide to Their Preparation, Paris: The unesc press. 79p. 1976.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2013**, Rio de Janeiro, 2014.
- KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e seus Processos Modificadores**. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, p. 39, 2000.
- LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. Suscetibilidade e Risco a escorregamentos rasos na Bacia do Rio Aricanduva (SP). In. **IX Simpósio Nacional de Geomorfologia, Rio de Janeiro, RJ, 2012**, 5p.
- LUIZ, A. S. **Utilização da modelagem matemática para identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos na Serra das Araras - RJ**, 52p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade de Brasília, 2015.

- MACHADO, W. P. **Análise do comportamento da coesão crítica relacionada à instabilidade de encosta utilizando dados de chuva do sensor TRMM no município de Paraty (RJ)**. 83p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Depto. de Geografia, Universidade de Brasília, 2011.
- MAFRA JR, Celso da Silva. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG**. Florianópolis, 2007, 123 p.
- MAZENGARB, Colin. **The Tasmanian Landslide Hazard Map Series: Methodology**. Mineral Resources Tasmania Tasmanian Geological Survey Record 2005, 43 p.
- MEISINA, C.; SCARABELLI S. A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in colluvial soils. **Geomorphology**, 87, 207-223.
- MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; GOERL, R. F. Análise comparativa entre os modelos SHALSTAB e SINMAP na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais. In. X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Foz do Iguaçu-PR, **Anais**, 2012a, 21p.
- MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; GOERL, R. F. Avaliação do papel da vegetação na estabilidade de encostas através do modelo SHALSTAB modificado. In. IX Simpósio Nacional de Geomorfologia, Rio de Janeiro/ RJ, **Anais**, 2012b, 4p.
- MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; GOERL, R. F. Formulação do fator de segurança considerando a presença de vegetação. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, Anais, 2013.
- MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; GOERL, R. F. Comparative analysis of SHALSTAB and SINMAP for landslide susceptibility mapping in the Cunha River basin, southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, 2014. DOI 10.1007/s11368-014-0886-4

- MICHEL, G. P.; GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M. Critical rainfall to trigger landslides in Cunha River basin, southern Brazil. **Natural Hazards**, v. 75, p. 2369–2384, 2015a.
- MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M.; GOERL, R. F.; MICHEL, R. D. L. Metodologia de mapeamento de escorregamentos e fluxos de detritos. In. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015**, Brasília, Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável, Porto Alegre, Porto Alegre: ABRH, 2015b, p.1-8.
- MICHEL, G. P.; **Estimativa da profundidade do solo e seu efeito na modelagem de escorregamentos**. 164p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically-based model for topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, 1994.
- OLIVEIRA, F. P. **Mapeamento geotécnico preliminar e aplicação do modelo SHALSTAB na análise de escorregamentos da bacia de Santo Antônio de Lisboa – Florianópolis/SC**. 191p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- OLIVEIRA, M. T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG**. 279p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal Viçosa, 2009.
- O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. **Water Resources Research**, v. 22, p. 794-804, 1986.
- PEREIRA, S. S. **Perigosidade a movimentos de vertente na Região Norte de Portugal**. Tese de Doutorado, departamento de geografia, Universidade do Porto, Porto, PT, 370p. 2009.

- RAFAELLI, S. G.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M. A comparison of thematic of erosional intensity to GIS-driven process models in an Andean drainage basin. **Journal of Hydrology**, v. 244, p. 33-42, 2001.
- RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Mapeamento das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no subúrbio ferroviário de Salvador (BA), utilizando os parâmetros físicos diferenciados para cada classe de solo. In. **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Rio de Janeiro, v. especial, p. 1966-1976, 2003.
- RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Aplicação do modelo SHALSTAB, em ambiente Arcview, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região do Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Espaço & Geografia**, Brasília, v.5, n. 1, p. 49-67, 2002.
- REDIVO, A. L.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; Determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BR356 no município de Ouro Preto – MG. In: **Anais V Simpósio Nacional de Geomorfologia, I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia**, Santa Maria – RS: 14p. 2004.
- REGINATO, G. M. P.; MACCARINI, M.; KOBİYAMA, M.; HIGASHI, R. A. R.; GRANDO, A.; CORSEUIL, C. W.; CARAMÉZ, M. L. SHALSTAB application to identify the susceptible areas of shallow landslides in Cunha river watershed, rio dos Cedros city, SC, Brazil. In. **Proceedings of the 4th Conference on Geographic Object- Based Image Analysis**, 2012 - Rio de Janeiro - Brazil, p.108.
- RIFFEL, E. S.; RUIZ, L. F. C.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos a partir de mineração de dados e do modelo SHALSTAB. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, N. 68/9, p. 1805-1818, 2016.

- SANTINI, M.; GRIMALDI, S.; NARDI, F.; PETROSELLI, A.; RULLI, M. C. Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs. **Geomorphology**, v. 113, p. 110-125, 2009.
- SANTOS, V. **Influência da escala no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa com o SHALSTAB na microbacia do Ribeirão do Baú, Ilhota/SC**. 126p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- SBROGLIA, R. M.; HIGASHI, R. A. R.; TOMAZZOLI, E. R.; GUIMARÃES, R. F. Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC, com o uso de modelagem matemática. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro n. 68/2, p. 339-354, 2016.
- SCHENKEL, J. C.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; Mapeamento das áreas de risco de escorregamentos translacionais na bacia do arroio Forromeco – RS. In. **Congresso Internacional de Hidrossedimentologia**, 2015, Porto Alegre. Anais: Porto Alegre, p.1-3, 2015.
- SELBY, M. **Hillslope Materials and Processes**. Oxford University Press, Oxford, 1993. 289p.
- SILVA, CR. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264 p. [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade\\_brasil.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_brasil.pdf). Acesso em: 2017.
- SILVA, D. C. O. **Aplicação do Modelo SHALSTAB na Previsão de Deslizamentos em Petrópolis**. 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

- SILVA, E. L.; GOMES, R. A. T; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia , v. 25, n. 1, p. 119-132, 2013.
- SORBINO, G.; SICA, C.; CASCINI L. Susceptibility analysis of shallow landslides source áreas using physically based models. **Natural Hazards**, n. 53, 2010, p. 313-332.
- SOUZA, A. M. S. **Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos na região da bacia do rio Camboriú**. 117p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015.
- STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment - A user's perspective, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.
- SWETS, J. A. Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. **Science**, 240 (4857):1285-1293, 1988.
- TEIXEIRA, M.; BATEIRA, C.; MARQUES, F.; VIEIRA, B. C. Physically based shallow translational landslide susceptibility analysis in Tibo catchment, NW of Portugal. **Landslides** (Berlin, Print), v. 14, p. 1-20, 2014, DOI: 10,1007/s10346-014-0494-9.
- TERZAGHI, K. **Theoretical Soil Mechanics**. John Wiley and Sons, New York, 1943.
- VAN DEN EECKHAUT, M.; VANWALLECHEM, T.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VERSTRATEN, G.; VANDEKERCKHOVE, L. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). **Geomorphology**, v. 76, n. 3-4, p. 392-410, 2006.
- VANACÔR, R. N.; ROLIM, S. B. A. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na

região nordeste do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 15-28, 2012.

VESTENA, L. R.; KOBIYAMA, M. Potential fragility of the Caeté catchment, municipality of Alfredo Wagner, Santa Catarina State, Brazil, to landslides occurrence. **Revista Acta Scientiarum**, Maringá, v. 36, n. 1, p. 101-109, 2014.

VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. 193p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F.; AUGUSTO FILHO, O.; SANTOS, W. Avaliação da eficiência dos modelos SHALSTAB e TRIGRS na previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra de Cubatão (SP). In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Goiânia/ GO, 1p. 2006.

VIEIRA, B. C. ; FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F. ; GOMES, R. A. T. Análise Qualitativa de Fatores Condicionantes de Escorregamentos Rasos a Partir de um Modelo de Previsão de Áreas de Risco. In: **9 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 1999. São Pedro SP, Anais do 9 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1999.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p.194 – 206, mês, 2016, ISSN 2179 – 0892. Disponível: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/102616>. Acessado em dezembro de 2016.

VIEIRA, B. C.; RAMOS, H. Aplicação do modelo SHALSTAB para mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos rasos em Caraguatatuba, Serra do Mar (SP). **Revista do Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo**, v. 29, p.161-174, 2015.

Z AidAN, R. T.; FERNANDES, N. F. Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos em Encostas Aplicado à Bacia de Drenagem Urbana do Córrego do Independência - Juiz De Fora (Mg). **Revista Brasileira de Geomorfologia** – v.10, n. 2 , p. 57-76, 2009.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987. 657p.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Texto, 190p. 2004.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Proposta de sistemática para mapeamento geotécnico regional em pequenas escalas**. In: 6º Simpósio Regional de Geologia, 1987, Rio Claro/SP, v. 2, p. 431- 436, 1987.

WILDNER, W.; ORLANDI F., V.; GIFFONI, L. E. **Excursão Virtual aos Aparados da Serra, RS/SC: aspectos geológicos e turísticos cânions do Itaimbezinho e Fortaleza**. 2004. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/Aparados/index.htm>>



## APÊNDICES

### Apêndice 1 – Valores dos Parâmetros dos Cenário Propostos

#### Cenário 1

Unidades Geotécnicas	20 Pontos	$\phi$ (°) Média	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) Média	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) Média
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07, 13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01, 11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	04, 05, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	6908	1711

#### Cenário 2

Unidades Geotécnicas	5 Pontos	$\phi$ (°)	$c$ (N/m <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Geotecnia 1	06	35	5950	1690
Geotecnia 2	14	33	1400	1760
Geotecnia 3	03	25	11000	1730
Geotecnia 4	18	38	8000	1710
Geotecnia 5	20	33	4500	1711

#### Cenário 3

Unidades Geotécnicas	20 Pontos	$\phi$ (°)	$c$ (N/m <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Geotecnia 1	Média	30	6903	1721
Geotecnia 2				
Geotecnia 3				
Geotecnia 4				
Geotecnia 5				

#### Cenário 4

Unidades Geotécnicas	20 Pontos	$\phi$ (°)	$c$ (N/m <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
	15	33	3500	1650
Geotecnia 2	02	32	16000	1800
	07	30	5130	1820
	13	26	6080	1670
	14	33	1400	1750
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
	19	29	8710	1630
Geotecnia 4	01	40	7800	1820
	11	39	2310	1630
	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04	32	7220	1650
	05	25	5000	1680
	08	10	6360	1760
	09	32	12800	1810
	10	30	7210	1680
	12	28	4390	1780
	16	21	2630	1770
	17	24	12060	1700
20	33	4500	1570	

**Cenário 5**

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>2 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690

**Cenário 6**

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>4 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 2	02, 07, 13 e 14	30	7153	1760

**Cenário 7**

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>2 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730

**Cenário 8**

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>3 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 4	01, 11 e 18	39	6037	1710

**Cenário 9**

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>9 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 5	04, 05, 08, 09, 10, 12, 16, 17 e 20	26	6908	1711

**Cenário 10**

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>13 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 2 e 5	02, 04, 05, 07, 08, 09, 10, 12, 13, 14, 16, 17 e 20	28	6983	1726

**Cenário 11**

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>Valores</b>	$\phi$ (°)	$c$ (N/m <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Geotecnia 1 Geotecnia 2 Geotecnia 3 Geotecnia 4 Geotecnia 5	<i>Default</i>	45	2000	1600

<b>Cenário 12</b>				
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>19 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07,13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	04,05,09,10,12,16,17 e 20	28	6976	1705
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>18 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07,13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	04,05,09,10,12,16,17	28	7330	7330
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>17 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07,13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05,09,10,12,16,17	27	7348	1737
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>16 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07,13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05,10,12,16,17	26	6258	1722
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>15 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07,13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05,10,12 e 17	27	7165	1710
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>14 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07 e 14	32	7510	1790
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05,10,12 e 17	27	7165	1710
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>13 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07 e 14	32	7510	1790
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05,12 e 17	26	7150	1720
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>12 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02 e 07	31	10565	1810
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05,12 e 17	26	7150	1720

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>11 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02 e 07	31	10565	1810
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05 e 12	27	4695	1730
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>10 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02 e 07	31	10565	1810
Geotecnia 3	19	29	8710	1630
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05 e 12	27	4695	1730
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>09 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02 e 07	31	10565	1810
Geotecnia 3	19	29	8710	1630
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05	25	5000	1680
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>08 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	07	30	5130	1820
Geotecnia 3	19	29	8710	1630
Geotecnia 4	01,11 e 18	39	6037	1710
Geotecnia 5	05	25	5000	1680
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>07 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	07	30	5130	1820
Geotecnia 3	19	29	8710	1630
Geotecnia 4	01 e 11	40	5055	1725
Geotecnia 5	05	25	5000	1680
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>06 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	07	30	5130	1820
Geotecnia 3	19	29	8710	1630
Geotecnia 4	11	39	2310	1630
Geotecnia 5	05	25	5000	1680
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>05 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	15	33	3500	1650
Geotecnia 2	07	30	5130	1820
Geotecnia 3	19	29	8710	1630
Geotecnia 4	11	39	2310	1630
Geotecnia 5	05	25	5000	1680

<b>Cenário 13</b>				
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>19 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02, 07,13 e 14	30	7153	1760
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01 e 18	39	7900	1750
Geotecnia 5	04,05, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	6908	1711
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>18 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06 e 15	34	4725	1690
Geotecnia 2	02,13 e 14	30	7827	1740
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01 e 18	39	7900	1750
Geotecnia 5	04,05, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	6908	1711
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>17 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	02,13 e 14	30	7827	1740
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	01 e 18	39	7900	1750
Geotecnia 5	04,05, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	6908	1711
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>16 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	02,13 e 14	30	7827	1740
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04,05, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	6908	1711
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>15 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	02,13 e 14	30	7827	1740
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	7146	1715
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>14 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13 e 14	30	3740	1710
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09,10,12,16, 17 e 20	26	7146	1715
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>13 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13 e 14	30	3740	1710
Geotecnia 3	03 e 19	27	9855	1730
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09,10,16, 17 e 20	26	7540	1706
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>12 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13 e 14	30	3740	1710
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09,10,16, 17 e 20	26	7540	1706

<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>11 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13 e 14	30	3740	1710
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09,10,16 e 20	27	6787	1707
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>10 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13	26	6080	1670
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09,10,16 e 20	27	6787	1707
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>09 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13	26	6080	1670
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09,16 e 20	26	6702	1712
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>08 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13	26	6080	1670
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08, 09 e 20	27	7720	1698
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>07 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13	26	6080	1670
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	04, 08 e 20	25	6027	1660
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>06 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13	26	6080	1670
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	08 e 20	22	5430	1665
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>05 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1	06	35	5950	1730
Geotecnia 2	13	26	6080	1670
Geotecnia 3	03	25	11000	1830
Geotecnia 4	18	38	8000	1680
Geotecnia 5	08	10	6360	1760
<b>Cenário 14</b>				
<b>Unidades Geotécnicas</b>	<b>20 Pontos</b>	$\phi$ (°) <b>Média</b>	$c$ (N/m <sup>2</sup> ) <b>Média</b>	$\rho_s$ (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>Média</b>
Geotecnia 1				
Geotecnia 2				
Geotecnia 3				
Geotecnia 4				
Geotecnia 5				
		Interpolação IDW		

**Apêndice 2** – Resultados dos desempenhos do SHALSTAB de acordo com índices propostos por Sorbino *et al.* (2010) e limiar de instabilidade  $\log q/T = -2,5$

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
1	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
1	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
1	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
1	1,5	11031,33	18949,04	501956,958	4947849,03	58,216	10,14
1	2	16444,64	18949,04	501956,95	4947818,60	86,784	10,15
1	3	18426,53	18949,04	3614033,99	4947893,20	97,243	73,04
2	0,5	8976,43	18949,04	528148,17	4946909,83	47,371	10,68
2	0,75	10091,38	18949,04	942982,89	4945666,16	53,255	19,07
2	1	12850,99	18949,04	1193703,90	4945424,15	67,819	24,14
2	1,5	17978,28	18949,04	2456761,17	4944868,53	94,877	49,68
2	2	18458,97	18949,04	3276845,98	4945974,45	97,414	66,25
2	3	18536,13	18949,04	3759854,81	4945946,71	97,821	76,02
3	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
3	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
3	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
3	1,5	9380,92	18949,04	289233,0194	4947823,31	49,506	5,85
3	2	16362,80	18949,04	1480038,864	4947867,45	86,352	29,91
3	3	18218,01	18949,04	3224247,61	4947855,38	96,142	65,16
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	132,17	18949,04	1053,79	4947850,77	0,6975	0,02
4	1,5	9013,07	18949,04	276190,33	4947823,81	47,565	5,58
4	2	14511,26	18949,04	1094676,02	4947834,49	76,58	22,12
4	3	17952,72	18949,04	2645674,00	4947871,63	94,742	53,47
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	5321,59	18949,04	108707,00	4947813,51	28,084	2,20
4	1	13673,61	18949,04	888352,21	4947826,33	72,16	17,95
4	1,5	17985,51	18949,04	2715394,11	4947869,00	94,915	54,88
4	2	18242,50	18949,04	3216439,42	4947849,79	96,271	65,01
4	3	18422,27	18949,04	3714956,92	4947838,83	97,22	75,08
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	2	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	3	3008,23	18949,04	33771,30	4947806,15	15,875	0,68
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	129,02	4947850,77	0	0,00
4	1	5421,44	18949,04	119004,59	4947813,51	28,611	2,41
4	1,5	16893,13	18949,04	1495433,29	4947881,29	89,15	30,22
4	2	18134,81	18949,04	2966616,41	4947855,96	95,703	59,96
4	3	18547,98	18949,04	3736176,90	4947846,10	97,883	75,51
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	1752,05	18949,04	11341,57	4947826,69	9,2461	0,23
4	1,5	16477,74	18949,04	1374599,19	4947857,99	86,958	27,78
4	2	18219,71	18949,04	3208933,80	4947859,88	96,151	64,85
4	3	18821,69	18949,04	4198269,42	4947866,37	99,328	84,85
4	0,5	16814,14	18949,04	1765752,98	4947879,64	88,733	35,69
4	0,75	18160,97	18949,04	3060609,63	4947826,42	95,841	61,86
4	1	18308,48	18949,04	3455607,40	4947833,01	96,62	69,84
4	1,5	18568,41	18949,04	3834502,17	4947871,80	97,991	77,50
4	2	18686,74	18949,04	4005562,31	4947884,40	98,616	80,96

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
4	3	18775,79	18949,04	4162516,81	4947895,52	99,086	84,13
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	2	8243,52	18949,04	222649,19	4947850,73	43,504	4,50
4	3	18103,87	18949,04	2532912,12	4947849,73	95,54	51,19
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	1408,31	18949,04	8840,44	4947850,77	7,4321	0,18
4	2	11854,33	18949,04	515012,29	4947792,86	62,559	10,41
4	3	18066,78	18949,04	2816192,43	4947859,71	95,344	56,92
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	412,74	18949,04	2597,41	4947850,77	2,1782	0,05
4	2	4260,28	18949,04	73276,37	4947803,21	22,483	1,48
4	3	11995,66	18949,04	546024,13	4947829,91	63,305	11,04
4	0,5	2256,78	18949,04	19592,13	4947800,79	11,91	0,40
4	0,75	11352,39	18949,04	532576,59	4947837,83	59,91	10,76
4	1	14259,64	18949,04	1355432,22	4947882,78	75,253	27,39
4	1,5	16923,14	18949,04	2501145,41	4947871,83	89,309	50,55
4	2	17961,78	18949,04	2761232,41	4947813,43	94,79	55,81
4	3	18146,67	18949,04	3034378,76	4947830,56	95,766	61,33
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	434,09	18949,04	2673,30	4947850,77	2,2908	0,05
4	2	5598,41	18949,04	122916,94	4947833,59	29,545	2,48
4	3	13605,58	18949,04	986919,53	4947849,60	71,801	19,95
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	5103,93	18949,04	99708,13	4947812,81	26,935	2,02
4	2	13891,11	18949,04	913158,94	4947849,34	73,308	18,46
4	3	18053,73	18949,04	2804242,0	4947848,46	95,275	56,68
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	108,13	18949,04	937,75	4947850,77	0,5706	0,02
4	1	11105,62	18949,04	390616,01	4947803,91	58,608	7,89
4	1,5	18181,93	18949,04	3078991,0	4947887,66	95,952	62,23
4	2	18719,65	18949,04	3965753,81	4947899,97	98,789	80,15
4	3	18944,91	18949,04	4584454,77	4947869,30	99,978	92,66
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	17714,12	18949,04	1159047,16	4947835,92	93,483	23,43
4	1,5	18949,04	18949,04	4920309,43	4947934,47	100	99,44
4	2	18949,04	18949,04	4946824,28	4947005,36	100	100,00
4	3	18949,04	18949,04	4947510,03	4947870,76	100	99,99
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	2	72,44	18949,04	748,93	4947850,77	0,3823	0,02
4	3	10333,63	18949,04	340529,02	4947817,35	54,534	6,88
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00



Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	7144,50	18949,04	182020,41	4947842,22	37,704	3,68
4	2	15493,35	18949,04	1259652,12	4947871,10	81,763	25,46
4	3	18185,82	18949,04	3130493,94	4947848,64	95,972	63,27
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	2684,60	18949,04	26540,98	4947804,82	14,167	0,54
4	1	13723,24	18949,04	671451,17	4947842,33	72,422	13,57
4	1,5	18143,53	18949,04	2991988,93	4947868,59	95,749	60,47
4	2	18506,27	18949,04	3702942,91	4947843,38	97,663	74,84
4	3	18865,37	18949,04	4289062,88	4947875,49	99,558	86,68
4	0,5	15017,66	18949,04	733117,34	4947847,85	79,253	14,82
4	0,75	18685,91	18949,04	3785236,88	4947851,25	98,611	76,50
4	1	18944,19	18949,04	4560747,17	4947854,19	99,974	92,18
4	1,5	18949,04	18949,04	4904034,90	4947946,46	100	99,11
4	2	18949,04	18949,04	4943475,46	4947938,39	100	99,91
4	3	18949,04	18949,04	4947451,93	4947910,74	100	99,99
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	2	3143,67	18949,04	35850,91	4947806,15	16,59	0,72
4	3	17941,51	18949,04	1962695,47	4947870,67	94,683	39,67
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
4	0,75	0	18949,04	202,69	4947850,77	0	0,00
4	1	6364,29	18949,04	152153,28	4947836,17	33,586	3,08
4	1,5	15718,53	18949,04	1720797,96	4947895,20	82,952	34,78
4	2	18037,35	18949,04	2821657,06	4947824,64	95,189	57,03
4	3	18317,13	18949,04	3482703,88	4947816,49	96,665	70,39
5	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
5	0,75	0	18949,04	65,39	4947850,77	0	0,00
5	1	4430,14	18949,04	74829,84	4947803,21	23,379	1,51
5	1,5	14499,91	18949,04	1112394,81	4947848,93	76,521	22,48
5	2	17755,33	18949,04	2395603,74	4947874,35	93,7	48,42
5	3	18208,40	18949,04	3167621,61	4947841,27	96,091	64,02
6	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
6	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
6	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
6	1,5	8078,74	18949,04	222420,47	4947844,75	42,634	4,50
6	2	15977,93	18949,04	1283507,79	4947872,92	84,321	25,94
6	3	18195,45	18949,04	3140118,55	4947865,064	96,023	63,46
7	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
7	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
7	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
7	1,5	173,78	18949,04	1518,40	4947850,77	0,9171	0,03
7	2	10058,73	18949,04	319606,01	4947808,00	53,083	6,46
7	3	18098,07	18949,04	2651605,33	4947855,61	95,509	53,59
8	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
8	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
8	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
8	1,5	4619,93	18949,04	85264,40	4947809,46	24,381	1,72
8	2	11187,83	18949,04	492229,42	4947823,38	59,042	9,95
8	3	15186,95	18949,04	1531948,72	4947893,48	80,146	30,96
9	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
9	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
9	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
9	1,5	13725,54	18949,04	671367,89	4947842,33	72,434	13,57
9	2	18082,54	18949,04	2601276,79	4947842,85	95,427	52,57

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
9	3	18719,75	18949,04	3974753,85	4947891,63	98,79	80,33
10	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
10	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
10	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
10	1,5	11246,47	18949,04	415259,64	4947790,18	59,351	8,39
10	2	17791,63	18949,04	1919964,69	4947878,47	93,892	38,80
10	3	18413,22	18949,04	3576260,28	4947872,15	97,172	72,28
11	0,5	1997,63	18949,04	16254,45	4947793,76	10,542	0,33
11	0,75	8795,18	18949,04	284372,00	4947821,96	46,415	5,75
11	1	11531,46	18949,04	744950,66	4947845,02	60,855	15,06
11	1,5	13714,95	18949,04	1478982,055	4947906,41	72,378	29,89
11	2	14650,63	18949,04	1976075,416	4947875,50	77,316	39,94
11	3	15598,39	18949,04	2348909,64	4947889,82	82,318	47,47
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1,5	9735,43	18949,04	331030,31	4947814,63	51,377	6,69
12	2	16404,99	18949,04	1711038,966	4947864,68	86,574	34,58
12	3	18244,05	18949,04	3387723,851	4947881,28	96,28	68,47
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1,5	8630,39	18949,04	240169,79	4947831,42	45,545	4,85
12	2	16254,08	18949,04	1484033,019	4947844,77	85,778	29,99
12	3	18213,58	18949,04	3320901,823	4947889,32	96,119	67,12
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1,5	15676,08	18949,04	668479,19	4947816,99	82,728	13,51
12	2	16403,19	18949,04	1648232,076	4947854,86	86,565	33,31
12	3	18284,19	18949,04	3429676,669	4947870,13	96,491	69,32
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1	254,19	18949,04	3250,10	4947852,33	1,3414	0,07
12	1,5	12162,53	18949,04	888451,74	4947832,44	64,185	17,96
12	2	16454,64	18949,04	2519015,024	4947835,97	86,836	50,91
12	3	18447,37	18949,04	3714279,478	4947883,62	97,353	75,07
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1,5	9720,84	18949,04	328639,83	4947817,99	51,3	6,64
12	2	16418,67	18949,04	1769870,527	4947859,72	86,646	35,77
12	3	18300,29	18949,04	3460738,987	4947870,64	96,576	69,94
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1,5	8345,30	18949,04	278854,59	4947828,51	44,041	5,64
12	2	15169,14	18949,04	1606069,131	4947833,72	80,052	32,46
12	3	18134,83	18949,04	3246193,035	4947862,15	95,703	65,61
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1,5	8868,49	18949,04	352716,53	4947849,89	46,802	7,13
12	2	15184,84	18949,04	1817114,80	4947795,52	80,135	36,73
12	3	18249,14	18949,04	3359159,478	4947865,53	96,306	67,89
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	1,5	5708,19	18949,04	319854,67	4947864,02	30,124	6,46
12	2	10767,21	18949,04	1606807,928	4947817,47	56,822	32,48
12	3	16358,69	18949,04	2951171,22	4947814,8	86,33	59,65
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	84,16	18949,04	2499,82	4947850,77	0,4441	0,05
12	1	5544,02	18949,04	296047,30	4947867,25	29,258	5,98
12	1,5	8067,25	18949,04	1990666,71	4947843,87	42,573	40,23
12	2	10938,25	18949,04	2501356,039	4947865,10	57,725	50,55
12	3	16406,45	18949,04	3203736,22	4947829,749	86,582	64,75
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	84,16	18949,04	2499,82	4947850,77	0,4441	0,05
12	1	5544,02	18949,04	296046,70	4947867,25	29,258	5,98
12	1,5	8067,25	18949,04	1990897,457	4947843,87	42,573	40,24
12	2	10938,25	18949,04	2505768,273	4947865,10	57,725	50,64
12	3	16406,45	18949,04	3204369,53	4947829,75	86,582	64,76
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	384,66	4947850,77	0	0,01
12	1	5113,97	18949,04	232357,21	4947839,97	26,988	4,70
12	1,5	8071,69	18949,04	2065784,50	4947861,80	42,597	41,75
12	2	11029,68	18949,04	2629036,23	4947868,52	58,207	53,13
12	3	16408,31	18949,04	3296072,53	4947841,90	86,592	66,62
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	513,69	4947850,77	0	0,01
12	1	8722,97	18949,04	281842,46	4947826,38	46,034	5,70
12	1,5	17174,54	18949,04	2536671,39	4947867,58	90,635	51,27
12	2	18372,28	18949,04	3520921,58	4947894,87	96,956	71,16
12	3	18688,21	18949,04	4161294,61	4947867,98	98,624	84,10
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0,00	18949,04	513,69	4947850,77	0	0,01
12	1	8722,97	18949,04	281842,46	4947826,38	46,034	5,70
12	1,5	17174,54	18949,04	2537068,06	4947867,58	90,635	51,28
12	2	18372,28	18949,04	3521158,02	4947894,87	96,956	71,16
12	3	18688,21	18949,04	4161675,85	4947867,98	98,624	84,11
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	1532,56	4947850,77	0	0,03
12	1	8722,97	18949,04	284401,47	4947826,38	46,034	5,75
12	1,5	17174,54	18949,04	2541445,44	4947867,58	90,635	51,36
12	2	18372,28	18949,04	3525160,73	4947894,87	96,956	71,25
12	3	18688,21	18949,04	4163675,12	4947867,98	98,624	84,15
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
12	0,75	0	18949,04	1532,56	4947852,33	0	0,03
12	1	8722,97	18949,04	284412,39	4947826,38	46,034	5,75
12	1,5	17174,54	18949,04	2542418,55	4947867,56	90,635	51,38
12	2	18372,28	18949,04	3525603,40	4947894,87	96,956	71,25
12	3	18688,21	18949,04	4164130,05	4947867,97	98,624	84,16
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1,5	11031,33	18949,04	501651,40	4947849,032	58,216	10,14
13	2	16444,64	18949,04	2164136,85	4947818,58	86,784	43,74
13	3	18426,53	18949,04	3612293,34	4947893,20	97,243	73,01
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1,5	9611,77	18949,04	449493,07	4947853,75	50,724	9,08
13	2	15577,45	18949,04	2041577,90	4947797,43	82,207	41,26

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
13	3	18380,88	18949,04	3529521,33	4947883,33	97,002	71,33
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1,5	9611,77	18949,04	449469,31	4947853,75	50,724	9,08
13	2	15577,45	18949,04	2040863,78	4947797,45	82,207	41,25
13	3	18380,88	18949,04	3529326,25	4947883,33	97,002	71,33
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1,5	9611,77	18949,04	449469,31	4947853,75	50,724	9,08
13	2	15577,45	18949,04	2040981,34	4947797,45	82,207	41,25
13	3	18380,88	18949,04	3529778,10	4947883,33	97,002	71,34
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1,5	8824,47	18949,04	349040,37	4947849,89	46,569	7,05
13	2	15570,11	18949,04	1859539,42	4947798,61	82,168	37,58
13	3	18367,49	18949,04	3489641,63	4947861,04	96,931	70,53
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	3645,49721	18949,04	47785,79	4947829,88	19,238	0,97
13	1	7829,94992	18949,04	331565,09	4947808,13	41,321	6,70
13	1,5	15801,39	18949,04	1258801,214	4947860,10	83,389	25,44
13	2	18338,23	18949,04	2758837,63	4947821,59	96,777	55,76
13	3	18749,53	18949,04	3980642,46	4947876,54	98,947	80,45
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	3645,50	18949,04	47785,79	4947829,88	19,238	0,97
13	1	7829,95	18949,04	331565,09	4947808,13	41,321	6,70
13	1,5	14651,45	18949,04	1124094,04	4947837,50	77,32	22,72
13	2	18317,93	18949,04	2473291,04	4947862,303	96,669	49,99
13	3	18708,11	18949,04	3906753,095	4947897,761	98,729	78,96
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	9006,21	18949,04	47785,79	4947829,88	47,529	0,97
13	1	7829,95	18949,04	331565,0949	4947808,13	41,321	6,70
13	1,5	14651,45	18949,04	1124098,27	4947837,50	77,32	22,72
13	2	18317,93	18949,04	2469892,34	4947862,30	96,669	49,92
13	3	18708,11	18949,04	3906494,403	4947897,776	98,729	78,95
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	3645,50	18949,04	47785,79	4947829,879	19,238	0,97
13	1	7829,95	18949,04	331511,93	4947808,13	41,321	6,70
13	1,5	16381,47	18949,04	1329832,00	4947875,22	86,45	26,88
13	2	18338,23	18949,04	2815399,84	4947835,146	96,777	56,90
13	3	18710,93	18949,04	3937780,66	4947889,57	98,743	79,59
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	1400,23	18949,04	5844,50	4947856,56	7,3894	0,12
13	1,5	15073,41	18949,04	821299,63	4947860,30	79,547	16,60
13	2	18186,20	18949,04	2651212,081	4947864,365	95,974	53,58
13	3	18748,01	18949,04	3968531,454	4947878,696	98,939	80,21
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	1400,23	18949,04	5999,94	4947856,56	7,3894	0,12
13	1,5	15728,90	18949,04	955858,54	4947859,58	83,006	19,32
13	2	18211,02	18949,04	2934648,34	4947872,48	96,105	59,31
13	3	18808,48	18949,04	4085145,78	4947882,29	99,258	82,56
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00

<b>Cenário</b>	<b>Z (m)</b>	<b>Adentro (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ainstável (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Afora (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Aestável (m<sup>2</sup>)</b>	<b>IA (%)</b>	<b>IE (%)</b>
13	1	1400,23	18949,04	5844,50	4947856,56	7,3894	0,12
13	1,5	11922,38	18949,04	536568,15	4947857,55	62,918	10,84
13	2	17930,56194	18949,04	2019266,39	4947877,48	94,625	40,81
13	3	18606,32	18949,04	3791528,16	4947866,15	98,191	76,63
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	1908,63	18949,04	14524,52	4947803,93	10,072	0,29
13	1,5	16717,76	18949,04	1528527,21	4947855,63	88,225	30,89
13	2	18231,20	18949,04	3292805,397	4947867,67	96,212	66,55
13	3	18827,45	18949,04	4256263,51	4947876,04	99,358	86,02
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	5641,09	18949,04	175959,06	4947859,60	29,77	3,56
13	1,5	16873,57	18949,04	2626568,14	4947855,47	89,047	53,08
13	2	18480,37	18949,04	3774164,63	4947896,70	97,527	76,28
13	3	18827,54	18949,04	4454381,61	4947893,56	99,359	90,03
13	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
13	1	9306,45	18949,04	656478,2837	4947853,52	49,113	13,27
13	1,5	17122,37	18949,04	3458819,37	4947894,88	90,36	69,90
13	2	18478,64	18949,04	4060622,31	4947876,39	97,518	82,07
13	3	18827,54	18949,04	4499239,86	4947869,11	99,359	90,93
14	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
14	0,75	0	18949,04	3111,90963	4947850,96	0	0,06
14	1	5504,42	18949,04	173534,37	4947860,61	29,049	3,51
14	1,5	13448,39	18949,04	827059,76	4947862,02	70,971	16,72
14	2	16196,73	18949,04	1222562,20	4947820,54	85,475	24,71
14	3	17537,10	18949,04	1653744,81	4947872,16	92,549	33,42

**Apêndice 3** – Resultados dos desempenhos do SHALSTAB de acordo com índices propostos por Sorbino *et al.* (2010) e limiar de instabilidade  $\log q/T = -2,8$

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
1	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
1	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
1	1	0	18949,04	0	4947916,35	0	0,00
1	1,5	3616,42	18949,04	168951,60	4947849,03	19,08	3,41
1	2	11204,34	18949,04	938841,10	4947818,60	59,13	18,97
1	3	17065,33	18949,04	2195564,33	4947893,20	90,06	44,37
2	0,5	5276,17	18949,04	181595,08	4946909,83	27,84	3,67
2	0,75	8208,34	18949,04	412645,31	4945666,16	43,32	8,34
2	1	10500,72	18949,04	588471,25	4945424,15	55,42	11,90
2	1,5	13286,33	18949,04	1177643,29	4944868,53	70,12	23,82
2	2	15441,66	18949,04	1686159,49	4945974,45	81,49	34,09
2	3	17760,65	18949,04	2210929,30	4945946,71	93,73	44,70
3	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
3	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
3	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
3	1,5	2826,19	18949,04	89041,51	4947823,31	14,91	1,80
3	2	8712,19	18949,04	546927,15	4947867,45	45,98	11,05
3	3	16789,19	18949,04	1609641,99	4947855,38	88,60	32,53
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0,00	18949,04	297,21	4947850,77	0,00	0,01
4	1,5	2541,32	18949,04	82178,88	4947823,81	13,41	1,66
4	2	6198,99	18949,04	374420,14	4947834,49	32,71	7,57
4	3	11396,63	18949,04	1087720,75	4947871,63	60,14	21,98
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	1035,81	18949,04	26661,19	4947813,51	5,47	0,54
4	1	5206,18	18949,04	295108,90	4947826,33	27,47	5,96
4	1,5	11755,59	18949,04	1132215,94	4947869,00	62,04	22,88
4	2	15936,05	18949,04	1562302,23	4947849,79	84,10	31,58
4	3	17794,08	18949,04	2134735,49	4947838,83	93,90	43,14
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	3	360,46	18949,04	7266,45	4947806,15	1,90	0,15
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	51,84	4947850,77	0,00	0,00
4	1	1420,27	18949,04	30272,40	4947813,51	7,50	0,61
4	1,5	9517,72	18949,04	573630,94	4947881,29	50,23	11,59
4	2	15469,81	18949,04	1389670,30	4947855,96	81,64	28,09
4	3	17897,60	18949,04	2246446,56	4947846,10	94,45	45,40
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	140,66	18949,04	2333,61	4947826,69	0,74	0,05
4	1,5	8919,85	18949,04	516837,21	4947857,99	47,07	10,45
4	2	17035,22	18949,04	1618891,07	4947859,88	89,90	32,72
4	3	18391,46	18949,04	2979060,46	4947866,37	97,06	60,21
4	0,5	9304,19	18949,04	657755,50	4947879,64	49,10	13,29
4	0,75	15292,76	18949,04	1438143,35	4947826,42	80,70	29,07
4	1	17486,68	18949,04	1845958,08	4947833,01	92,28	37,31
4	1,5	17920,69	18949,04	2329211,62	4947871,80	94,57	47,08
4	2	18066,34	18949,04	2588747,67	4947884,40	95,34	52,32

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
4	3	18211,02	18949,04	2861124,89	4947895,52	96,11	57,83
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	2786,23	18949,04	73970,57	4947850,73	14,70	1,50
4	3	15529,19	18949,04	1198812,45	4947849,73	81,95	24,23
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	101,85	18949,04	1877,19	4947850,77	0,54	0,04
4	2	3925,44	18949,04	166663,08	4947792,86	20,72	3,37
4	3	13221,25	18949,04	1229524,20	4947859,71	69,77	24,85
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0,00	18949,04	824,49	4947850,77	0,00	0,02
4	2	757,05	18949,04	16752,58	4947803,21	4,00	0,34
4	3	3924,96	18949,04	178858,34	4947829,91	20,71	3,61
4	0,5	233,04	18949,04	4381,41	4947800,79	1,23	0,09
4	0,75	3299,45	18949,04	162460,96	4947837,83	17,41	3,28
4	1	5623,98	18949,04	455833,90	4947882,78	29,68	9,21
4	1,5	9394,70	18949,04	965854,02	4947871,83	49,58	19,52
4	2	11244,14	18949,04	1142049,49	4947813,43	59,34	23,08
4	3	13458,96	18949,04	1361204,57	4947830,56	71,03	27,51
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	822,68	4947850,77	0,00	0,02
4	2	1141,02	18949,04	30707,09	4947833,59	6,02	0,62
4	3	5048,72	18949,04	326943,76	4947849,60	26,64	6,61
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	958,87	18949,04	24202,36	4947812,81	5,06	0,49
4	2	5384,10	18949,04	305090,85	4947849,34	28,41	6,17
4	3	12766,00	18949,04	1206691,1	4947848,46	67,37	24,39
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	265,99	4947850,77	0,00	0,01
4	1	3722,65	18949,04	132152,96	4947803,91	19,65	2,67
4	1,5	16561,04	18949,04	1503088,4	4947887,66	87,40	30,38
4	2	18082,07	18949,04	2599966,21	4947899,97	95,42	52,55
4	3	18806,39	18949,04	3784002,85	4947869,30	99,25	76,48
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	14260,85	18949,04	683212,91	4947835,92	75,26	13,81
4	1,5	18949,04	18949,04	4820793,34	4947934,47	100,00	97,43
4	2	18949,04	18949,04	4947222,11	4947005,36	100,00	100,00
4	3	18949,04	18949,04	4947502,53	4947870,76	100,00	99,99
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	0,00	18949,04	159,85	4947850,77	0,00	0,00
4	3	3268,15	18949,04	112886,86	4947817,35	17,25	2,28
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	1928,28	18949,04	48060,99	4947842,22	10,18	0,97
4	2	7394,94	18949,04	448730,07	4947871,10	39,03	9,07
4	3	16013,97	18949,04	1509600,92	4947848,64	84,51	30,51
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	267,59	18949,04	5692,48	4947804,82	1,41	0,12
4	1	5594,77	18949,04	235709,53	4947842,33	29,53	4,76
4	1,5	15884,99	18949,04	1420545,066	4947868,59	83,83	28,71
4	2	17888,06	18949,04	2213549,295	4947843,38	94,40	44,74
4	3	18469,52	18949,04	3154378,03	4947875,49	97,47	63,75
4	0,5	7334,08	18949,04	285045,89	4947847,85	38,70	5,76
4	0,75	18065,80	18949,04	2435493,27	4947851,25	95,34	49,22
4	1	18847,74	18949,04	3778319,96	4947854,19	99,47	76,36
4	1,5	18949,04	18949,04	4732859,59	4947946,46	100,00	95,65
4	2	18949,04	18949,04	4915459,88	4947938,39	100,00	99,34
4	3	18949,04	18949,04	4946920,04	4947910,74	100,00	99,98
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	391,59	18949,04	7802,00	4947806,15	2,07	0,16
4	3	12350,94	18949,04	833476,95	4947870,67	65,18	16,85
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	62,50	4947850,77	0,00	0,00
4	1	1342,97	18949,04	39661,45	4947836,17	7,09	0,80
4	1,5	7470,26	18949,04	603848,28	4947895,20	39,42	12,20
4	2	12025,21	18949,04	1199008,18	4947824,64	63,46	24,23
4	3	17174,50	18949,04	1827853,75	4947816,49	90,64	36,94
5	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
5	0,75	0	18949,04	16,50	4947850,77	0,00	0,00
5	1	805,37	18949,04	17314,22	4947803,21	4,25	0,35
5	1,5	6117,66	18949,04	378933,34	4947848,93	32,28	7,66
5	2	10555,42	18949,04	944663,02	4947874,35	55,70	19,09
5	3	15690,64	18949,04	1519172,94	4947841,27	82,80	30,70
6	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
6	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
6	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
6	1,5	2465,06	18949,04	65711,21	4947844,75	13,01	1,33
6	2	8153,62	18949,04	471194,71	4947872,92	43,03	9,52
6	3	16454,96	18949,04	1536775,34	4947865,064	86,84	31,06
7	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
7	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
7	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
7	1,5	0,00	18949,04	446,54	4947850,77	0,00	0,01
7	2	3288,14	18949,04	104974,99	4947808,00	17,35	2,12
7	3	14183,63	18949,04	1192292,49	4947855,61	74,85	24,10
8	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
8	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
8	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
8	1,5	826,66	18949,04	20422,13	4947809,46	4,36	0,41
8	2	3354,54	18949,04	152866,38	4947823,38	17,70	3,09
8	3	6899,84	18949,04	529912,27	4947893,48	36,41	10,71
9	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
9	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
9	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
9	1,5	5569,41	18949,04	234414,55	4947842,33	29,4	4,74
9	2	14224,31	18949,04	1171073,88	4947842,85	75,07	23,67



Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
9	3	18084,20	18949,04	2610426,29	4947891,63	95,44	52,76
10	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
10	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
10	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
10	1,5	3721,93	18949,04	140237,66	4947790,18	19,64	2,83
10	2	10928,23	18949,04	764857,52	4947878,47	57,67	15,46
10	3	17774,79	18949,04	2032370,72	4947872,15	93,80	41,08
11	0,5	191,22	18949,04	3537,56	4947793,76	1,01	0,07
11	0,75	1770,36	18949,04	80425,46	4947821,96	9,34	1,63
11	1	3464,31	18949,04	243747,18	4947845,02	18,28	4,93
11	1,5	4893,08	18949,04	491337,93	4947906,41	25,82	9,93
11	2	5960,63	18949,04	697626,89	4947875,50	31,46	14,10
11	3	7292,79	18949,04	868390,15	4947889,82	38,49	17,55
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	2883,51	18949,04	107367,34	4947814,63	15,22	2,17
12	2	9268,23	18949,04	660863,38	4947864,68	48,91	13,36
12	3	16933,55	18949,04	1833967,97	4947881,28	89,36	37,07
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	2600,53	18949,04	72406,35	4947831,42	13,72	1,46
12	2	8774,49	18949,04	555988,34	4947844,77	46,31	11,24
12	3	16907,96	18949,04	1748980,121	4947889,32	89,23	35,35
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	2779,88	18949,04	89846,80	4947816,99	14,67	1,82
12	2	9328,61	18949,04	641389,817	4947854,86	49,23	12,96
12	3	16972,05	18949,04	1905688,92	4947870,13	89,57	38,52
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	82,87	18949,04	1497,06	4947852,33	0,44	0,03
12	1,5	5031,78	18949,04	319526,97	4947832,44	26,55	6,46
12	2	12217,82	18949,04	1200176,88	4947835,97	64,48	24,26
12	3	17286,32	18949,04	2391904,57	4947883,62	91,23	48,34
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	2900,50	18949,04	106971,06	4947817,99	15,31	2,16
12	2	9576,08	18949,04	700008,64	4947859,72	50,54	14,15
12	3	16975,74	18949,04	1945540,08	4947870,64	89,59	39,32
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	1665,97	18949,04	90628,62	4947828,51	8,79	1,83
12	2	8135,67	18949,04	633217,85	4947833,72	42,93	12,80
12	3	14842,76	18949,04	1793726,52	4947862,15	78,33	36,25
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	2076,24	18949,04	117274,86	4947849,89	10,96	2,37
12	2	9198,07	18949,04	765089,58	4947795,52	48,54	15,46
12	3	14900,22	18949,04	1976857,49	4947865,53	78,63	39,95
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	1718,81	18949,04	114125,75	4947864,02	9,07	2,31
12	2	6246,86	18949,04	694840,79	4947817,47	32,97	14,04
12	3	12314,95	18949,04	1797296,60	4947814,8	64,99	36,33
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0,00	18949,04	1172,89	4947850,77	0,00	0,02
12	1	1636,81	18949,04	105855,07	4947867,25	8,64	2,14
12	1,5	7127,15	18949,04	939754,72	4947843,87	37,61	18,99
12	2	8233,70	18949,04	1507668,47	4947865,10	43,45	30,47
12	3	12614,35	18949,04	2317851,83	4947829,749	66,57	46,85
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0,00	18949,04	1172,89	4947850,77	0,00	0,02
12	1	1636,81	18949,04	105850,23	4947867,25	8,64	2,14
12	1,5	7127,15	18949,04	939755,89	4947843,87	37,61	18,99
12	2	8233,70	18949,04	1510040,51	4947865,10	43,45	30,52
12	3	12614,35	18949,04	2317610,26	4947829,75	66,57	46,84
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	163,96	4947850,77	0,00	0,00
12	1	1484,00	18949,04	82657,46	4947839,97	7,83	1,67
12	1,5	7463,01	18949,04	1014312,76	4947861,80	39,38	20,50
12	2	8313,24	18949,04	1713258,85	4947868,52	43,87	34,63
12	3	12619,98	18949,04	2597844,66	4947841,90	66,60	52,50
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	215,80	4947850,77	0,00	0,00
12	1	2311,86	18949,04	90935,45	4947826,38	12,20	1,84
12	1,5	12986,13	18949,04	1189257,69	4947867,58	68,53	24,04
12	2	16423,86	18949,04	2121511,43	4947894,87	86,67	42,88
12	3	18246,41	18949,04	3191795,27	4947867,98	96,29	64,51
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0,00	18949,04	215,80	4947850,77	0,00	0,00
12	1	2311,86	18949,04	90935,45	4947826,38	12,20	1,84
12	1,5	12986,13	18949,04	1189395,92	4947867,58	68,53	24,04
12	2	16423,86	18949,04	2121616,75	4947894,87	86,67	42,88
12	3	18246,41	18949,04	3191956,06	4947867,98	96,29	64,51
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	704,92	4947850,77	0,00	0,01
12	1	2311,86	18949,04	92394,42	4947826,38	12,20	1,87
12	1,5	12986,13	18949,04	1191892,88	4947867,58	68,53	24,09
12	2	16423,86	18949,04	2124242,15	4947894,87	86,67	42,93
12	3	18246,41	18949,04	3193552,67	4947867,98	96,29	64,54
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	704,92	4947852,33	0,00	0,01
12	1	2311,86	18949,04	92394,42	4947826,38	12,20	1,87
12	1,5	12986,13	18949,04	1192014,49	4947867,56	68,53	24,09
12	2	16423,86	18949,04	2124535,69	4947894,87	86,67	42,94
12	3	18246,41	18949,04	3193868,62	4947867,97	96,29	64,55
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	3616,42	18949,04	168744,31	4947849,032	19,08	3,41
13	2	11204,34	18949,04	938585,94	4947818,58	59,13	18,97
13	3	17065,33	18949,04	2194507,12	4947893,20	90,06	44,35
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	2554,33	18949,04	152019,09	4947853,75	13,48	3,07
13	2	10135,06	18949,04	886680,35	4947797,43	53,49	17,92

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
13	3	15963,86	18949,04	2124938,73	4947883,33	84,25	42,95
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	2554,33	18949,04	152019,09	4947853,75	13,48	3,07
13	2	10135,06	18949,04	886607,11	4947797,45	53,49	17,92
13	3	15963,86	18949,04	2124726,64	4947883,33	84,25	42,94
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	2554,33	18949,04	152019,09	4947853,75	13,48	3,07
13	2	10135,06	18949,04	886657,09	4947797,45	53,49	17,92
13	3	15963,86	18949,04	2124985,64	4947883,33	84,25	42,95
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	2071,87	18949,04	116387,56	4947849,89	10,93	2,35
13	2	9553,03	18949,04	779780,94	4947798,61	50,41	15,76
13	3	15930,35	18949,04	2057295,11	4947861,04	84,07	41,58
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	701,22	18949,04	5937,00	4947829,88	3,70	0,12
13	1	3921,65	18949,04	106776,03	4947808,13	20,70	2,16
13	1,5	10051,72	18949,04	529502,97	4947860,10	53,05	10,70
13	2	15826,99	18949,04	1339587,01	4947821,59	83,52	27,07
13	3	18098,64	18949,04	2594635,48	4947876,54	95,51	52,44
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	701,22	18949,04	5937,00	4947829,88	3,70	0,12
13	1	3921,65	18949,04	106776,03	4947808,13	20,70	2,16
13	1,5	9647,70	18949,04	479620,71	4947837,50	50,91	9,69
13	2	14756,76	18949,04	1176126,35	4947862,303	77,88	23,77
13	3	18061,87	18949,04	2476749,14	4947897,761	95,32	50,06
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	701,22	18949,04	5937,00	4947829,88	3,70	0,12
13	1	3921,65	18949,04	106776,03	4947808,13	20,70	2,16
13	1,5	9647,70	18949,04	479626,96	4947837,50	50,91	9,69
13	2	14756,76	18949,04	1174721,04	4947862,30	77,88	23,74
13	3	18061,87	18949,04	2477905,09	4947897,776	95,32	50,08
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	701,22	18949,04	5937,00	4947829,879	3,70	0,12
13	1	3921,65	18949,04	106768,28	4947808,13	20,70	2,16
13	1,5	10351,62	18949,04	554083,83	4947875,22	54,63	11,20
13	2	15757,73	18949,04	1362017,58	4947835,146	83,16	27,53
13	3	18074,90	18949,04	2517941,65	4947889,57	95,39	50,89
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0,00	18949,04	298,78	4947856,56	0,00	0,01
13	1,5	7129,31	18949,04	294633,06	4947860,30	37,62	5,95
13	2	15283,99	18949,04	1205836,53	4947864,365	80,66	24,37
13	3	18112,36	18949,04	2576858,31	4947878,696	95,58	52,08
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0,00	18949,04	328,87	4947856,56	0,00	0,01
13	1,5	7749,04	18949,04	343142,66	4947859,58	40,89	6,94
13	2	16344,75	18949,04	1385572,27	4947872,48	86,26	28,00
13	3	18246,18	18949,04	2783551,95	4947882,29	96,29	56,26
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00

<b>Cenário</b>	<b>Z (m)</b>	<b>Adentro (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ainstável (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Afora (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Aestável (m<sup>2</sup>)</b>	<b>IA (%)</b>	<b>IE (%)</b>
13	1	0,00	18949,04	298,78	4947856,56	0,00	0,01
13	1,5	6046,85	18949,04	190161,31	4947857,55	31,91	3,84
13	2	13367,17	18949,04	874613,89	4947877,48	70,54	17,68
13	3	18021,52	18949,04	2321275,02	4947866,15	95,11	46,91
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	208,17	18949,04	3409,68	4947803,93	1,10	0,07
13	1,5	9484,61	18949,04	585543,42	4947855,63	50,05	11,83
13	2	17283,63	18949,04	1734444,94	4947867,67	91,21	35,05
13	3	18433,05	18949,04	3160885,87	4947876,04	97,28	63,88
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	1279,15	18949,04	59833,24	4947859,60	6,75	1,21
13	1,5	13000,13	18949,04	1329779,35	4947855,47	68,61	26,88
13	2	17711,40	18949,04	2560680,99	4947896,70	93,47	51,75
13	3	18436,84	18949,04	3814104,05	4947893,56	97,30	77,09
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	5978,87	18949,04	358927,74	4947853,52	31,55	7,25
13	1,5	13449,73	18949,04	3143169,04	4947894,88	70,98	63,53
13	2	17717,27	18949,04	3532799,43	4947876,39	93,50	71,40
13	3	18436,84	18949,04	4050012,45	4947869,11	97,30	81,85
14	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
14	0,75	0	18949,04	1890,65	4947850,96	0,00	0,04
14	1	2326,41	18949,04	65383,93	4947860,61	12,28	1,32
14	1,5	3969,23	18949,04	259756,20	4947862,02	20,95	5,25
14	2	6724,77	18949,04	452744,39	4947820,54	35,49	9,15
14	3	13425,07	18949,04	832984,76	4947872,16	70,85	16,84

**Apêndice 4** – Resultados dos desempenhos do SHALSTAB de acordo com índices propostos por Sorbino *et al.*, (2010) e limiar de instabilidade  $\log q/T = -3,1$

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
1	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
1	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
1	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
1	1,5	597,21	18949,04	49188,30	4947849,03	3,15	0,99
1	2	4879,85	18949,04	352860,99	4947818,60	25,75	7,13
1	3	14054,55	18949,04	1124811,73	4947893,20	74,17	22,73
2	0,5	2781,37	18949,04	81460,12	4946909,83	14,68	1,65
2	0,75	5687,89	18949,04	200744,08	4945666,16	30,02	4,06
2	1	7338,48	18949,04	292810,09	4945424,15	38,73	5,92
2	1,5	9669,90	18949,04	533688,60	4944868,53	51,03	10,79
2	2	11185,32	18949,04	757426,58	4945974,45	59,03	15,31
2	3	13887,60	18949,04	1060082,43	4945946,71	73,29	21,43
3	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
3	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
3	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
3	1,5	261,98	18949,04	25961,06	4947823,31	1,38	0,52
3	2	3533,33	18949,04	192868,63	4947867,45	18,65	3,90
3	3	10258,61	18949,04	686505,08	4947855,38	54,14	13,87
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0,00	18949,04	54,28	4947850,77	0,00	0,00
4	1,5	178,15	18949,04	22498,52	4947823,81	0,94	0,45
4	2	1710,98	18949,04	122543,52	4947834,49	9,03	2,48
4	3	5270,40	18949,04	387139,27	4947871,63	27,81	7,82
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	98,33	18949,04	6992,28	4947813,51	0,52	0,14
4	1	1089,30	18949,04	91562,48	4947826,33	5,75	1,85
4	1,5	5558,47	18949,04	404178,58	4947869,00	29,33	8,17
4	2	8995,28	18949,04	627033,96	4947849,79	47,47	12,67
4	3	13931,91	18949,04	970615,42	4947838,83	73,52	19,62
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	3	16,16	18949,04	2046,03	4947806,15	0,09	0,04
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	22,75	4947850,77	0,00	0,00
4	1	97,62	18949,04	7906,65	4947813,51	0,52	0,16
4	1,5	4241,91	18949,04	215423,51	4947881,29	22,39	4,35
4	2	8942,53	18949,04	582639,43	4947855,96	47,19	11,78
4	3	16092,88	18949,04	1122928,26	4947846,10	84,93	22,70
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0,00	18949,04	843,16	4947826,69	0,00	0,02
4	1,5	3774,21	18949,04	187308,13	4947857,99	19,92	3,79
4	2	10919,09	18949,04	711209,75	4947859,88	57,62	14,37
4	3	17801,40	18949,04	1764420,35	4947866,37	93,94	35,66
4	0,5	3849,74	18949,04	230338,07	4947879,64	20,32	4,66
4	0,75	8614,50	18949,04	578893,60	4947826,42	45,46	11,70
4	1	12080,60	18949,04	812499,38	4947833,01	63,75	16,42
4	1,5	15939,51	18949,04	1135448,32	4947871,80	84,12	22,95
4	2	17125,56	18949,04	1345776,68	4947884,40	90,38	27,20

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
4	3	17574,85	18949,04	1590379,58	4947895,52	92,75	32,14
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	296,70	18949,04	24613,47	4947850,73	1,57	0,50
4	3	9347,04	18949,04	539598,95	4947849,73	49,33	10,91
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0,00	18949,04	656,32	4947850,77	0,00	0,01
4	2	611,86	18949,04	49225,01	4947792,86	3,23	0,99
4	3	7052,61	18949,04	462652,22	4947859,71	37,22	9,35
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0,00	18949,04	175,22	4947850,77	0,00	0,00
4	2	66,33	18949,04	4951,15	4947803,21	0,35	0,10
4	3	662,80	18949,04	55426,12	4947829,91	3,50	1,12
4	0,5	3,17	18949,04	1237,59	4947800,79	0,02	0,03
4	0,75	365,84	18949,04	46056,11	4947837,83	1,93	0,93
4	1	1250,71	18949,04	138598,03	4947882,78	6,60	2,80
4	1,5	3369,08	18949,04	315307,65	4947871,83	17,78	6,37
4	2	4796,07	18949,04	393746,58	4947813,43	25,31	7,96
4	3	6762,85	18949,04	492743,60	4947830,56	35,69	9,96
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	158,68	4947850,77	0,00	0,00
4	2	99,65	18949,04	8116,49	4947833,59	0,53	0,16
4	3	1015,53	18949,04	98969,88	4947849,60	5,36	2,00
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	87,15	18949,04	6427,86	4947812,81	0,46	0,13
4	2	1213,68	18949,04	96640,21	4947849,34	6,40	1,95
4	3	6443,80	18949,04	440958,8	4947848,46	34,01	8,91
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	35,53	4947850,77	0,00	0,00
4	1	679,41	18949,04	39447,13	4947803,91	3,59	0,80
4	1,5	10090,23	18949,04	653801,4	4947887,66	53,25	13,21
4	2	17388,03	18949,04	1428152,35	4947899,97	91,76	28,86
4	3	18429,27	18949,04	2725475,73	4947869,30	97,26	55,08
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	10313,21	18949,04	445847,6749	4947835,92	54,43	9,01
4	1,5	18949,04	18949,04	4588573,58	4947934,47	100,00	92,74
4	2	18949,04	18949,04	4947203,95	4947005,36	100,00	100,00
4	3	18949,04	18949,04	4947490,96	4947870,76	100,00	99,99
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	0,00	18949,04	50,34	4947850,77	0,00	0,00
4	3	482,68	18949,04	34829,26	4947817,35	2,55	0,70
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	126,20	18949,04	11769,24	4947842,22	0,67	0,24
4	2	2566,64	18949,04	151263,11	4947871,10	13,54	3,06
4	3	9212,61	18949,04	620969,67	4947848,64	48,62	12,55
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	5,57	18949,04	1573,13	4947804,82	0,03	0,03
4	1	1604,67	18949,04	85408,09	4947842,33	8,47	1,73
4	1,5	9395,01	18949,04	605060,27	4947868,59	49,58	12,23
4	2	16026,47	18949,04	1107704,485	4947843,38	84,58	22,39
4	3	18111,25	18949,04	1968230,46	4947875,49	95,58	39,78
4	0,5	3124,47	18949,04	117213,15	4947847,85	16,49	2,37
4	0,75	17327,51	18949,04	1383719,86	4947851,25	91,44	27,97
4	1	18564,83	18949,04	2808291,51	4947854,19	97,97	56,76
4	1,5	18949,04	18949,04	4314132,54	4947946,46	100,00	87,19
4	2	18949,04	18949,04	4809771,59	4947938,39	100,00	97,21
4	3	18949,04	18949,04	4944752,83	4947910,74	100,00	99,94
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	1,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	2	16,80	18949,04	2234,62	4947806,15	0,09	0,05
4	3	6749,74	18949,04	338325,19	4947870,67	35,62	6,84
4	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
4	0,75	0	18949,04	25,00	4947850,77	0,00	0,00
4	1	108,79	18949,04	10052,79	4947836,17	0,57	0,20
4	1,5	2196,89	18949,04	192447,61	4947895,20	11,59	3,89
4	2	5646,29	18949,04	425413,04	4947824,64	29,80	8,60
4	3	10728,23	18949,04	756721,51	4947816,49	56,62	15,29
5	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
5	0,75	0	18949,04	10,25	4947850,77	0,00	0,00
5	1	71,48	18949,04	4817,55	4947803,21	0,38	0,10
5	1,5	1624,38	18949,04	122824,70	4947848,93	8,57	2,48
5	2	4473,99	18949,04	328130,78	4947874,35	23,61	6,63
5	3	8763,96	18949,04	606724,75	4947841,27	46,25	12,26
6	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
6	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
6	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
6	1,5	144,45	18949,04	18788,87	4947844,75	0,76	0,38
6	2	3190,88	18949,04	166884,65	4947872,92	16,84	3,37
6	3	9836,08	18949,04	653468,30	4947865,064	51,91	13,21
7	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
7	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
7	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
7	1,5	0,00	18949,04	66,70	4947850,77	0,00	0,00
7	2	452,93	18949,04	32017,16	4947808,00	2,39	0,65
7	3	7972,52	18949,04	486243,54	4947855,61	42,07	9,83
8	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
8	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
8	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
8	1,5	76,97	18949,04	5673,86	4947809,46	0,41	0,11
8	2	385,64	18949,04	45376,28	4947823,38	2,04	0,92
8	3	1942,94	18949,04	169619,77	4947893,48	10,25	3,43
9	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
9	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
9	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
9	1,5	1553,33	18949,04	83849,20	4947842,33	8,20	1,69
9	2	7993,11	18949,04	481522,15	4947842,85	42,18	9,73

Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
9	3	17403,98	18949,04	1433752,07	4947891,63	91,85	28,98
10	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
10	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
10	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
10	1,5	674,93	18949,04	42249,85	4947790,18	3,56	0,85
10	2	5246,01	18949,04	288517,68	4947878,47	27,68	5,83
10	3	14425,23	18949,04	964138,28	4947872,15	76,13	19,49
11	0,5	0,00	18949,04	1088,89	4947793,76	0,00	0,02
11	0,75	163,77	18949,04	20321,95	4947821,96	0,86	0,41
11	1	370,14	18949,04	74085,66	4947845,02	1,95	1,50
11	1,5	879,76	18949,04	142650,33	4947906,41	4,64	2,88
11	2	1270,95	18949,04	210231,47	4947875,50	6,71	4,25
11	3	1839,83	18949,04	270991,73	4947889,82	9,71	5,48
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	379,61	18949,04	28520,96	4947814,63	2,00	0,58
12	2	3656,71	18949,04	232274,71	4947864,68	19,30	4,69
12	3	12321,61	18949,04	832180,44	4947881,28	65,02	16,82
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	243,24	18949,04	20179,49	4947831,42	1,28	0,41
12	2	3497,44	18949,04	195509,71	4947844,77	18,46	3,95
12	3	11715,92	18949,04	783138,24	4947889,32	61,83	15,83
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	357,06	18949,04	23975,28	4947816,99	1,88	0,48
12	2	3815,19	18949,04	228953,53	4947854,86	20,13	4,63
12	3	13139,42	18949,04	889393,11	4947870,13	69,34	17,98
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0,00	18949,04	547,34	4947852,33	0,00	0,01
12	1,5	1050,08	18949,04	95516,58	4947832,44	5,54	1,93
12	2	6233,48	18949,04	482820,85	4947835,97	32,90	9,76
12	3	14270,31	18949,04	1314604,32	4947883,62	75,31	26,57
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	398,91	18949,04	28306,57	4947817,99	2,11	0,57
12	2	3962,80	18949,04	249545,28	4947859,72	20,91	5,04
12	3	13304,41	18949,04	913919,73	4947870,64	70,21	18,47
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	352,54	18949,04	23715,08	4947828,51	1,86	0,48
12	2	2485,29	18949,04	217820,57	4947833,72	13,12	4,40
12	3	11570,71	18949,04	824275,24	4947862,15	61,06	16,66
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	454,70	18949,04	32899,62	4947849,89	2,40	0,66
12	2	3142,07	18949,04	275883,54	4947795,52	16,58	5,58
12	3	12234,89	18949,04	978140,31	4947865,53	64,57	19,77
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00

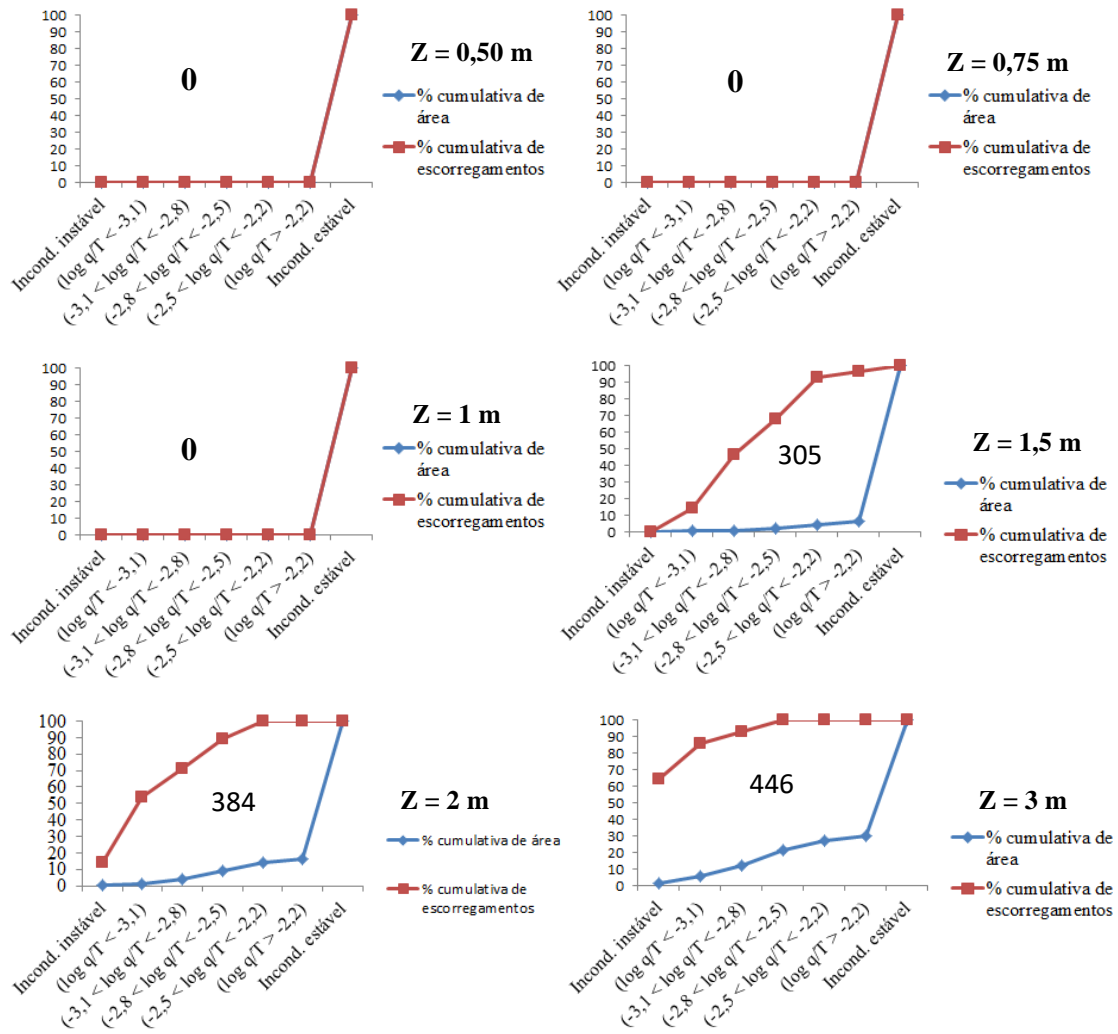


Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
12	1	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	1,5	445,98	18949,04	32393,97	4947864,02	2,35	0,65
12	2	2290,96	18949,04	242804,70	4947817,47	12,09	4,91
12	3	9714,45	18949,04	892827,95	4947814,8	51,27	18,04
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0,00	18949,04	329,17	4947850,77	0,00	0,01
12	1	405,39	18949,04	29383,74	4947867,25	2,14	0,59
12	1,5	3063,21	18949,04	349911,84	4947843,87	16,17	7,07
12	2	7194,87	18949,04	699038,17	4947865,10	37,97	14,13
12	3	10345,38	18949,04	1420027,15	4947829,749	54,60	28,70
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0,00	18949,04	329,17	4947850,77	0,00	0,01
12	1	405,39	18949,04	29383,74	4947867,25	2,14	0,59
12	1,5	3063,21	18949,04	349912,55	4947843,87	16,17	7,07
12	2	7194,87	18949,04	700040,18	4947865,10	37,97	14,15
12	3	10345,38	18949,04	1418506,95	4947829,75	54,60	28,67
12	0,5	0	18949,04	0	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	0,00	4947850,77	0,00	0,00
12	1	348,41	18949,04	21813,60	4947839,97	1,84	0,44
12	1,5	3547,40	18949,04	391721,03	4947861,80	18,72	7,92
12	2	7701,51	18949,04	874031,46	4947868,52	40,64	17,66
12	3	10416,37	18949,04	1792586,03	4947841,90	54,97	36,23
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	22,75	4947850,77	0,00	0,00
12	1	375,22	18949,04	23111,42	4947826,38	1,98	0,47
12	1,5	6650,52	18949,04	479916,83	4947867,58	35,10	9,70
12	2	13590,79	18949,04	1084788,41	4947894,87	71,72	21,92
12	3	17307,64	18949,04	2143356,21	4947867,98	91,34	43,32
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0,00	18949,04	22,75	4947850,77	0,00	0,00
12	1	375,22	18949,04	23111,42	4947826,38	1,98	0,47
12	1,5	6650,52	18949,04	479971,51	4947867,58	35,10	9,70
12	2	13590,79	18949,04	1084839,47	4947894,87	71,72	21,93
12	3	17307,64	18949,04	2143425,772	4947867,98	91,34	43,32
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	215,69	4947850,77	0,00	0,00
12	1	375,22	18949,04	23869,76	4947826,38	1,98	0,48
12	1,5	6650,52	18949,04	481465,60	4947867,58	35,10	9,73
12	2	13590,79	18949,04	1086362,84	4947894,87	71,72	21,96
12	3	17307,64	18949,04	2144282,66	4947867,98	91,34	43,34
12	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
12	0,75	0	18949,04	215,69	4947852,33	0,00	0,00
12	1	375,22	18949,04	23869,76	4947826,38	1,98	0,48
12	1,5	6650,52	18949,04	481465,60	4947867,56	35,10	9,73
12	2	13590,79	18949,04	1086373,76	4947894,87	71,72	21,96
12	3	17307,64	18949,04	2144304,87	4947867,97	91,34	43,34
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	597,21	18949,04	49111,25	4947849,032	3,15	0,99
13	2	4879,85	18949,04	352745,38	4947818,58	25,75	7,13
13	3	14054,55	18949,04	1124136,81	4947893,20	74,17	22,72
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	550,84	18949,04	44361,21	4947853,75	2,91	0,90
13	2	3710,66	18949,04	327547,65	4947797,43	19,58	6,62

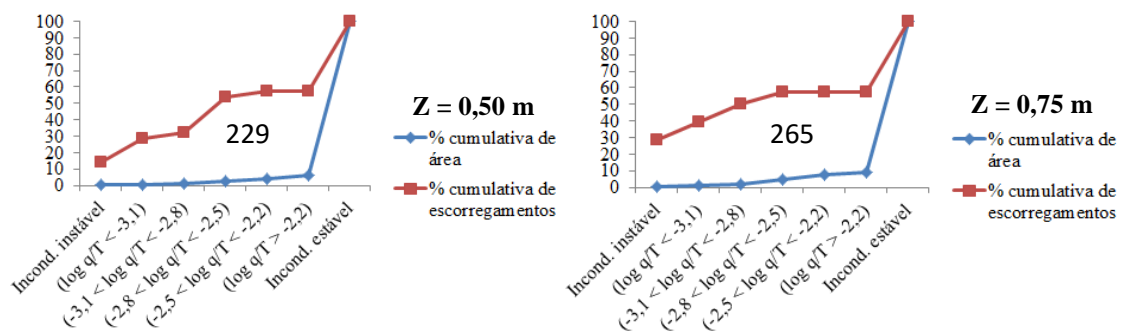
Cenário	Z (m)	Adentro (m <sup>2</sup> )	Ainstável (m <sup>2</sup> )	Afora (m <sup>2</sup> )	Aestável (m <sup>2</sup> )	IA (%)	IE (%)
13	3	13242,43	18949,04	1080890,73	4947883,33	69,88	21,85
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	550,84	18949,04	44361,21	4947853,75	2,91	0,90
13	2	3710,66	18949,04	327547,65	4947797,45	19,58	6,62
13	3	13242,43	18949,04	1080879,81	4947883,33	69,88	21,85
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	550,84	18949,04	44361,21	4947853,75	2,91	0,90
13	2	3710,66	18949,04	327575,43	4947797,45	19,58	6,62
13	3	13242,43	18949,04	1081005,09	4947883,33	69,88	21,85
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1,5	449,92	18949,04	32462,14	4947849,89	2,37	0,66
13	2	3422,41	18949,04	281814,10	4947798,61	18,06	5,70
13	3	13153,85	18949,04	1022117,54	4947861,04	69,42	20,66
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	26,81	18949,04	576,29	4947829,88	0,14	0,01
13	1	1495,83	18949,04	46987,27	4947808,13	7,89	0,95
13	1,5	6235,65	18949,04	237906,23	4947860,10	32,91	4,81
13	2	10546,53	18949,04	585207,85	4947821,59	55,66	11,83
13	3	17386,19	18949,04	1396213,11	4947876,54	91,75	28,22
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	26,81	18949,04	576,29	4947829,88	0,14	0,01
13	1	1495,83	18949,04	46987,27	4947808,13	7,89	0,95
13	1,5	6071,58	18949,04	223169,35	4947837,50	32,04	4,51
13	2	9892,89	18949,04	517421,71	4947862,303	52,21	10,46
13	3	17063,05	18949,04	1298813,89	4947897,761	90,05	26,25
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	26,81	18949,04	576,29	4947829,88	0,14	0,01
13	1	1495,83	18949,04	46987,27	4947808,13	7,89	0,95
13	1,5	6071,58	18949,04	223169,35	4947837,50	32,04	4,51
13	2	9892,89	18949,04	516603,67	4947862,30	52,21	10,44
13	3	17063,05	18949,04	1301220,96	4947897,776	90,05	26,30
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	26,81	18949,04	576,29	4947829,879	0,14	0,01
13	1	1495,83	18949,04	46974,77	4947808,13	7,89	0,95
13	1,5	6301,86	18949,04	246237,36	4947875,22	33,26	4,98
13	2	10504,40	18949,04	588233,49	4947835,146	55,44	11,89
13	3	17151,39	18949,04	1324482,18	4947889,57	90,51	26,77
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0,00	18949,04	85,42	4947856,56	0,00	0,00
13	1,5	3254,39	18949,04	115638,42	4947860,30	17,17	2,34
13	2	9091,57	18949,04	502249,43	4947864,365	47,98	10,15
13	3	17268,50	18949,04	1391947,83	4947878,696	91,13	28,13
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0,00	18949,04	85,42	4947856,56	0,00	0,00
13	1,5	3401,90	18949,04	130465,09	4947859,58	17,95	2,64
13	2	9814,35	18949,04	587527,53	4947872,48	51,79	11,87
13	3	17636,41	18949,04	1581457,90	4947882,29	93,07	31,96
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00

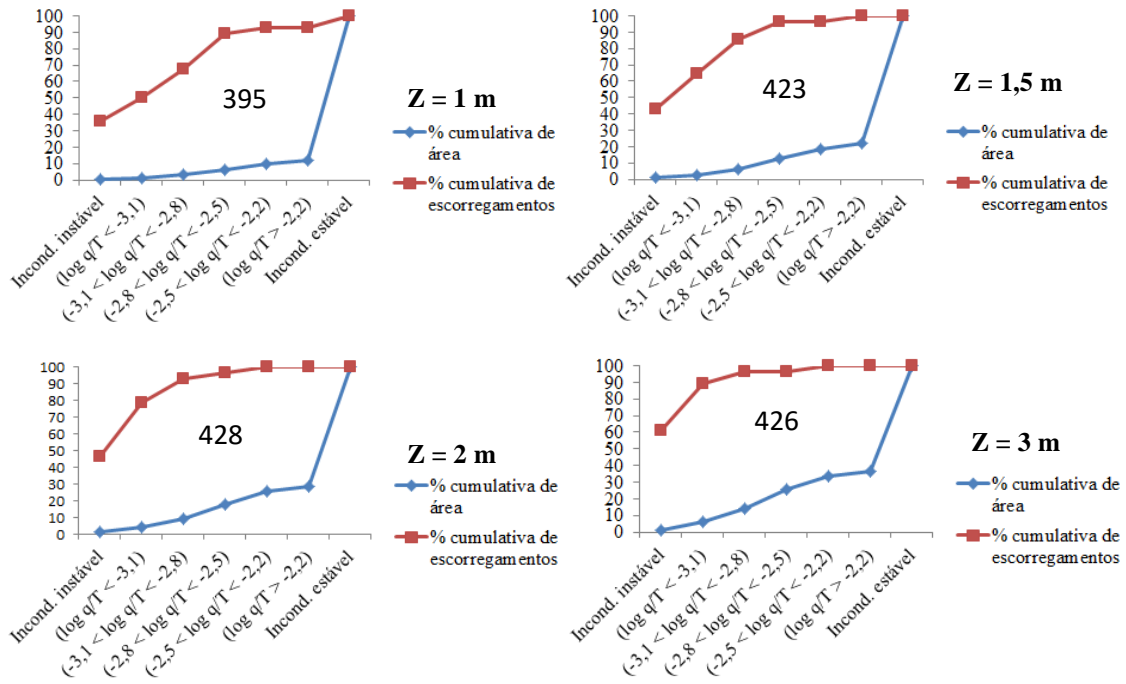
<b>Cenário</b>	<b>Z (m)</b>	<b>Adentro (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ainstável (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Afora (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Aestável (m<sup>2</sup>)</b>	<b>IA (%)</b>	<b>IE (%)</b>
13	1	0,00	18949,04	85,42	4947856,56	0,00	0,00
13	1,5	2825,81	18949,04	84896,98	4947857,55	14,91	1,72
13	2	7984,71	18949,04	375871,59	4947877,48	42,14	7,60
13	3	15626,57	18949,04	1211825,59	4947866,15	82,47	24,49
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	0,00	18949,04	1176,61	4947803,93	0,00	0,02
13	1,5	4023,39	18949,04	211777,69	4947855,63	21,23	4,28
13	2	12216,23	18949,04	784216,24	4947867,67	64,47	15,85
13	3	18111,68	18949,04	1980359,71	4947876,04	95,58	40,02
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	302,32	18949,04	16415,32	4947859,60	1,60	0,33
13	1,5	8081,11	18949,04	580827,75	4947855,47	42,65	11,74
13	2	15110,49	18949,04	1528218,71	4947896,70	79,74	30,89
13	3	18208,73	18949,04	3000089,35	4947893,56	96,09	60,63
13	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	0,75	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
13	1	3424,01	18949,04	200011,72	4947853,52	18,07	4,04
13	1,5	11086,12	18949,04	2932066,84	4947894,88	58,50	59,26
13	2	15210,78	18949,04	3295729,15	4947876,39	80,27	66,61
13	3	18208,73	18949,04	3687562,38	4947869,11	96,09	74,53
14	0,5	0	18949,04	0,00	4947916,35	0,00	0,00
14	0,75	0	18949,04	746,82	4947850,96	0,00	0,02
14	1	432,89	18949,04	10924,36	4947860,61	2,28	0,22
14	1,5	1379,67	18949,04	92356,39	4947862,02	7,28	1,87
14	2	4359,40	18949,04	258301,49	4947820,54	23,01	5,22
14	3	10139,71	18949,04	589640,52	4947872,16	53,51	11,92

Cenário 1

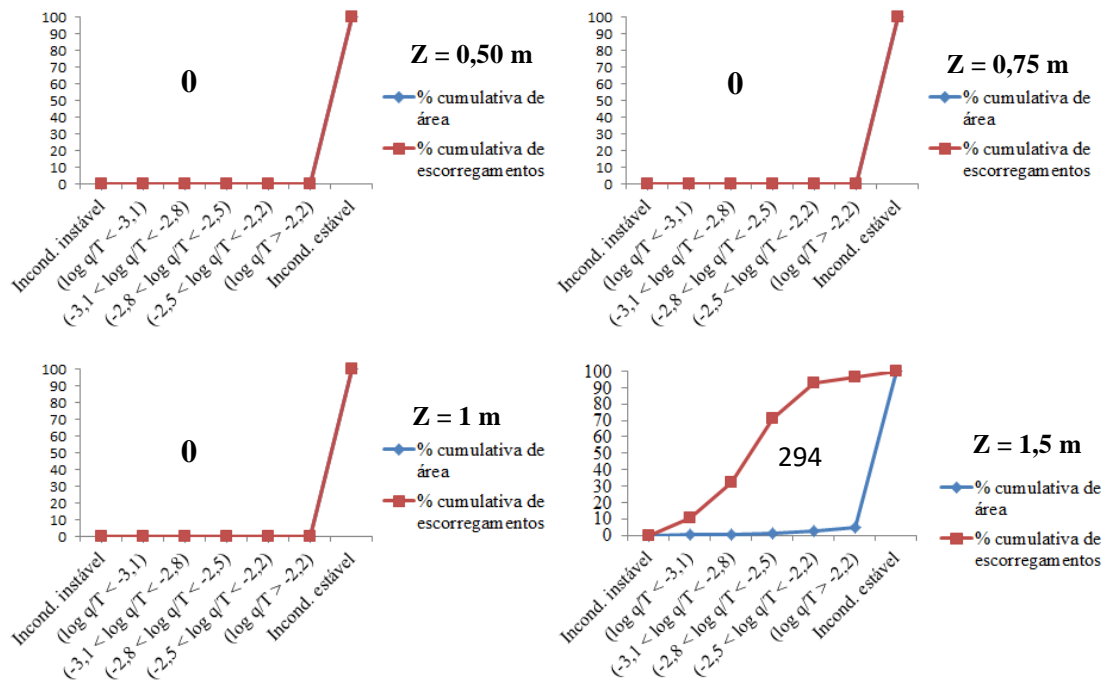


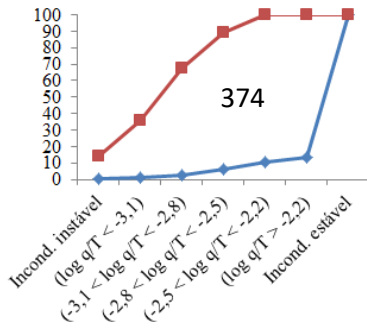
Cenário 2



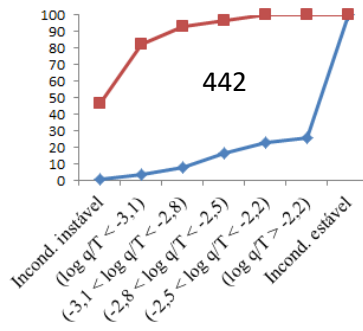


Cenário 3



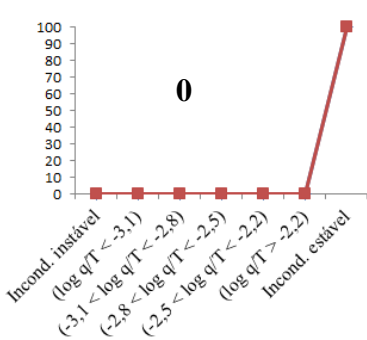


**Z = 2 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos

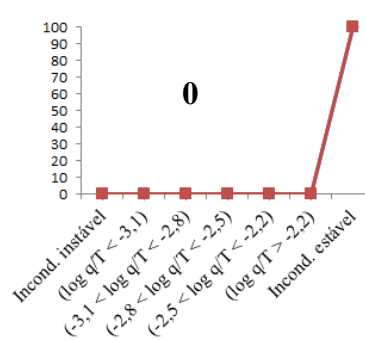


**Z = 3 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos

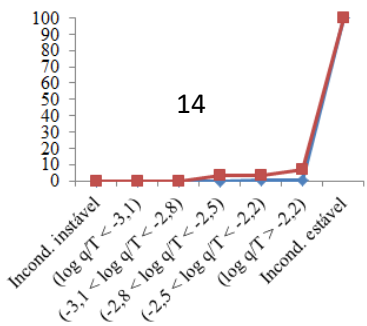
**Cenário 4**



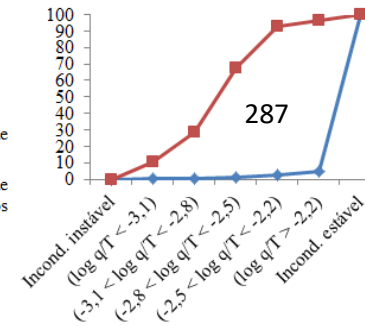
**Geotecnia 1 Ponto 06 Z = 0,5 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos



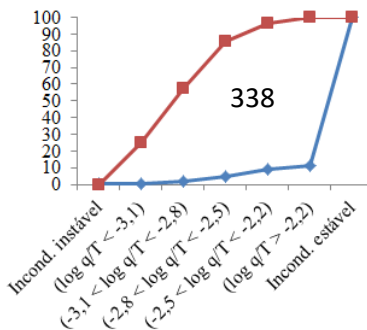
**Geotecnia 1 Ponto 06 Z = 0,75 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos



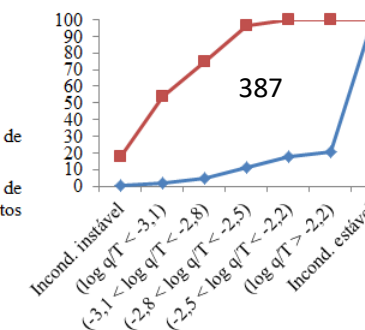
**Geotecnia 1 Ponto 06 Z = 1 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos



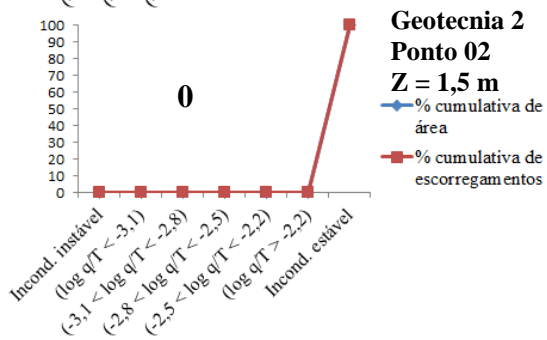
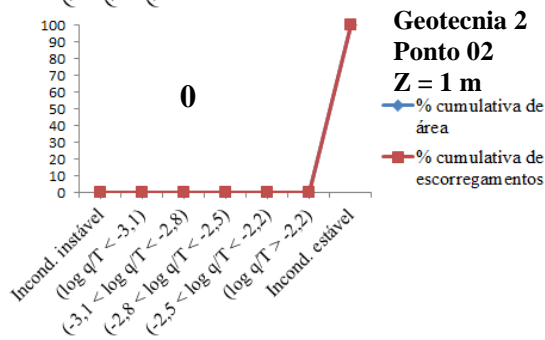
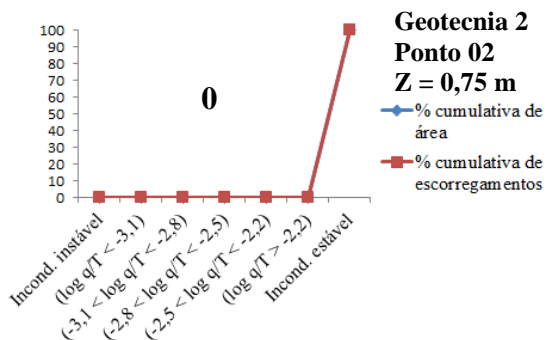
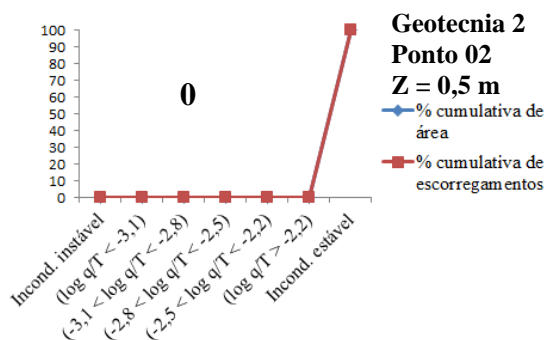
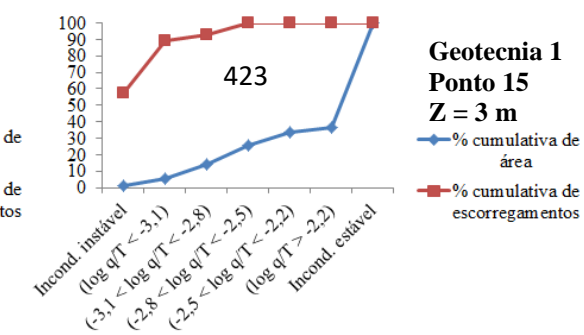
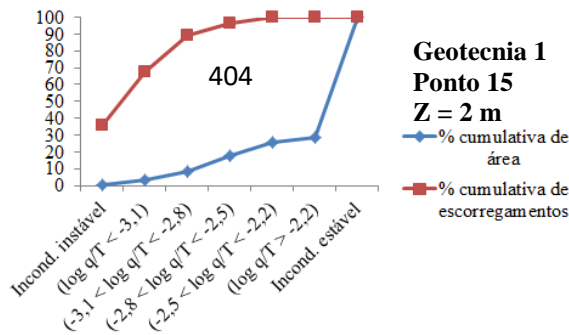
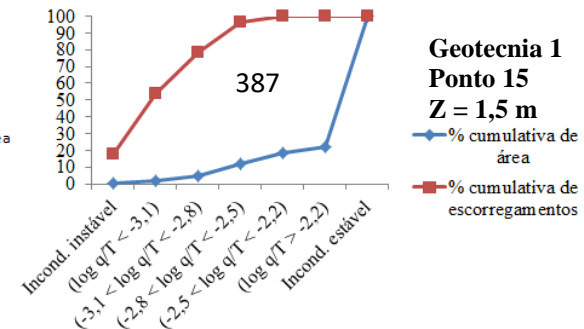
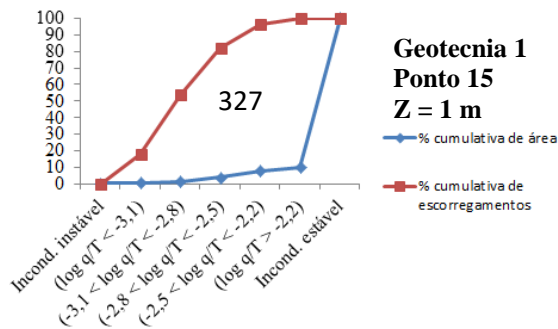
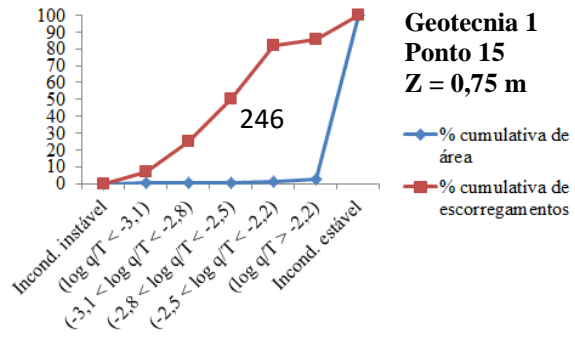
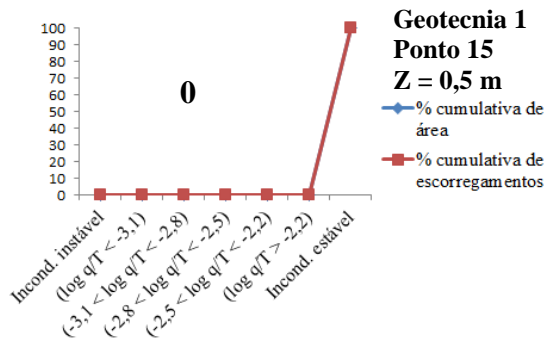
**Geotecnia 1 Ponto 06 Z = 1,5 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos

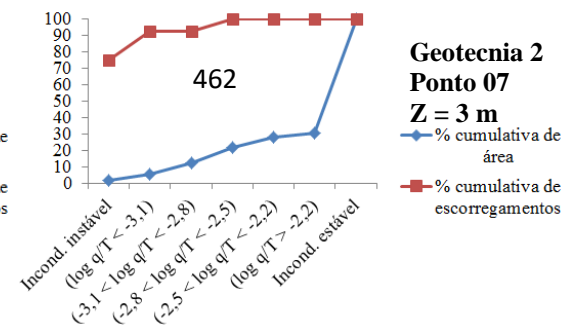
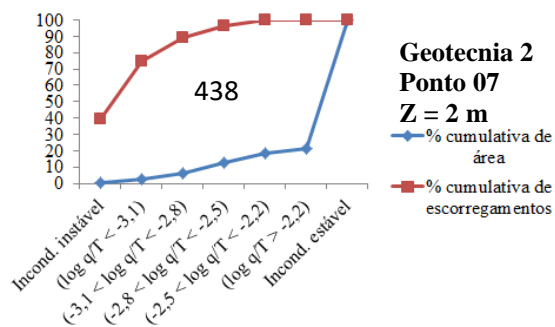
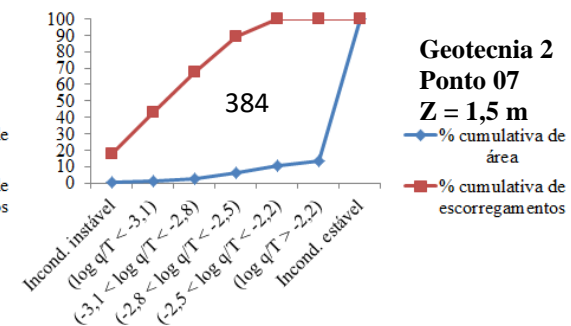
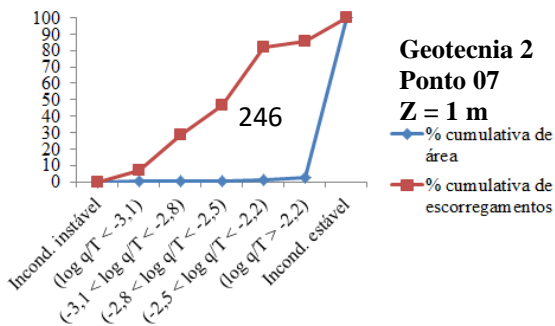
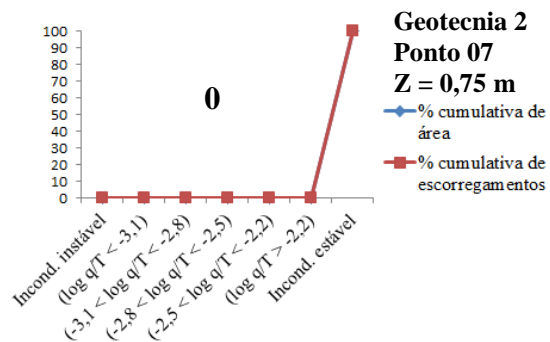
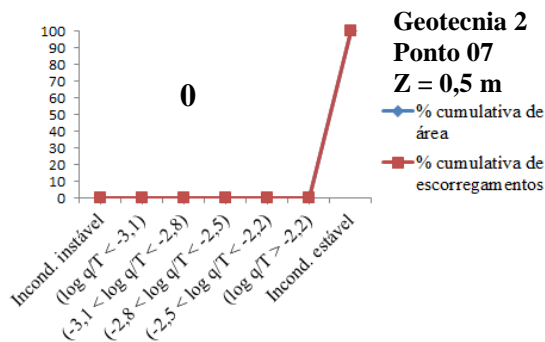
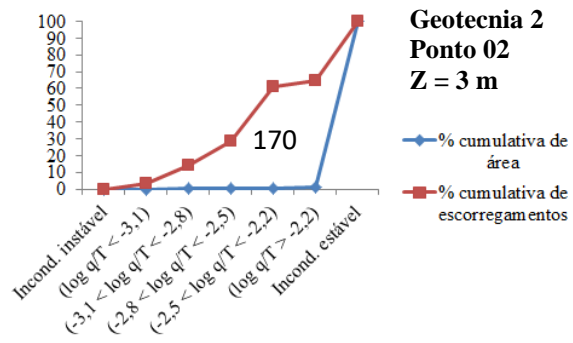
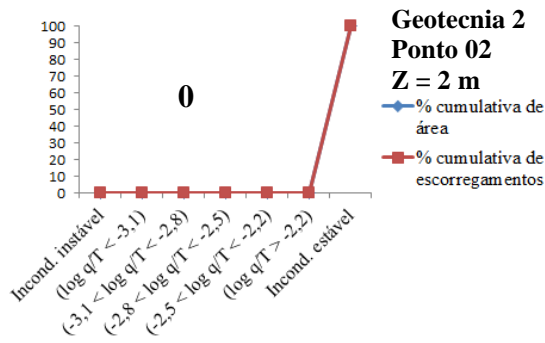


**Geotecnia 1 Ponto 06 Z = 2 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos

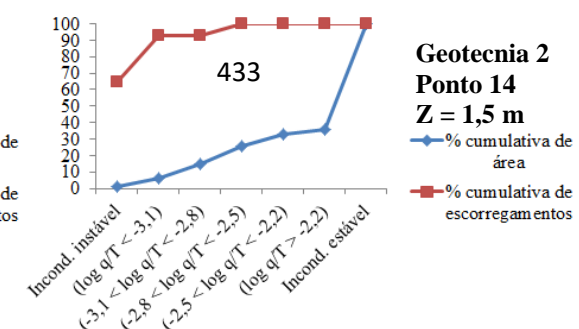
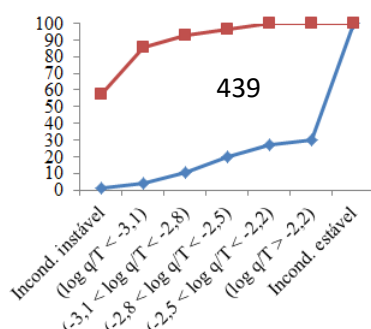
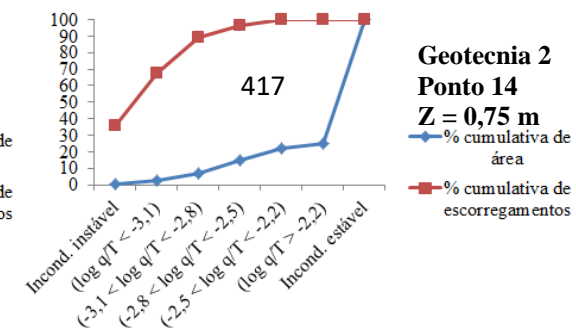
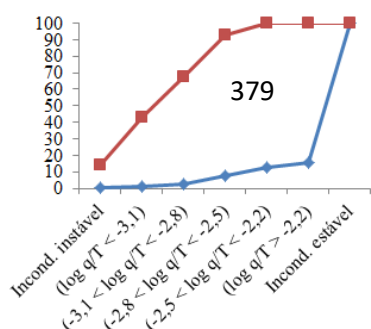
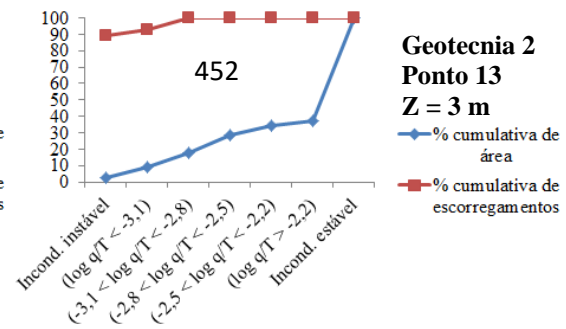
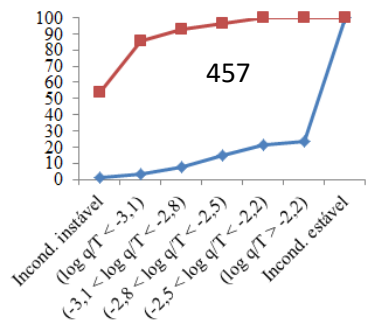
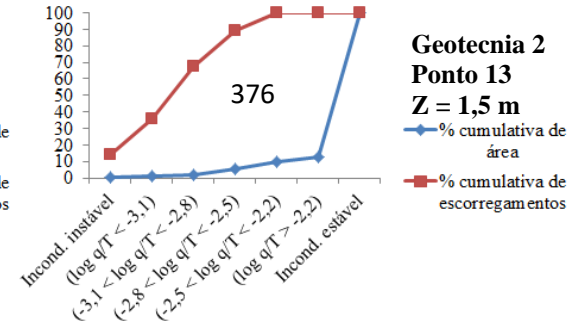
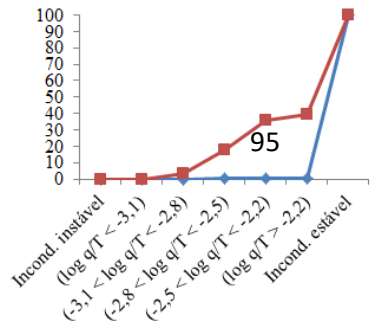
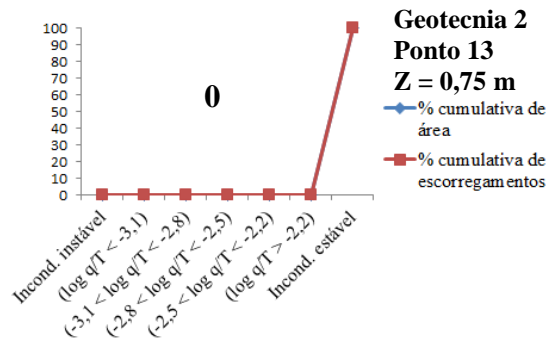
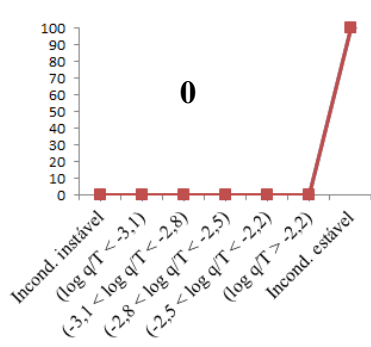


**Geotecnia 1 Ponto 06 Z = 3 m**  
 - % cumulativa de área  
 - % cumulativa de escorregamentos

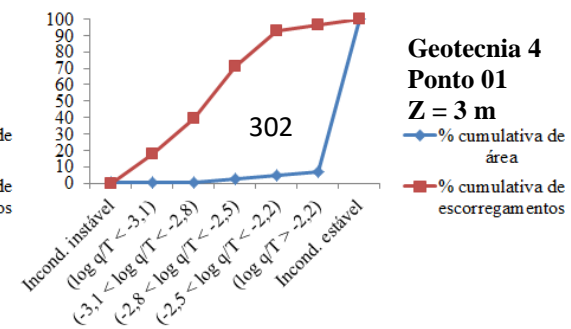
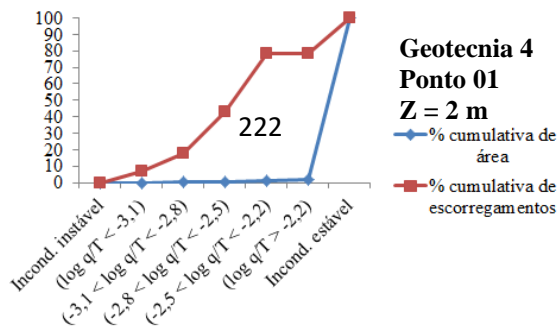
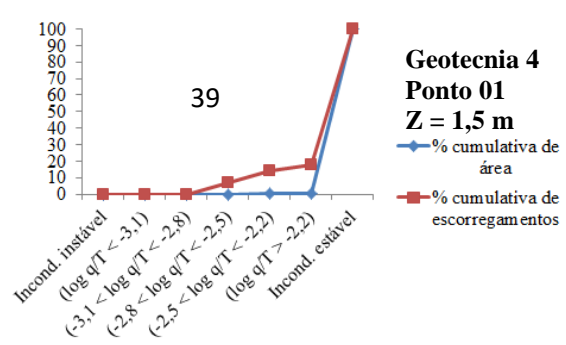
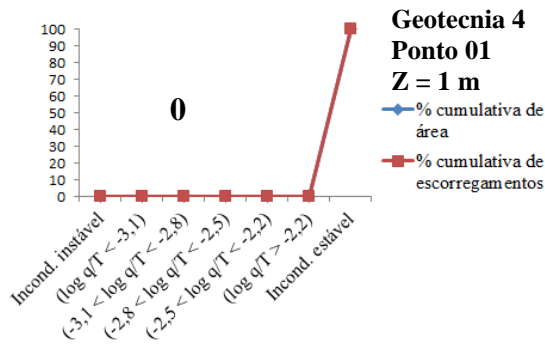
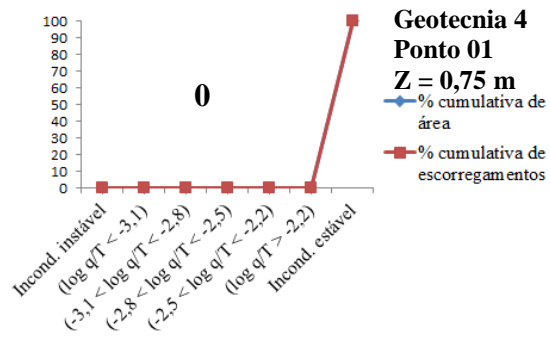
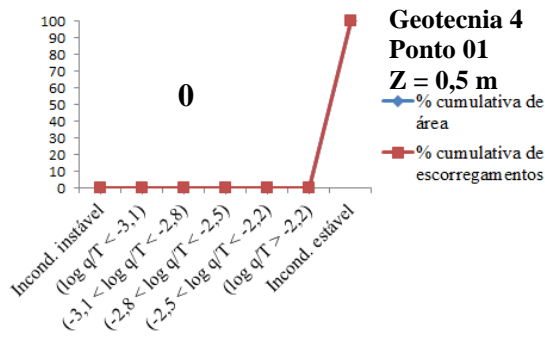
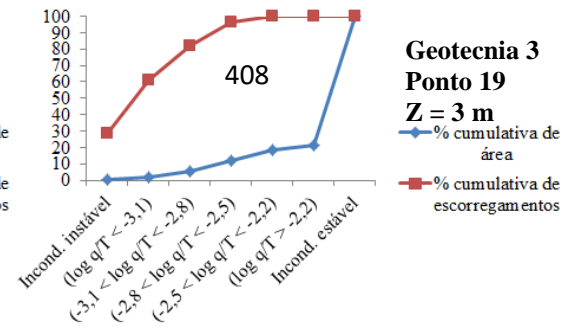
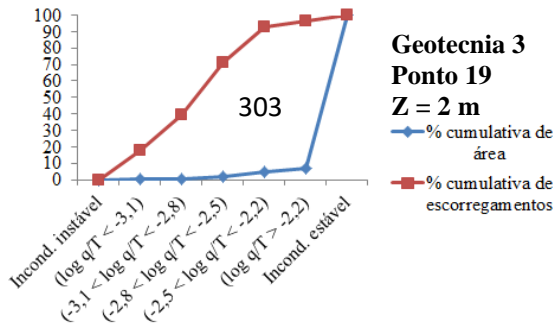
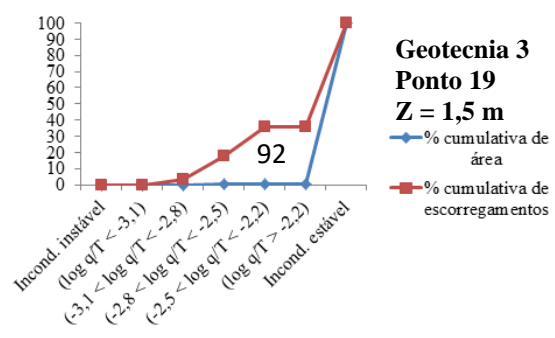
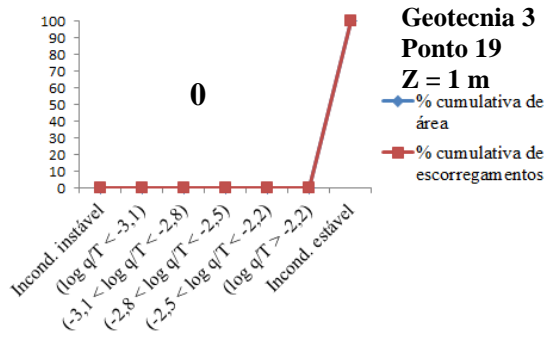


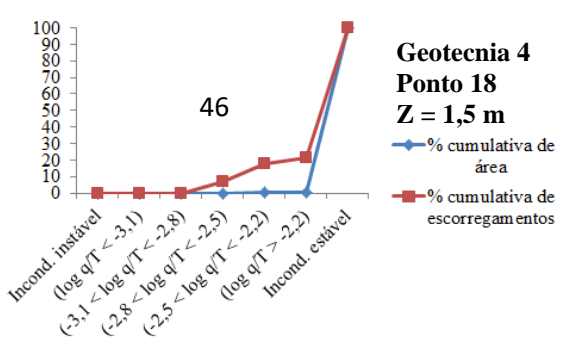
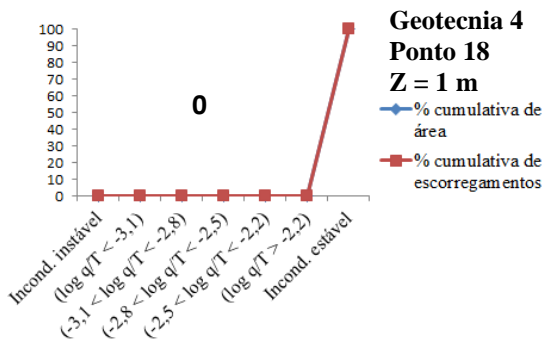
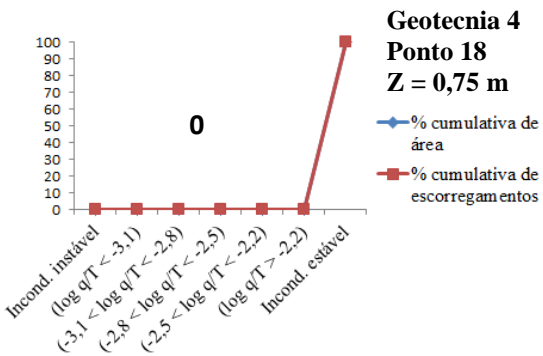
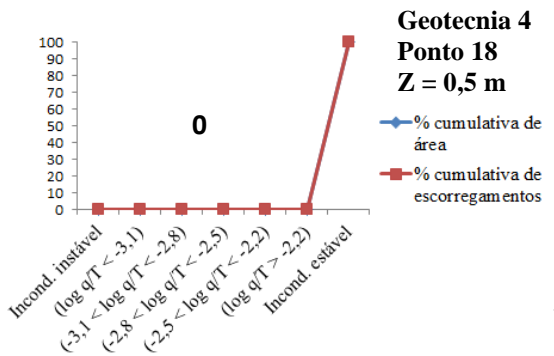
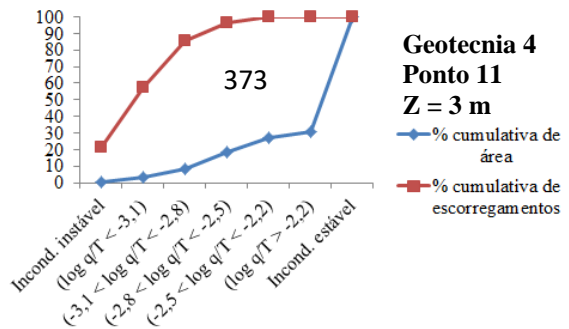
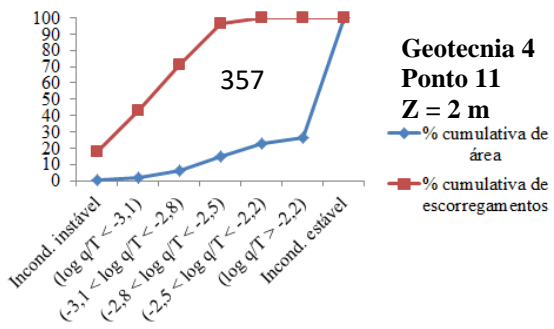
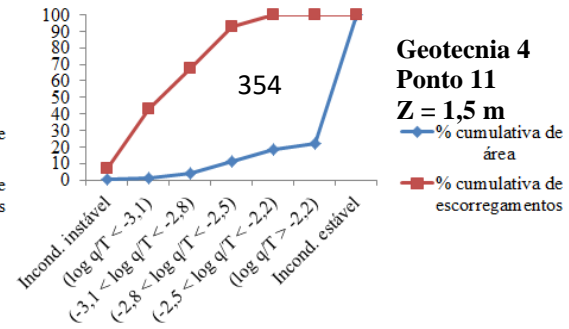
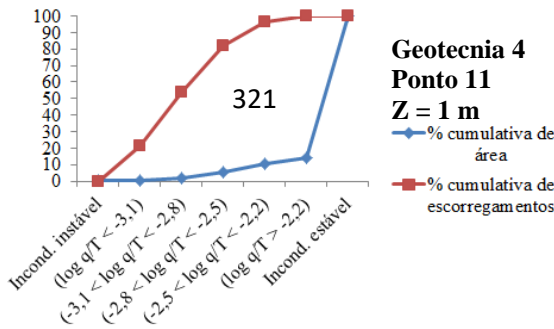
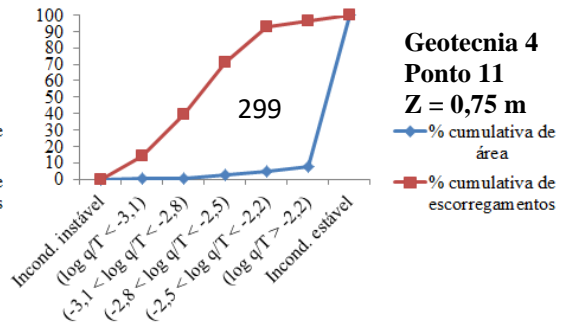
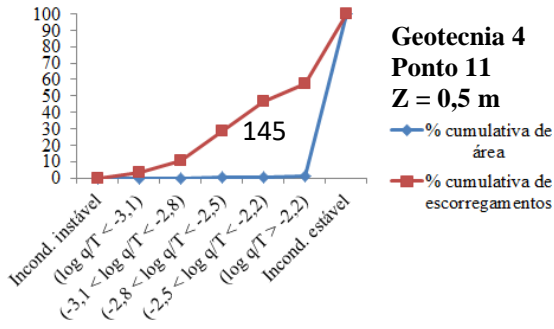








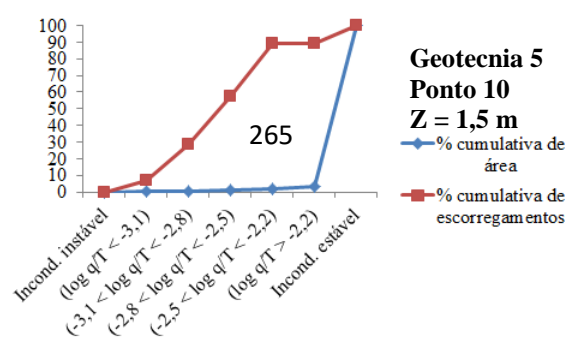
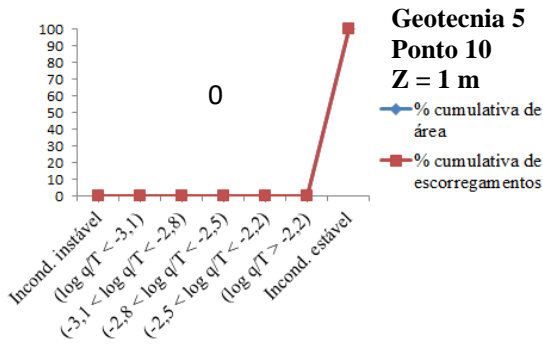
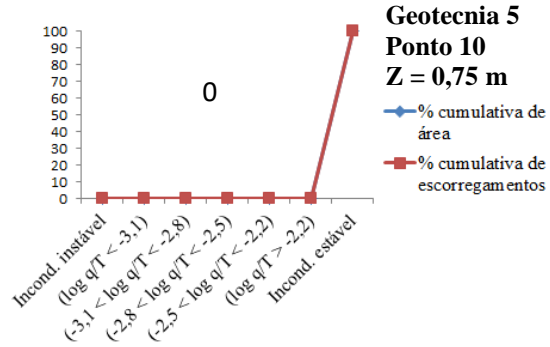
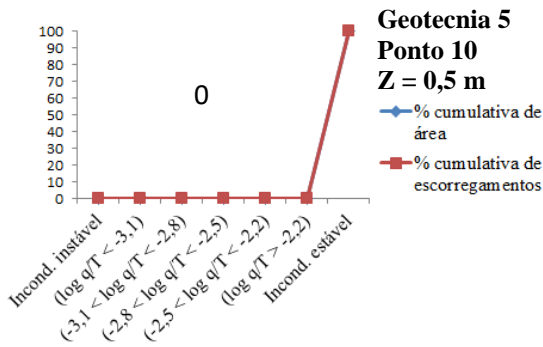
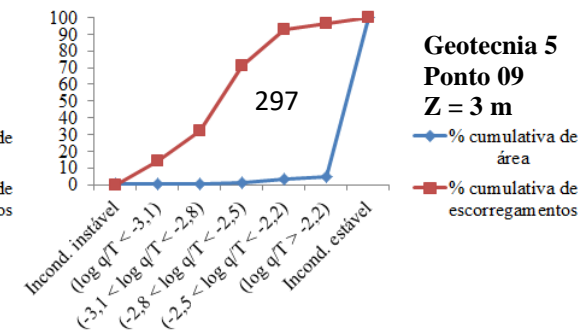
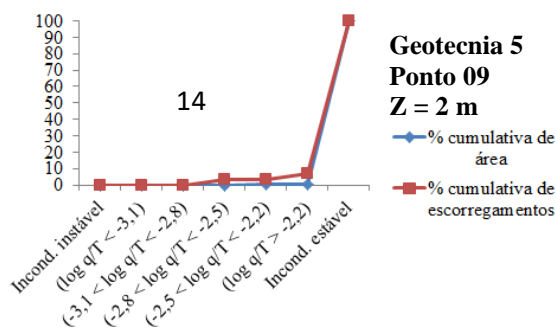
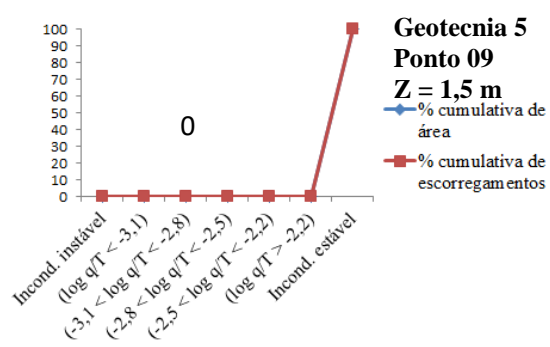
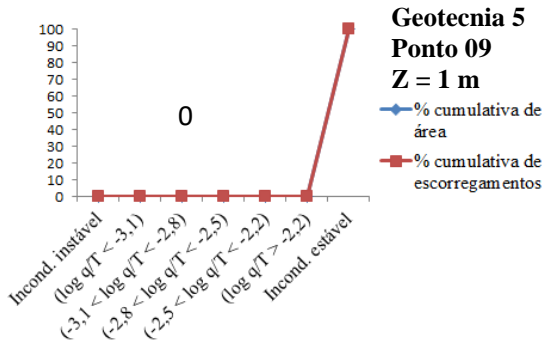
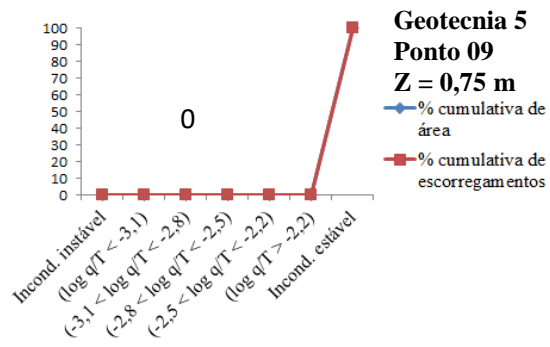
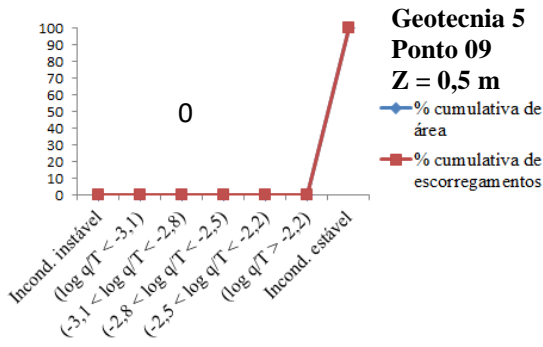






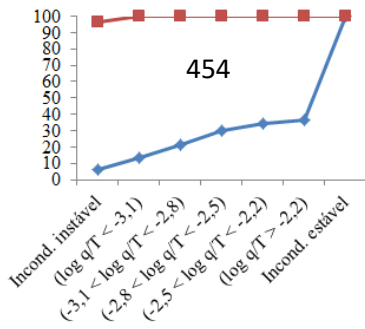








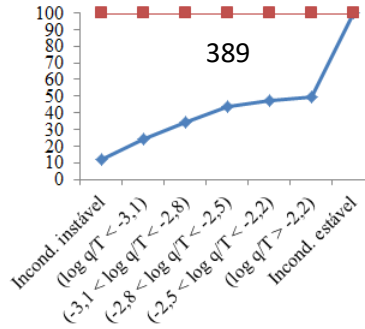




**Geotecnia 5  
Ponto 16  
Z = 1 m**

454

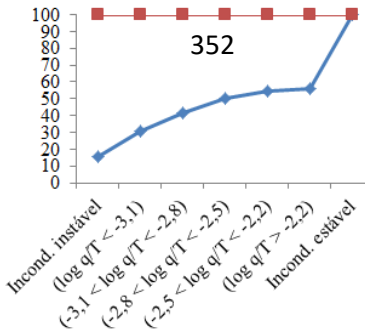
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 16  
Z = 1,5 m**

389

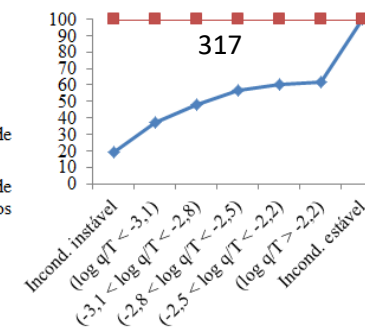
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 16  
Z = 2 m**

352

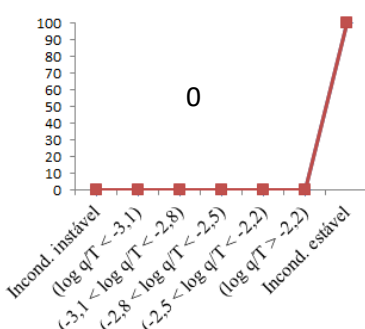
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 16  
Z = 3 m**

317

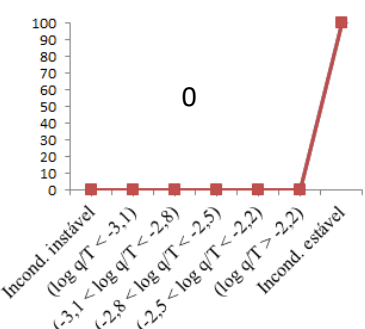
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 17  
Z = 0,5 m**

0

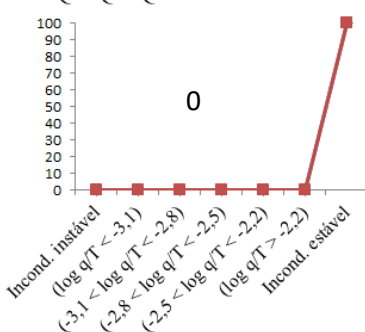
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 17  
Z = 0,75 m**

0

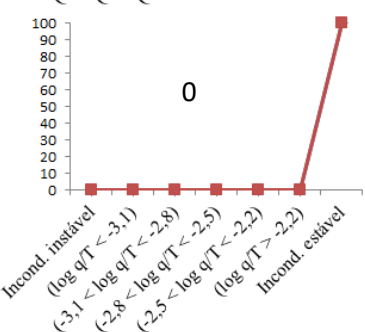
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 17  
Z = 1 m**

0

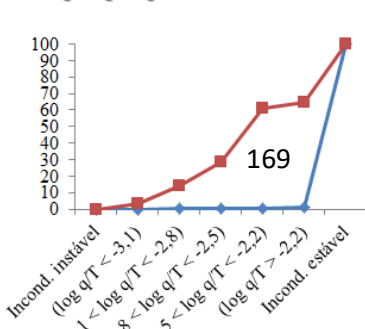
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 17  
Z = 1,5 m**

0

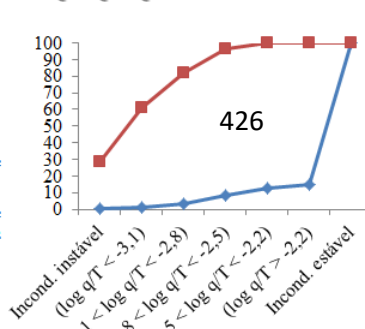
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



**Geotecnia 5  
Ponto 17  
Z = 2 m**

169

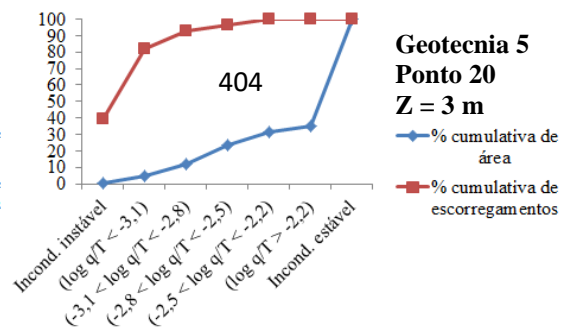
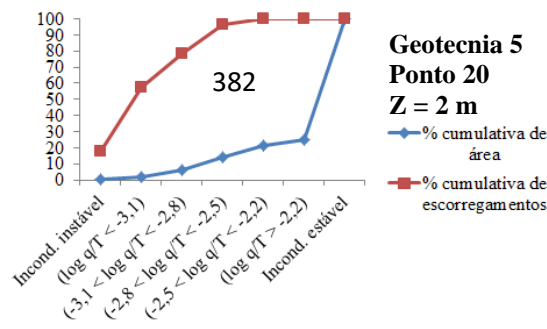
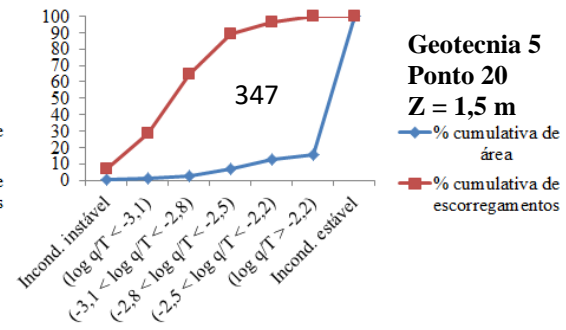
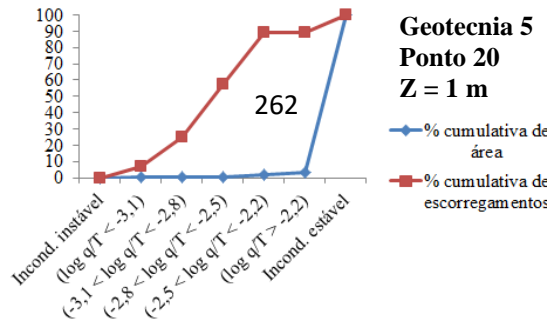
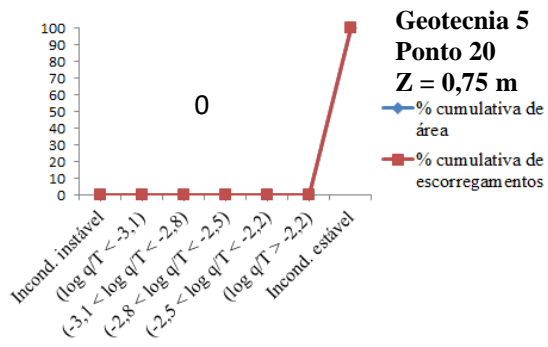
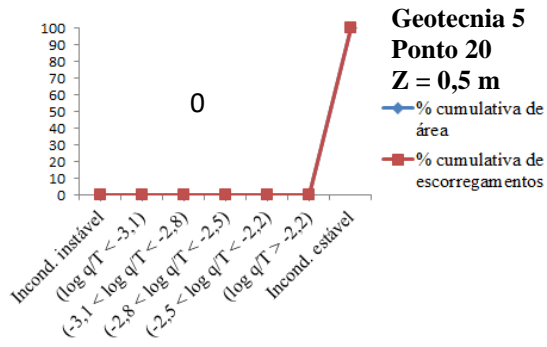
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



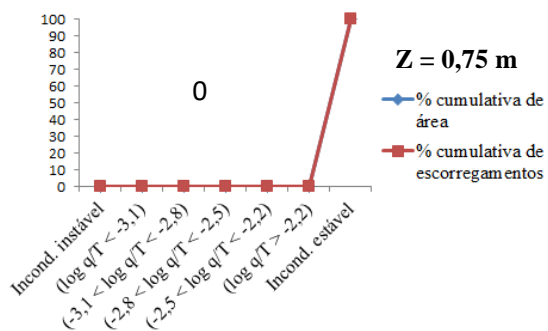
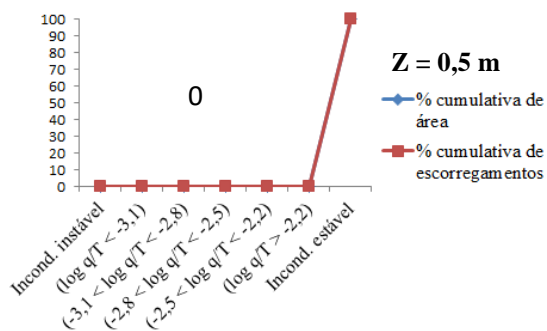
**Geotecnia 5  
Ponto 17  
Z = 3 m**

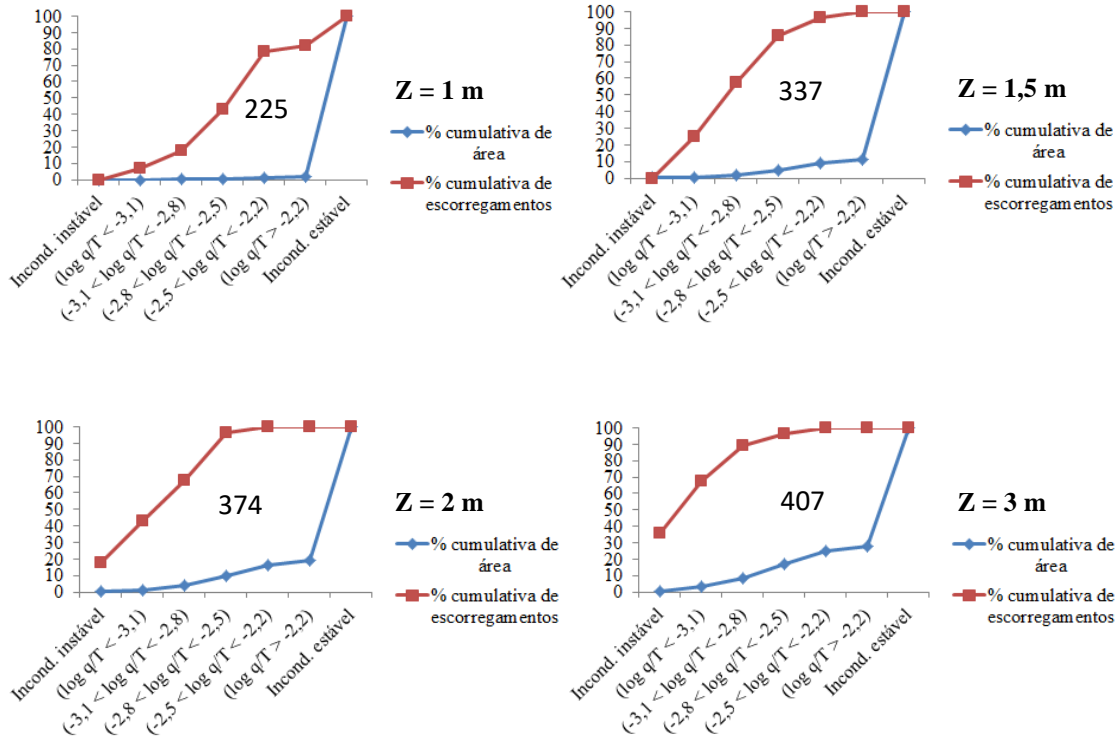
426

% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos

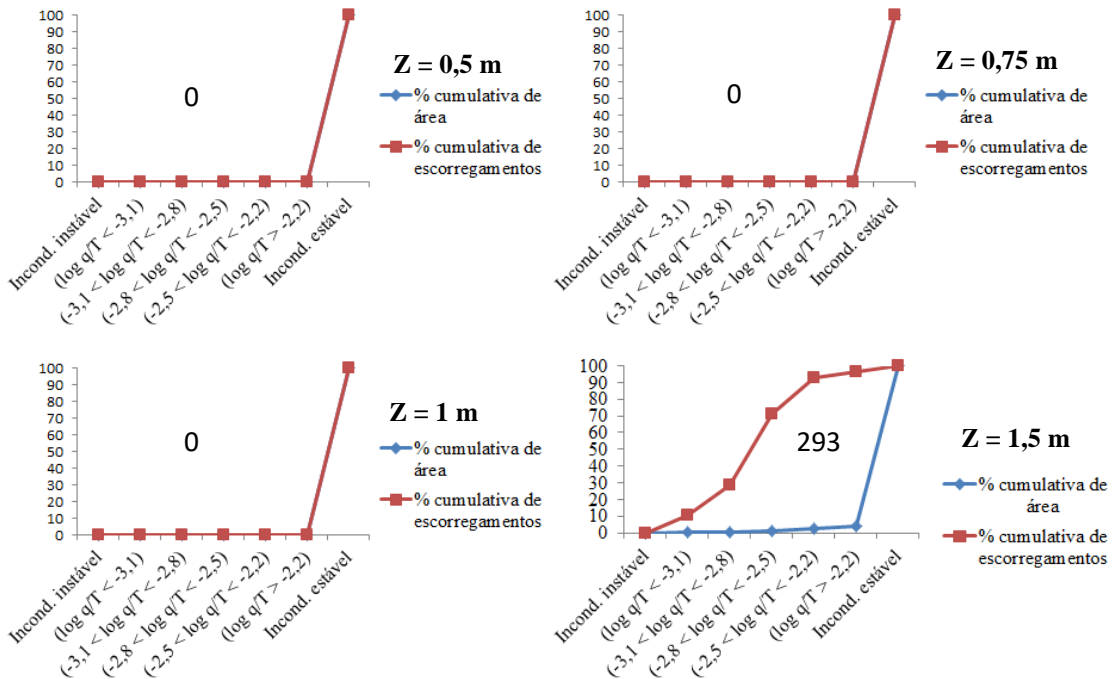


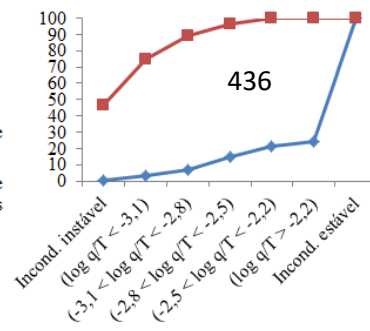
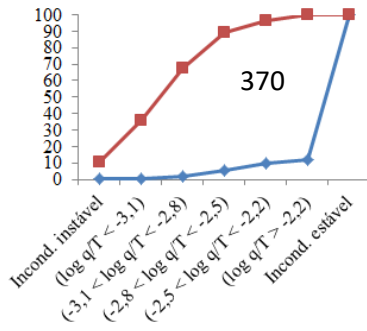
**Cenário 5**



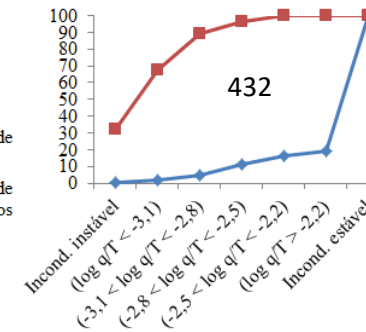
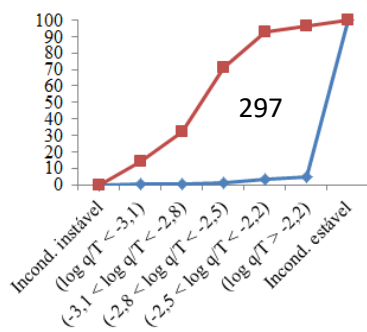
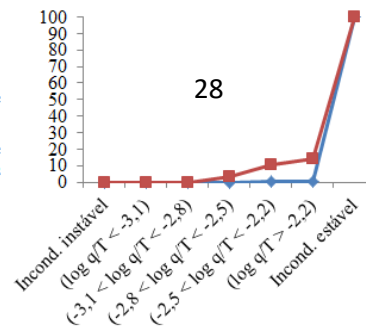
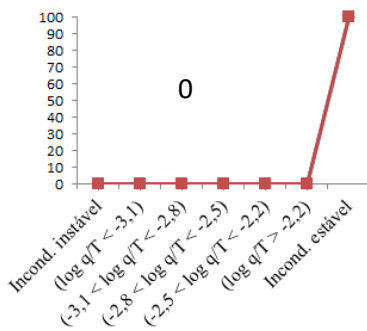
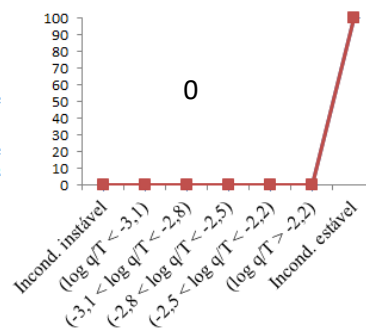
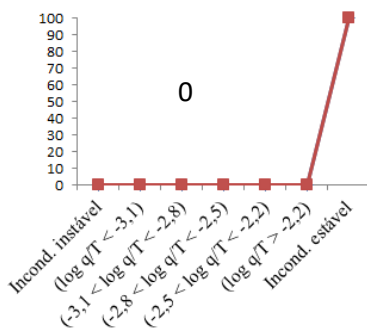


Cenário 6

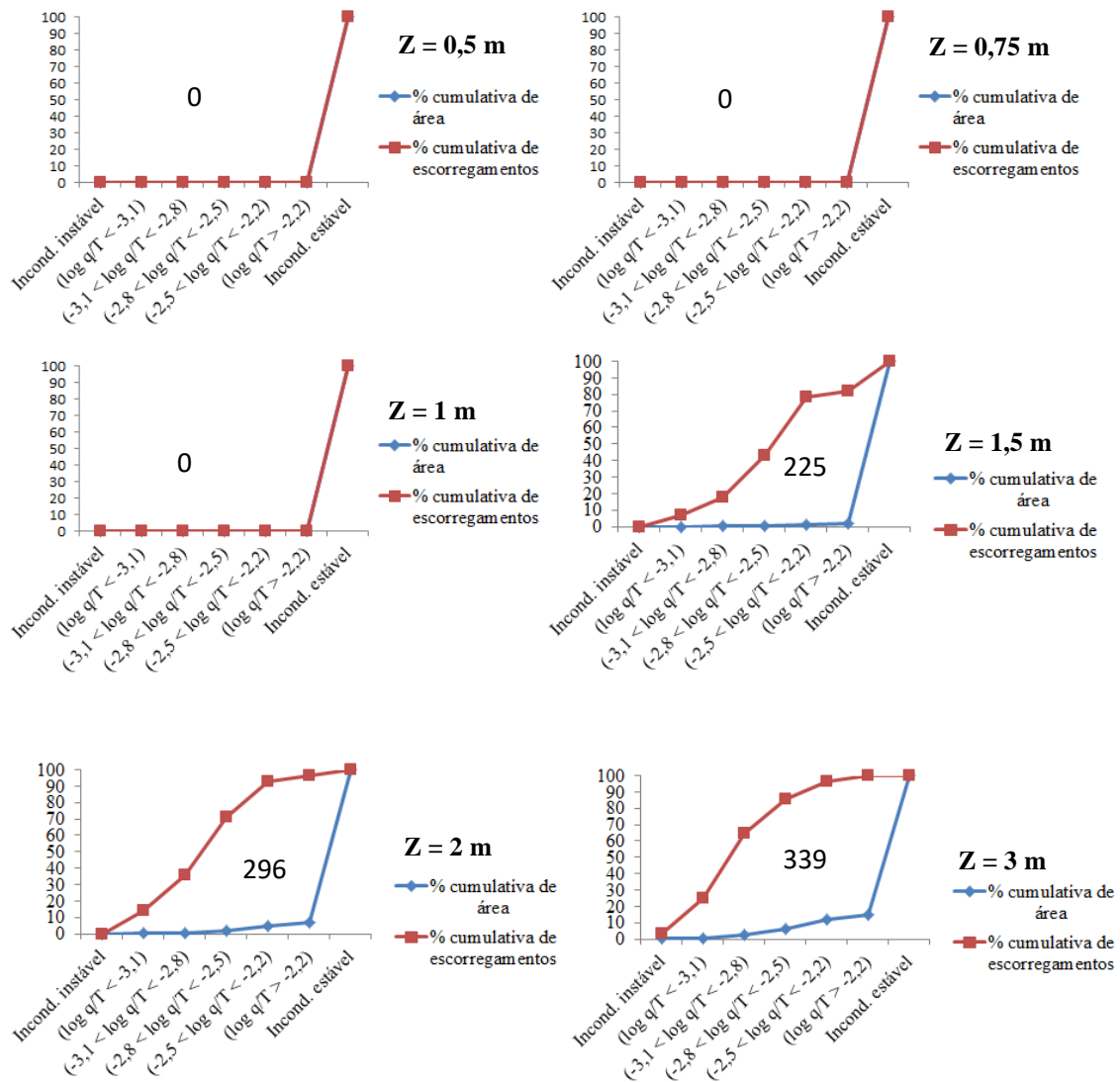




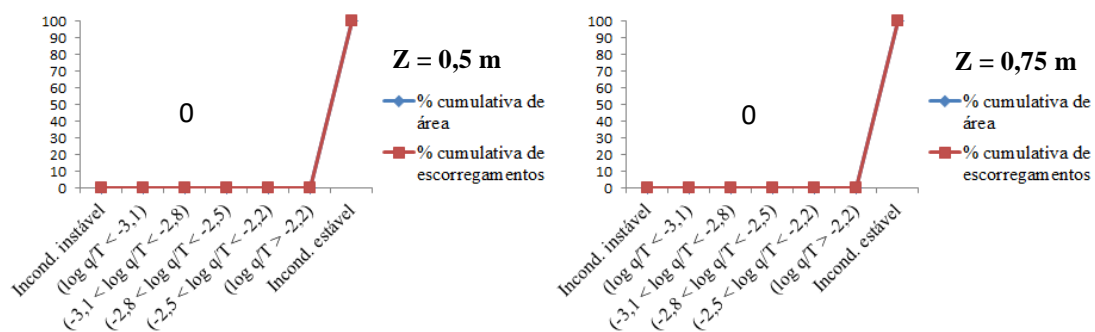
Cenário 7

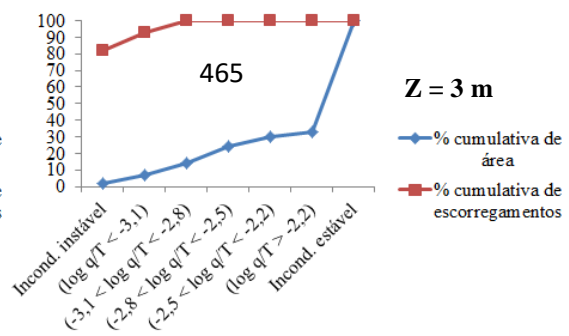
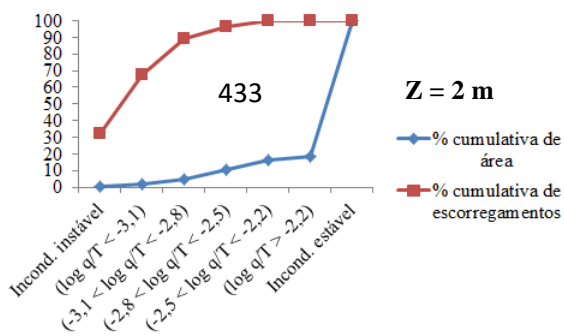
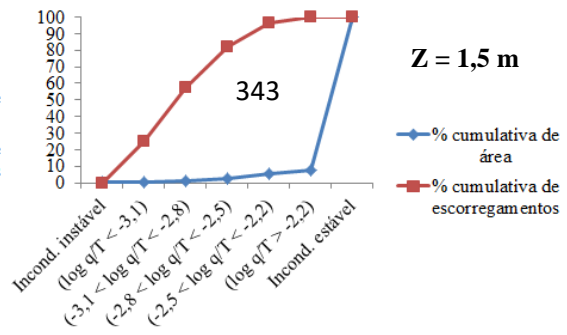
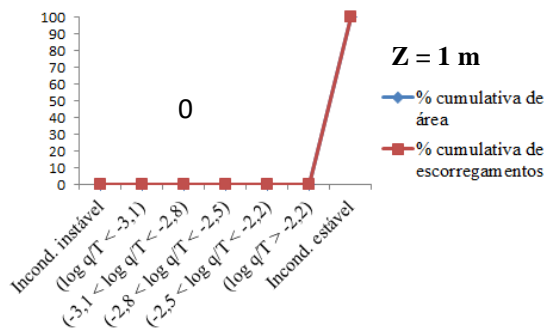


Cenário 8

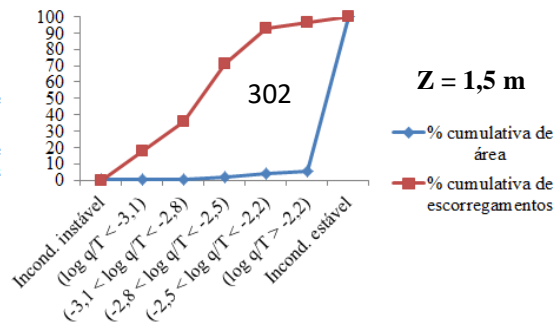
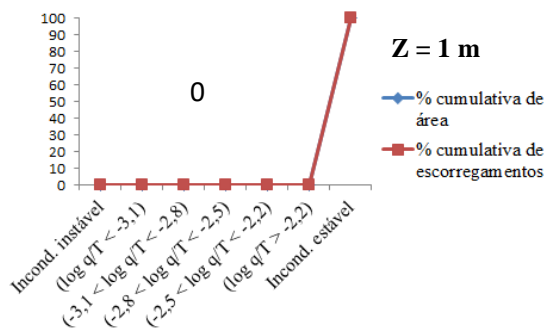
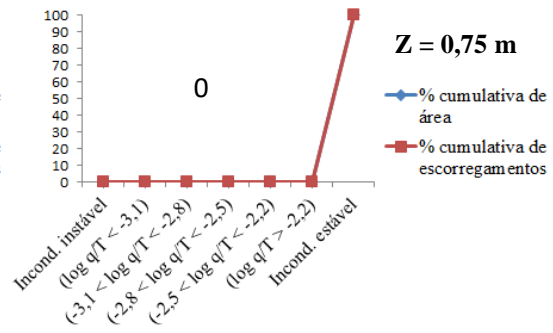
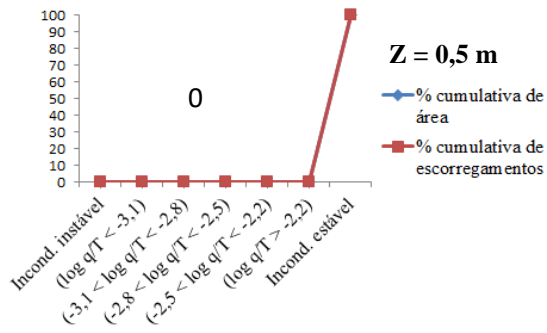


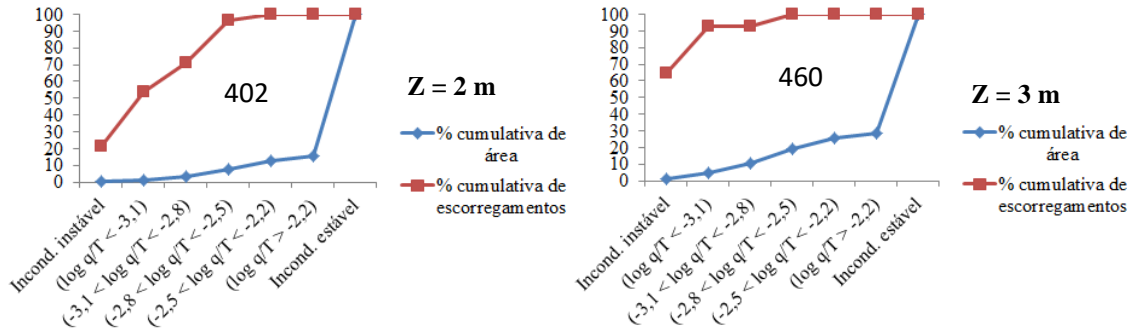
Cenário 9



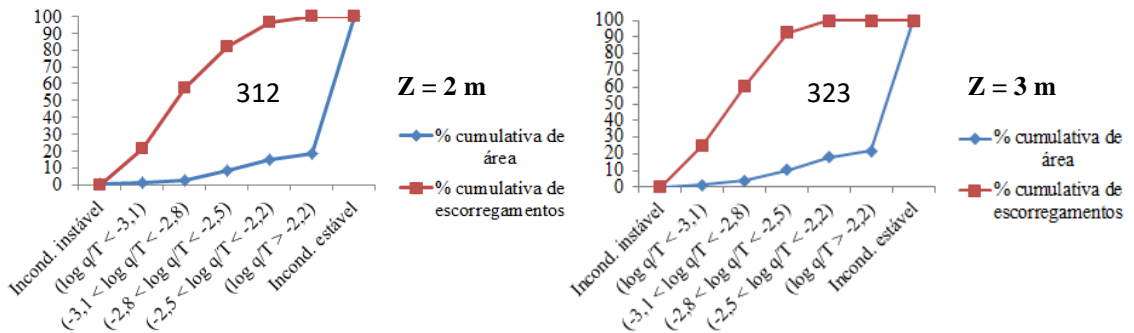
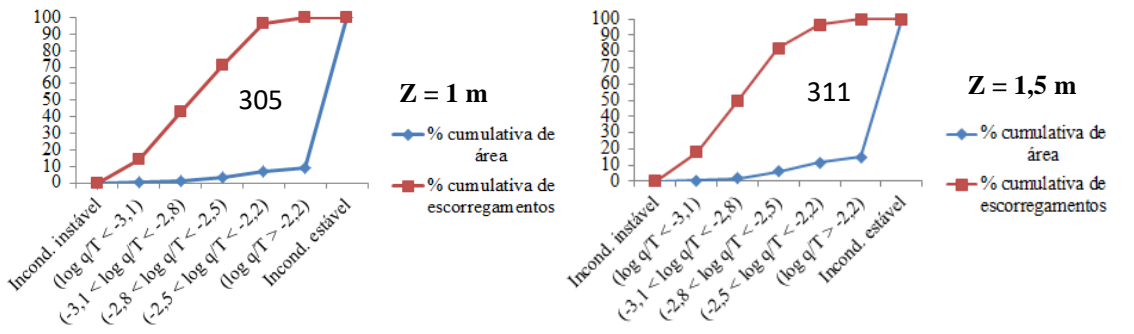
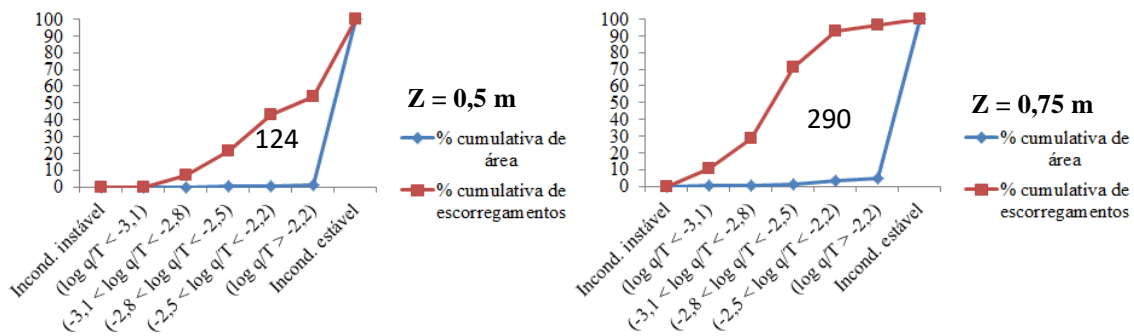


Cenário 10

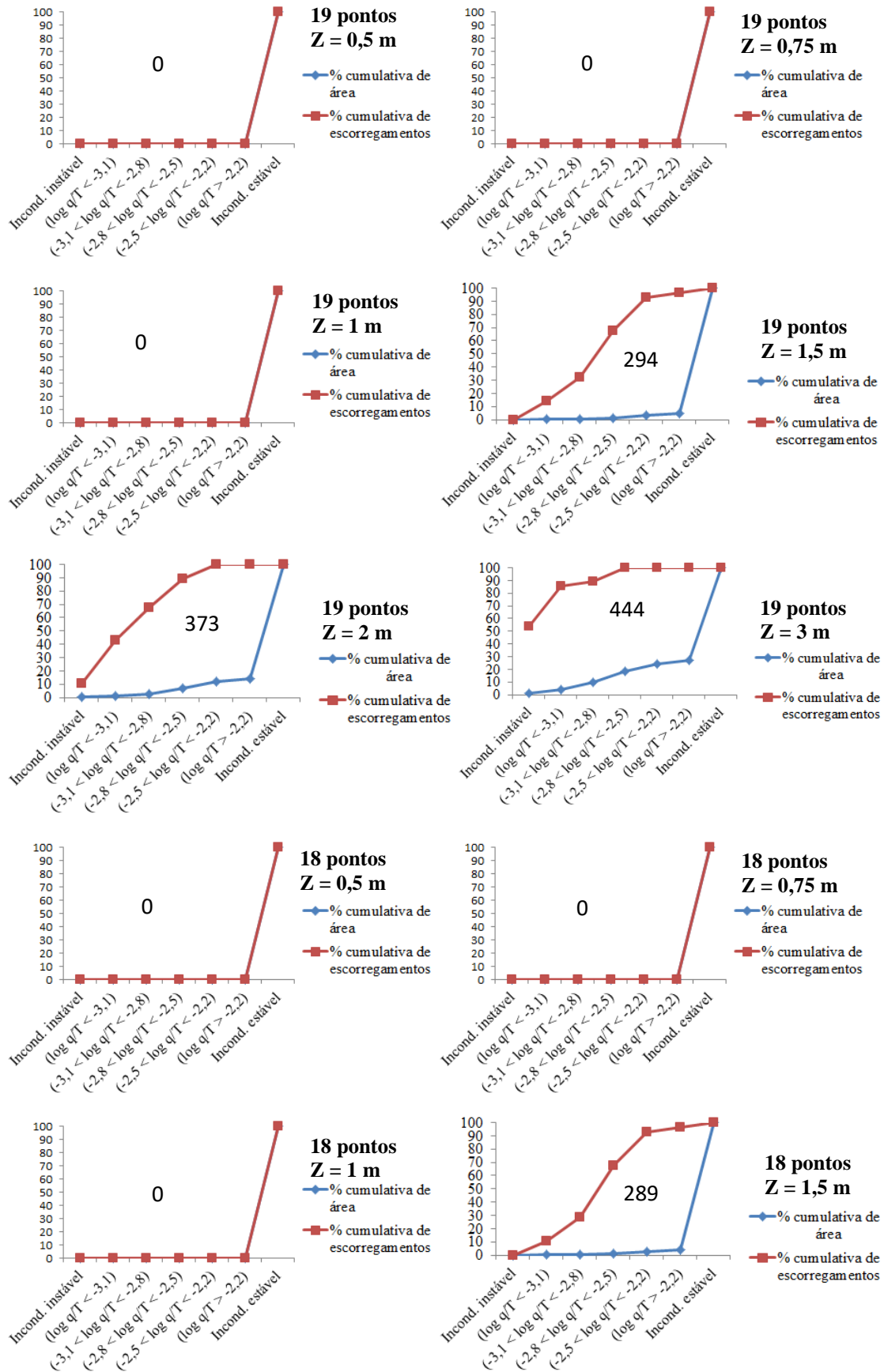




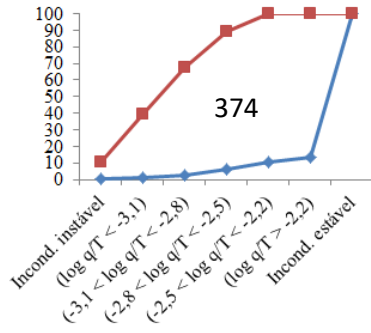
Cenário 11



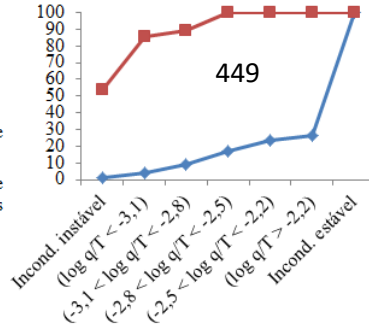
Cenário 12



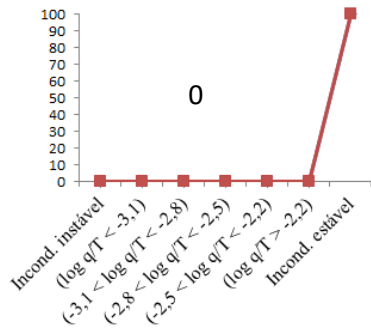




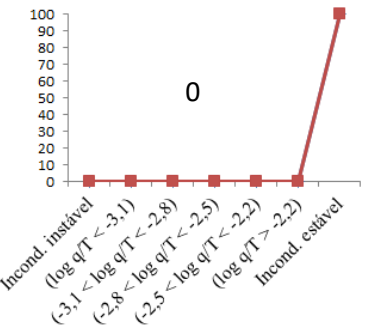
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



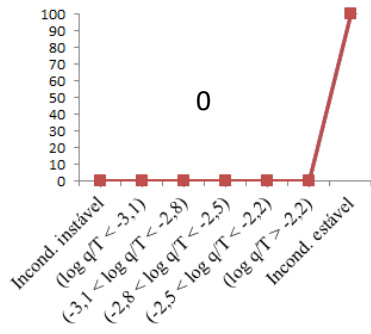
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



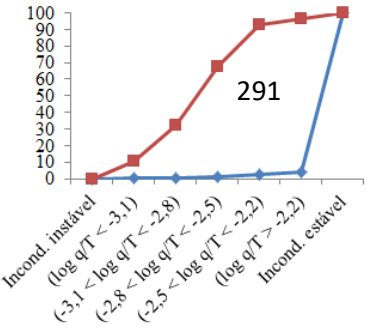
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



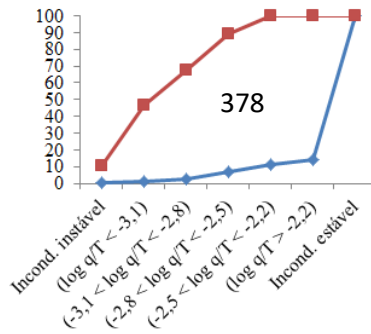
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



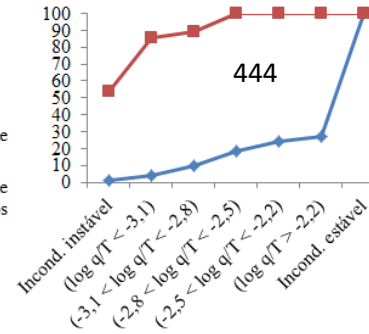
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



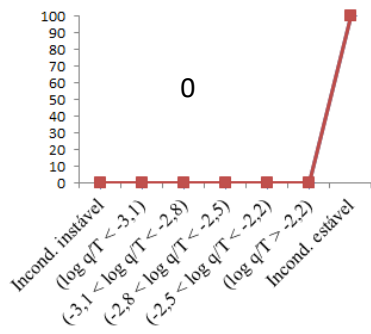
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



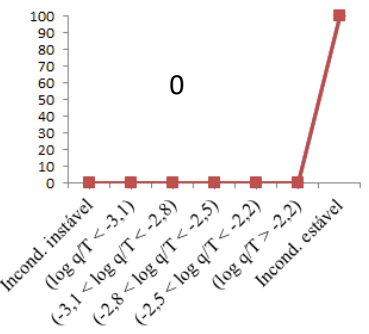
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos



% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos

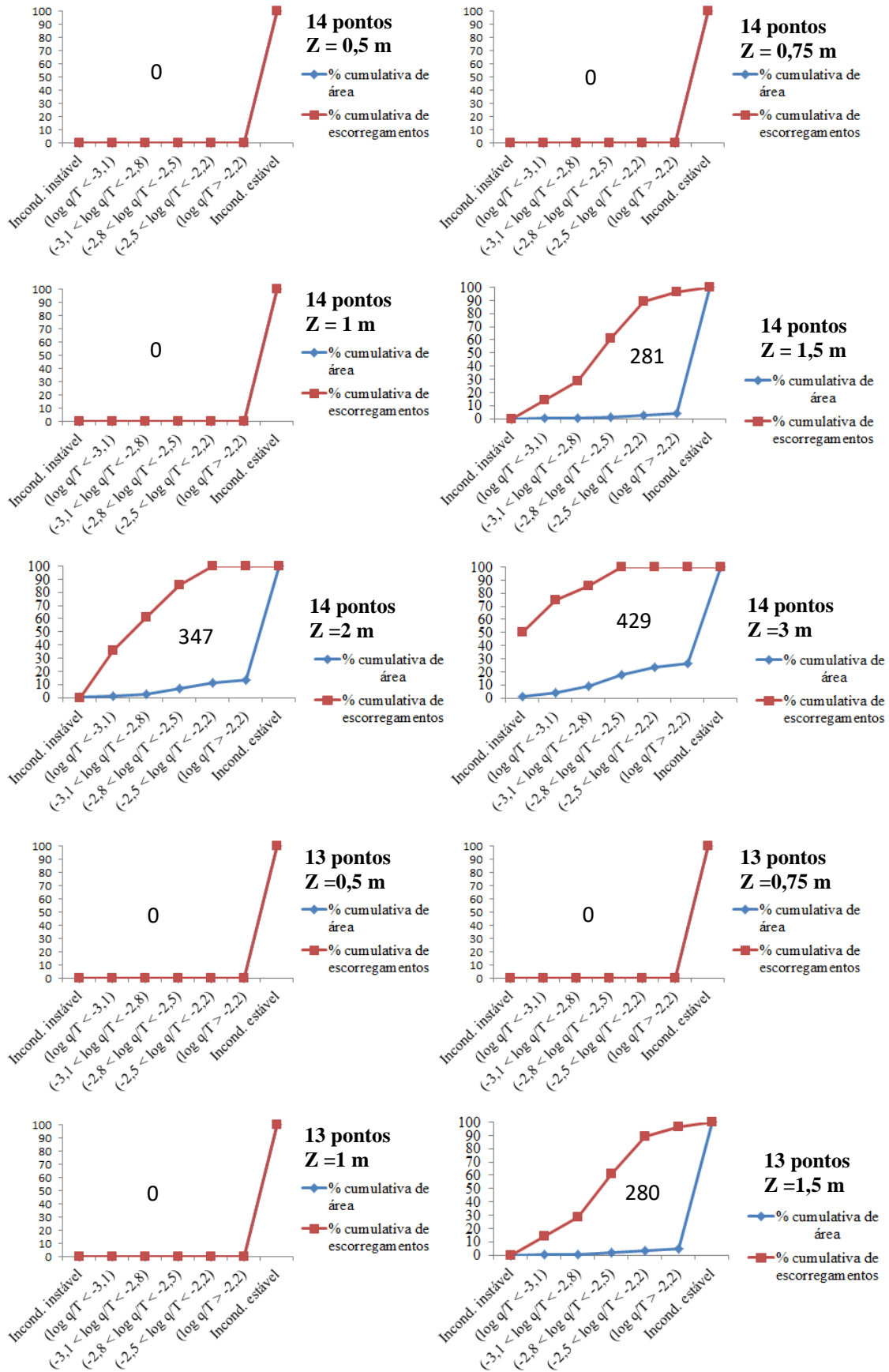


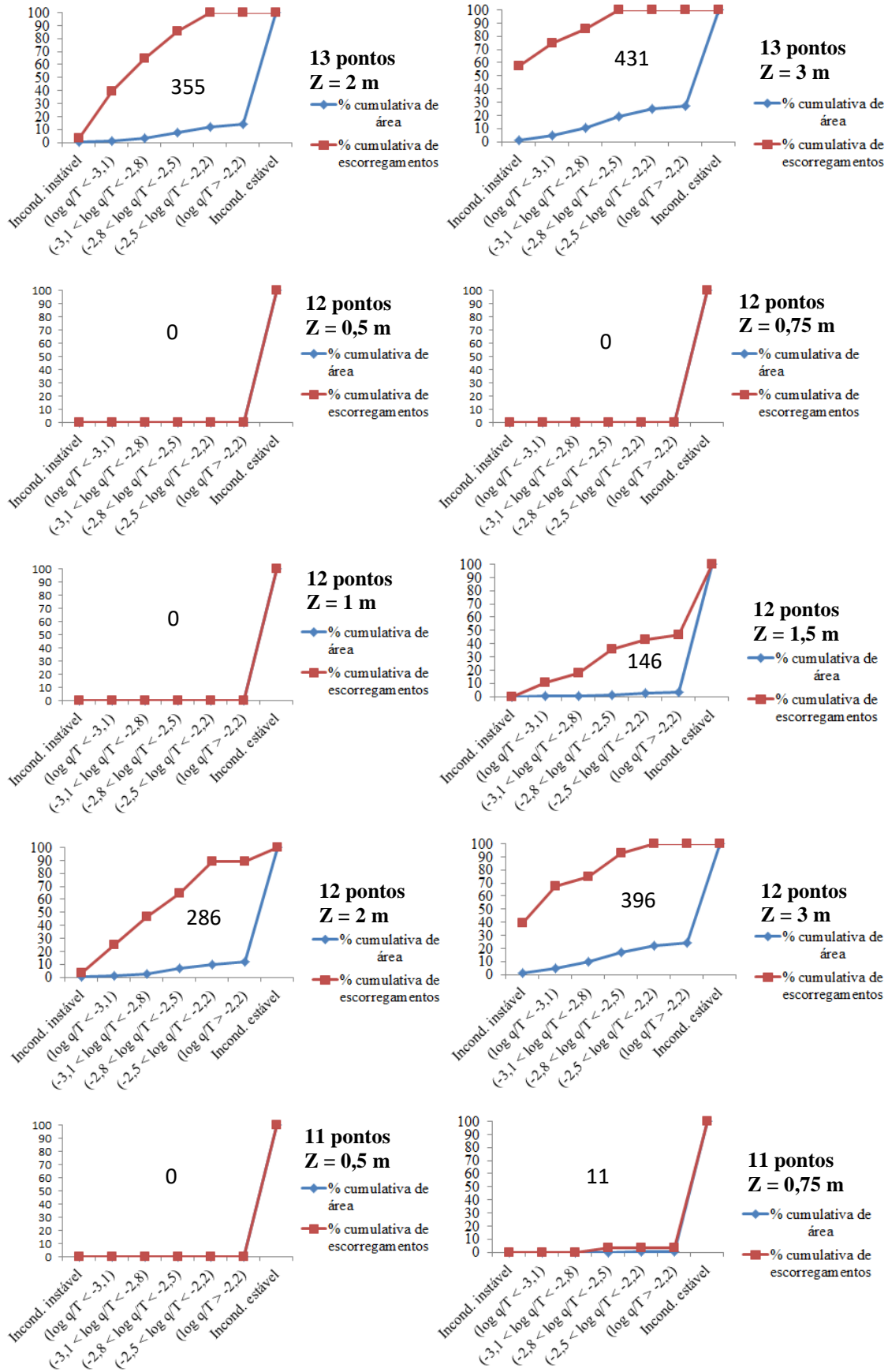
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos

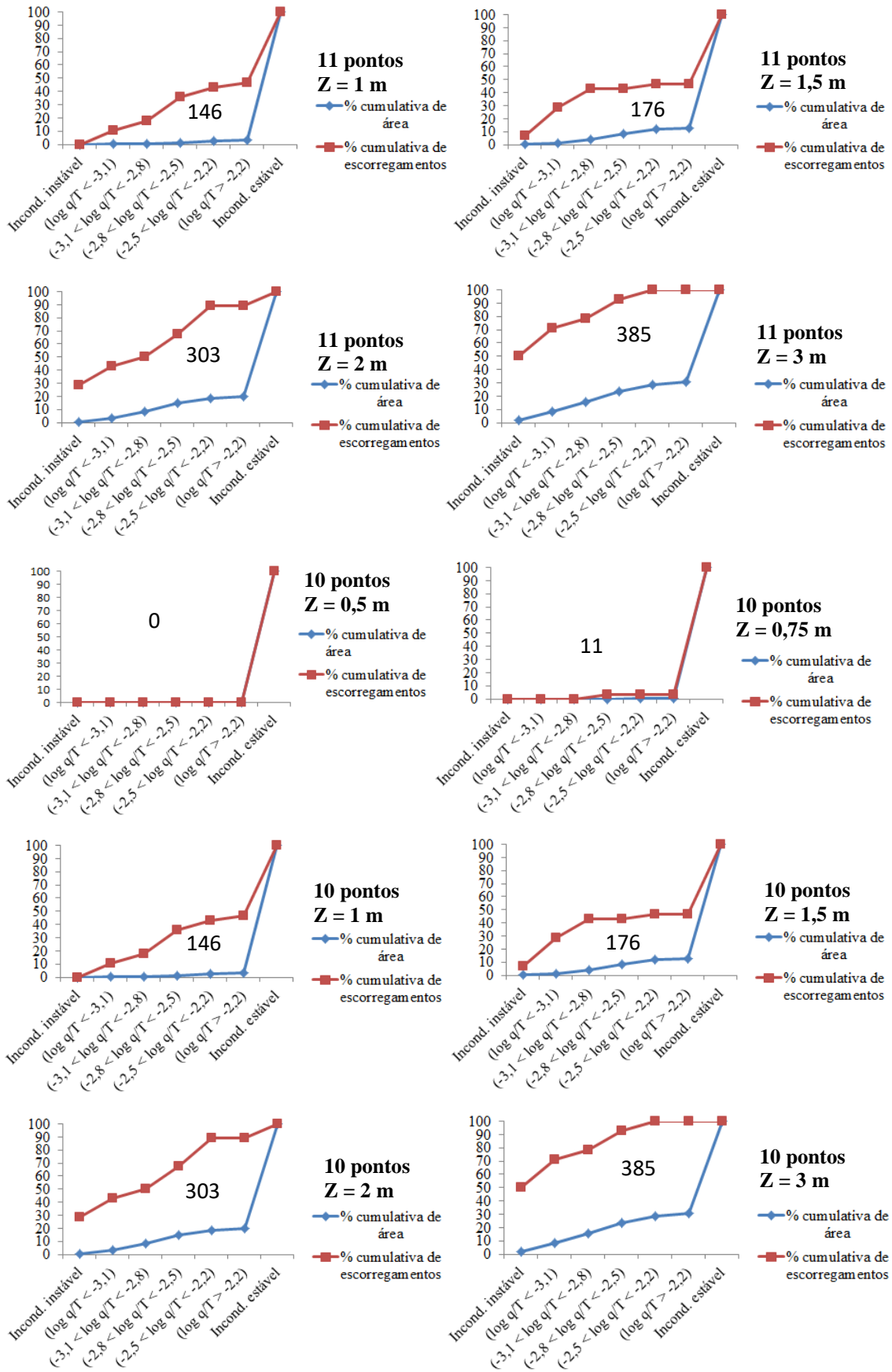


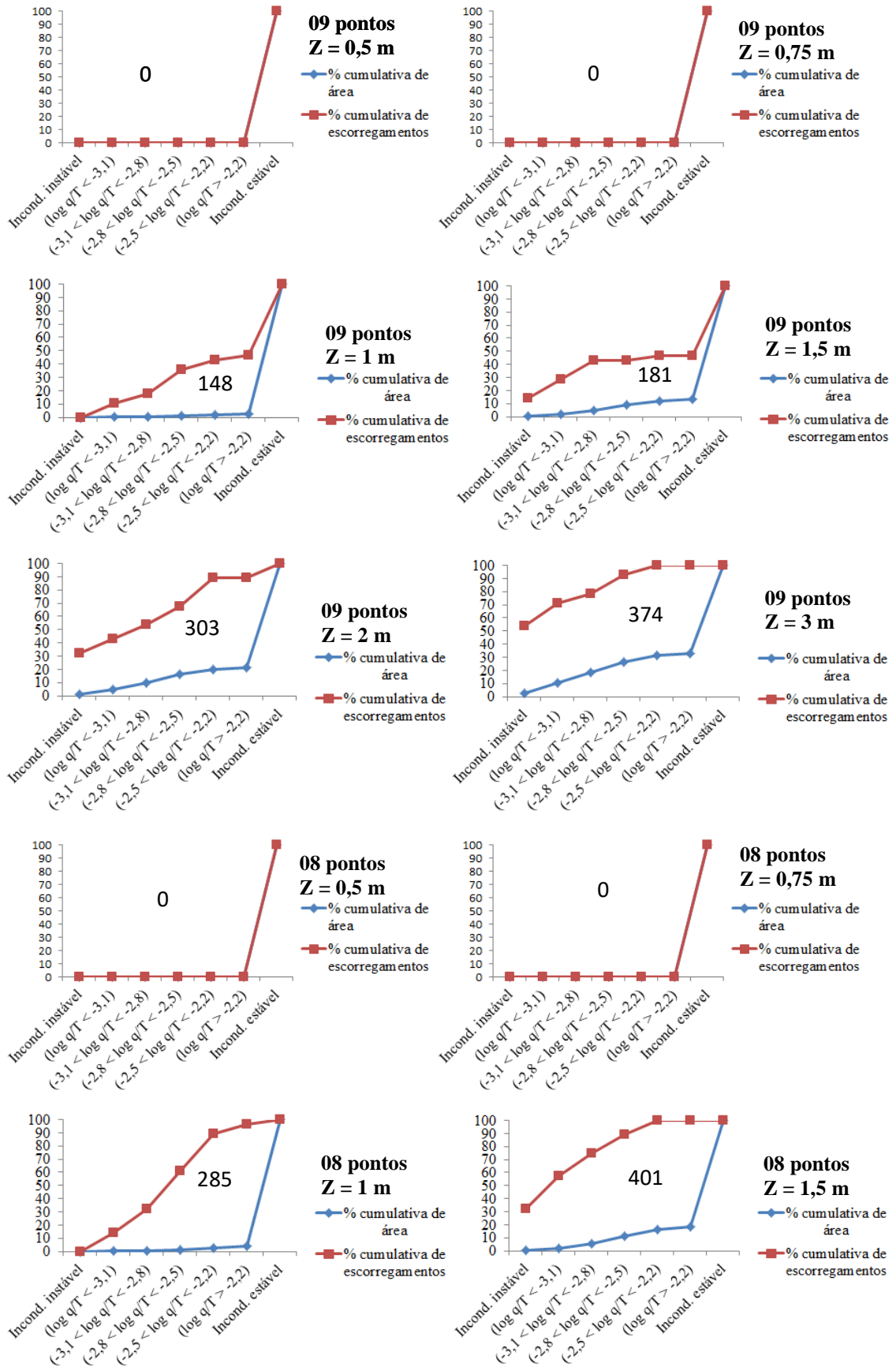
% cumulativa de área  
% cumulativa de escorregamentos

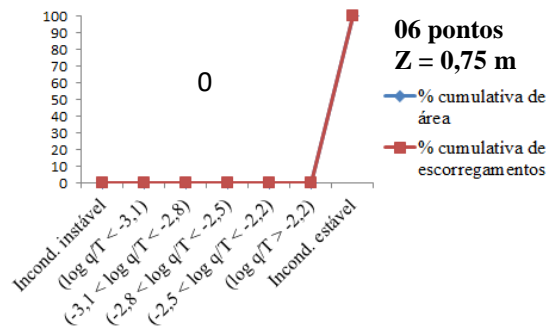
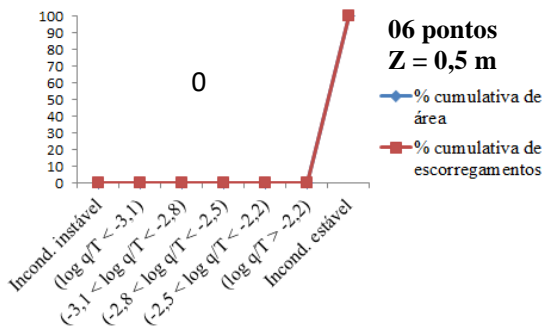
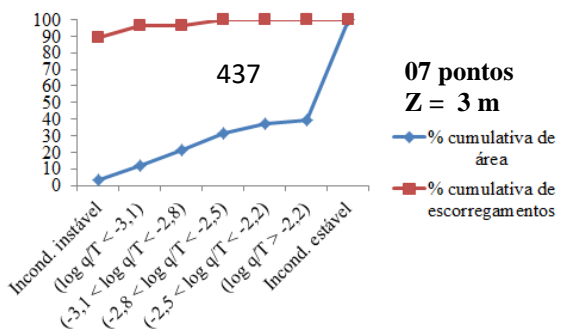
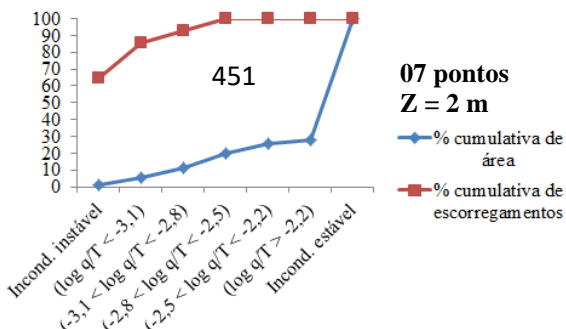
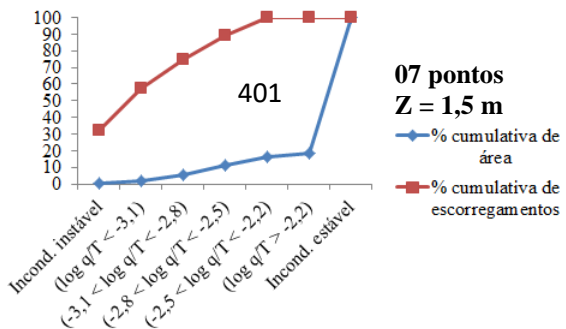
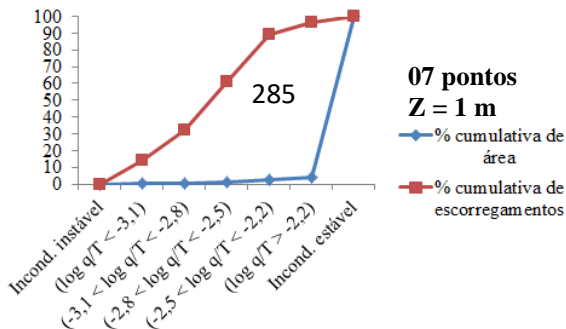
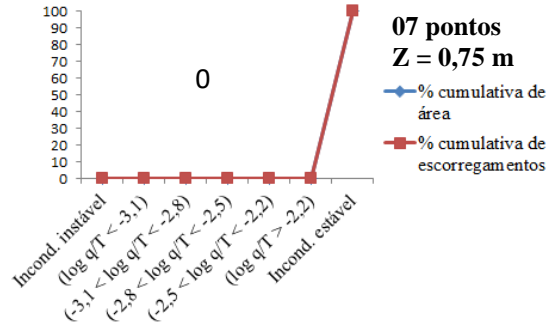
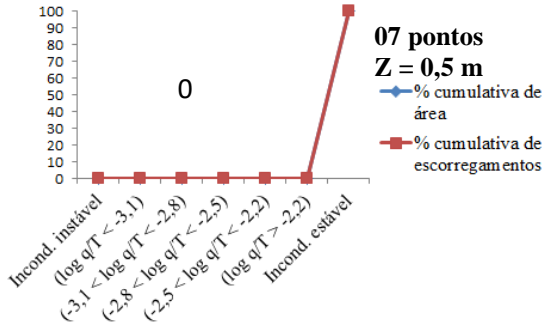
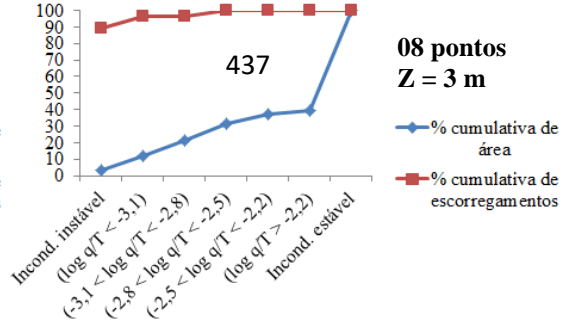
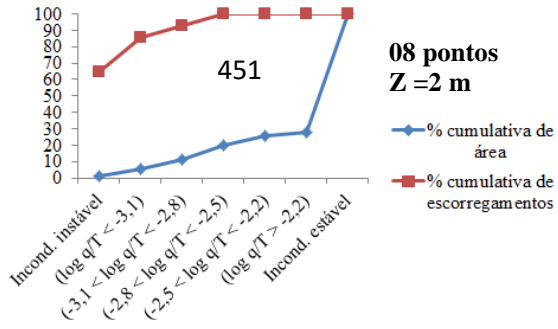




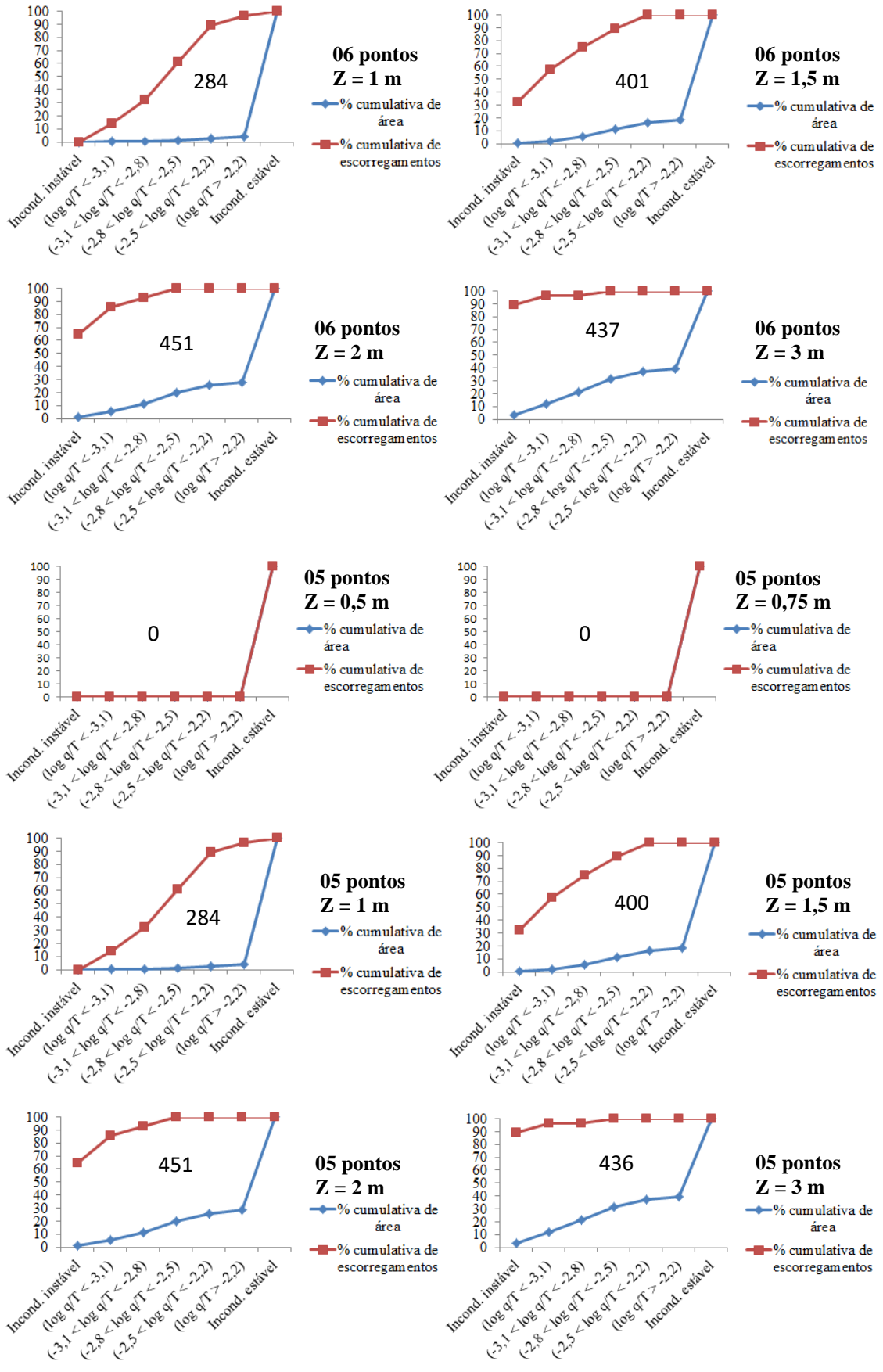






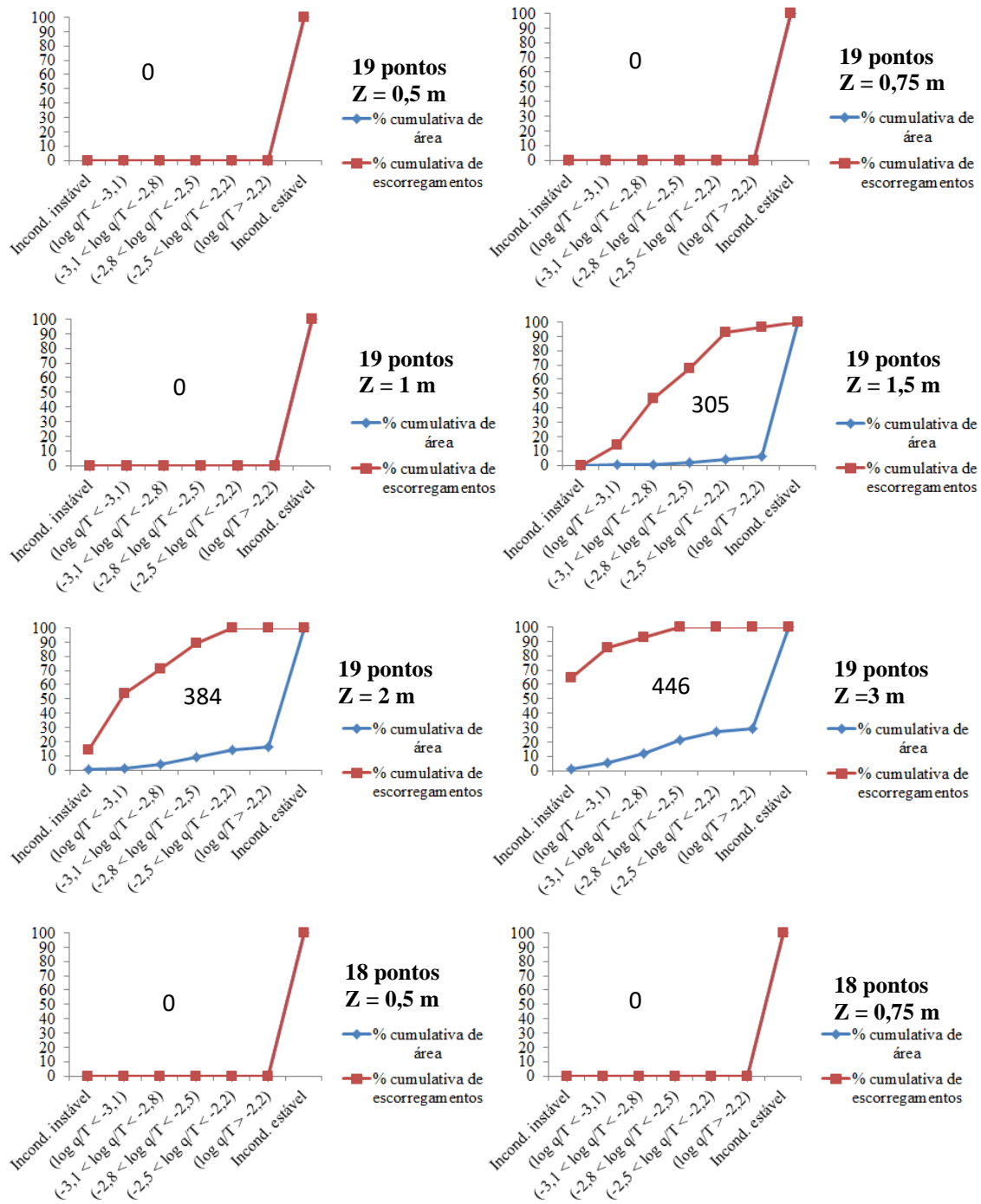


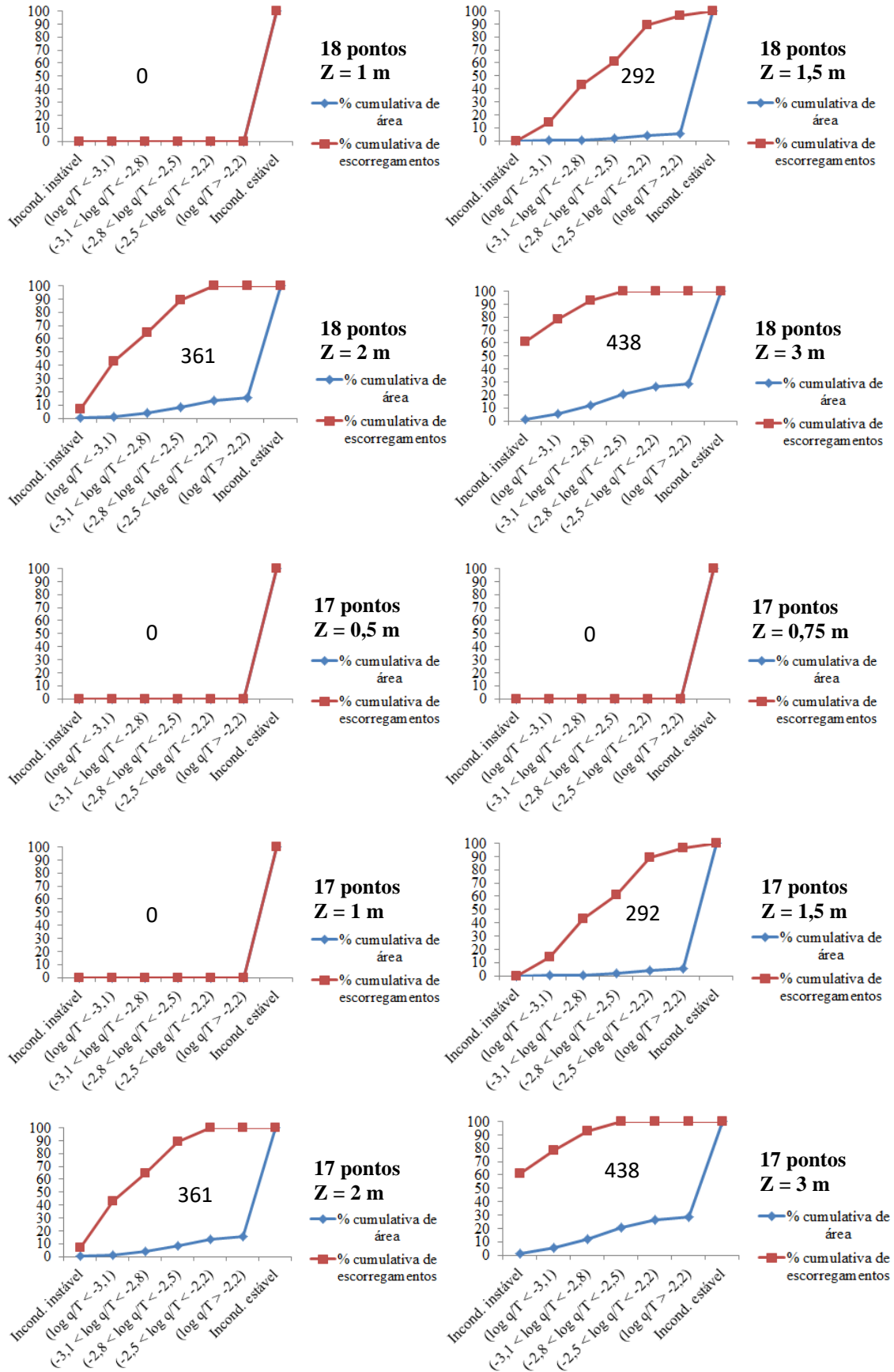


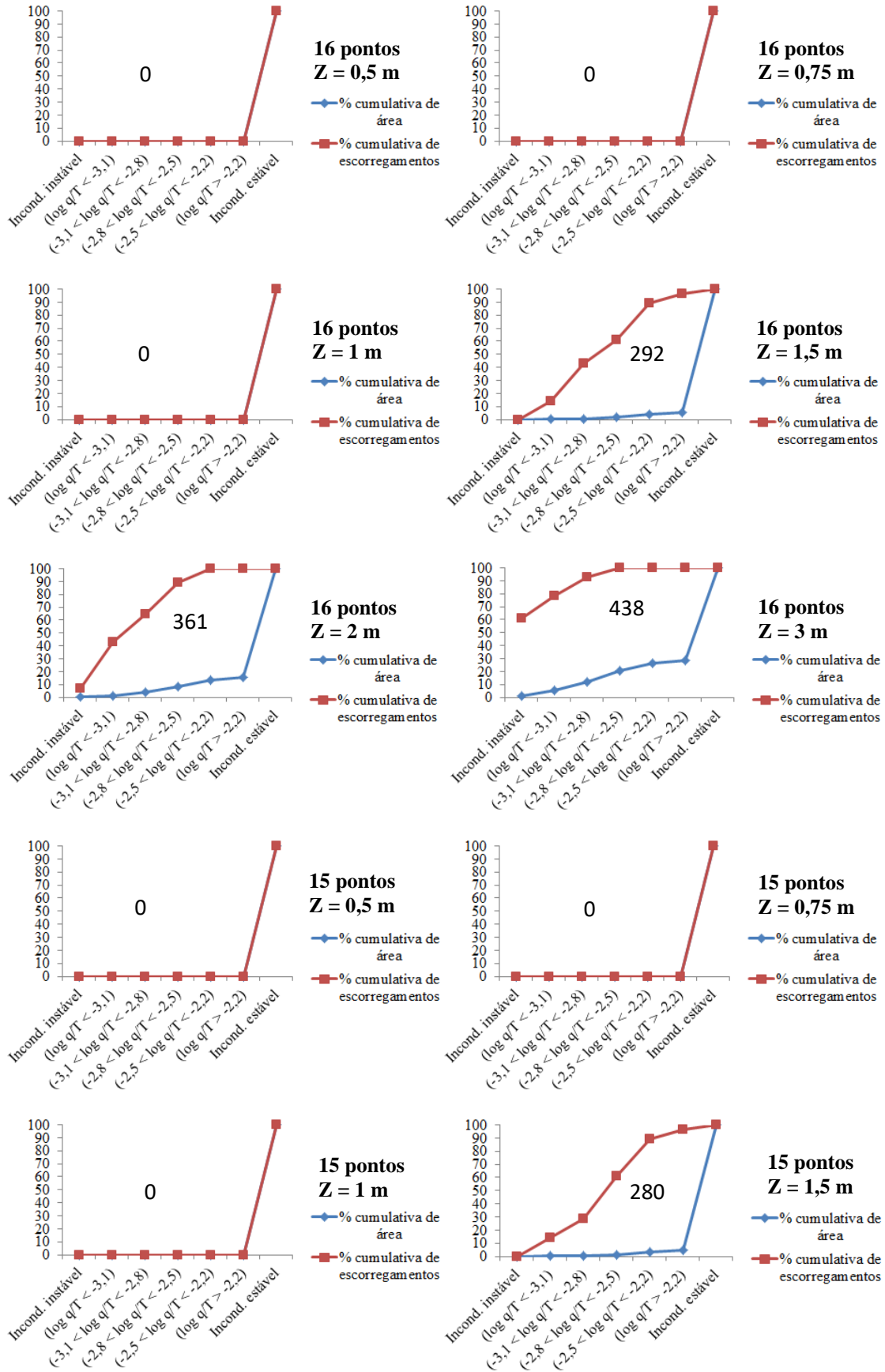


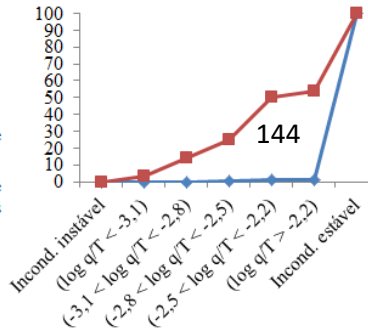
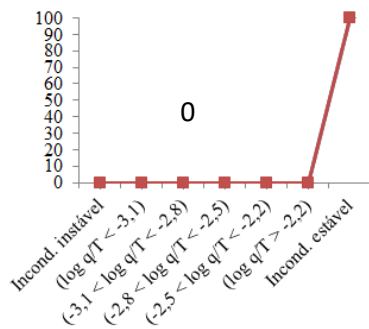
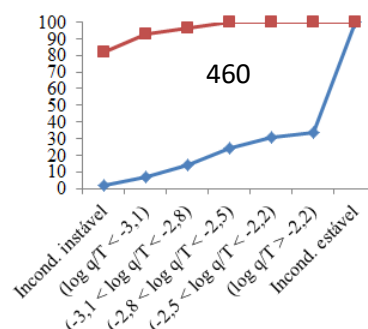
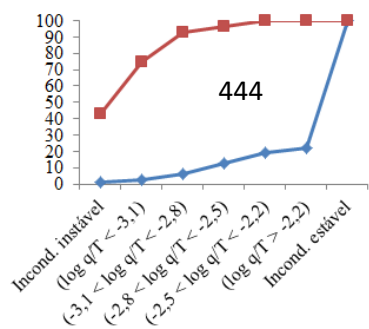
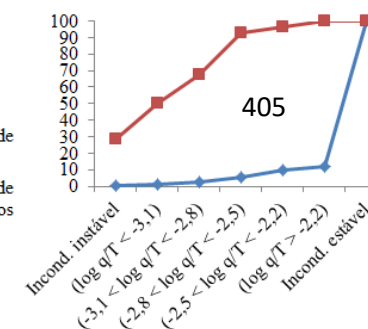
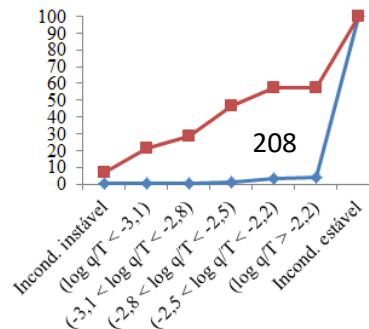
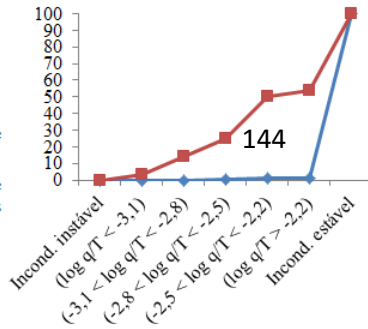
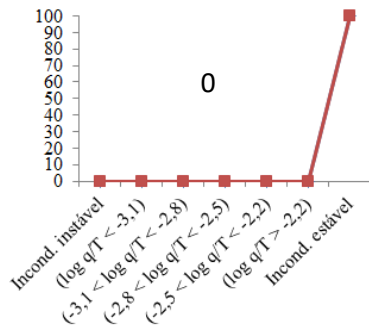
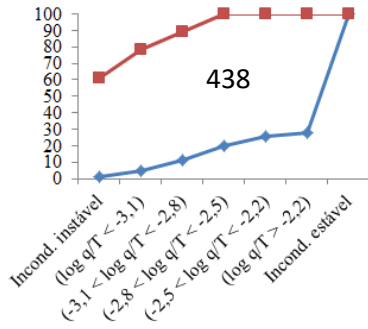
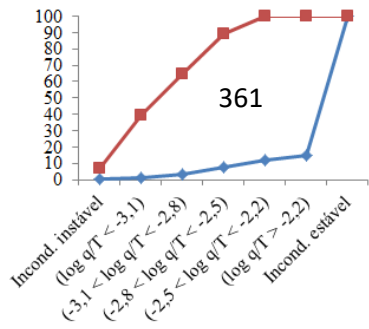


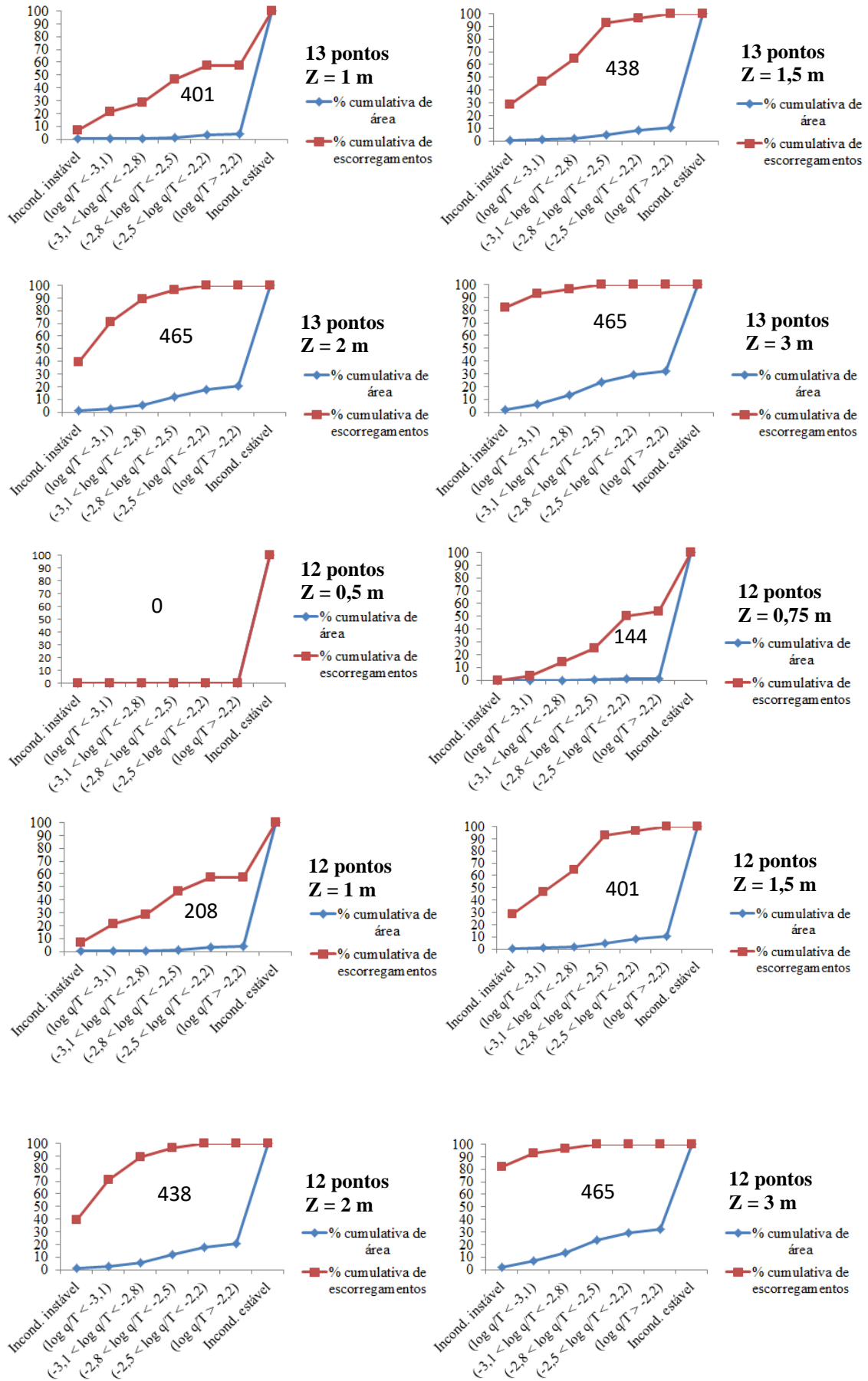
Cenário 13

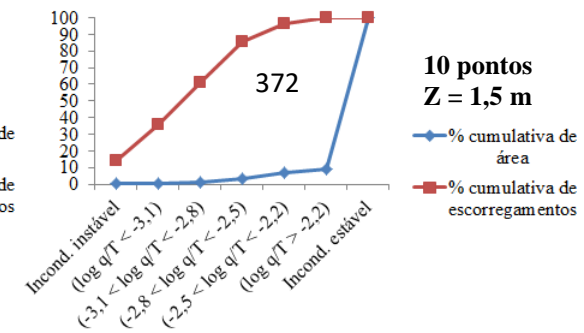
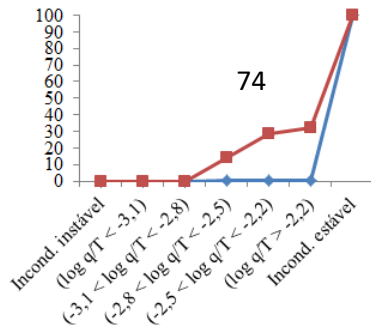
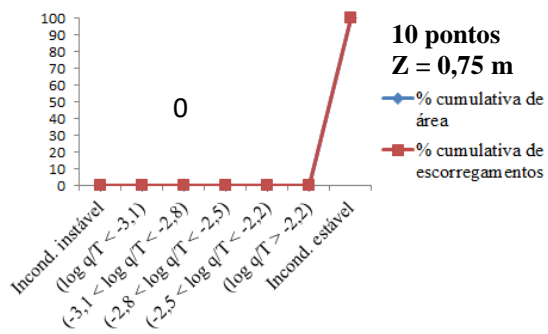
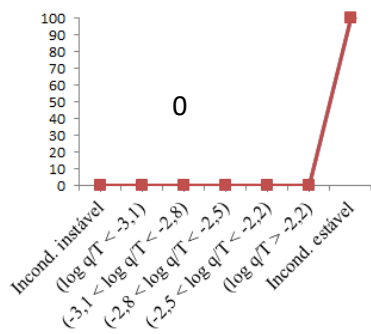
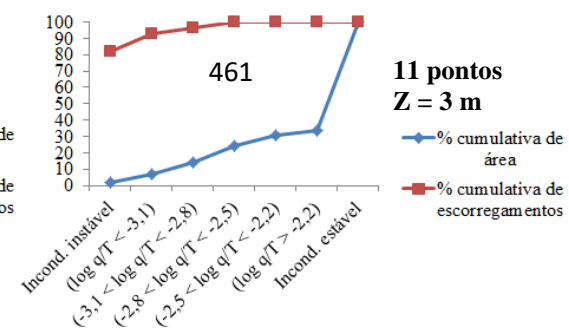
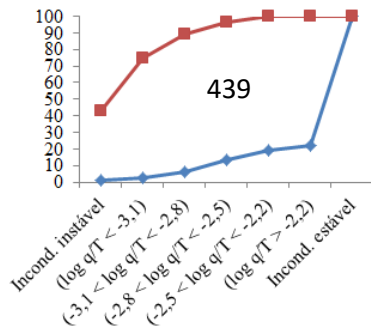
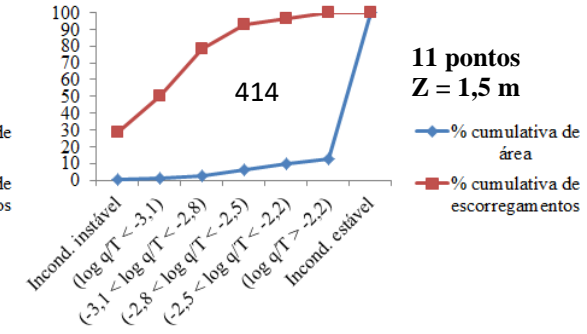
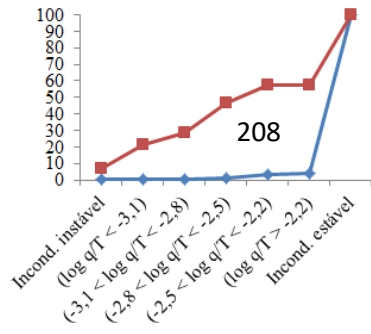
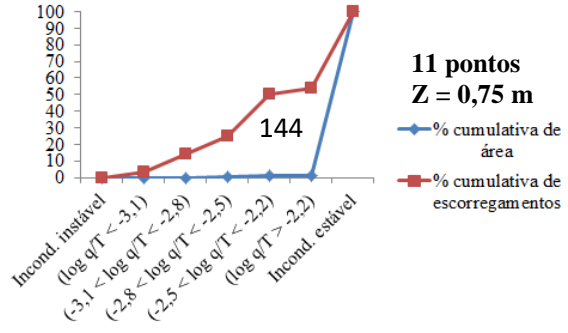
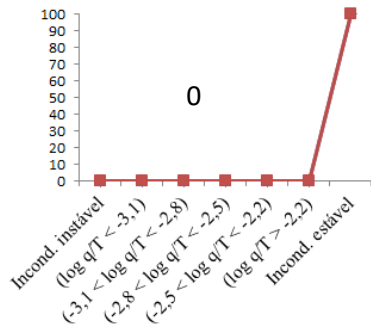


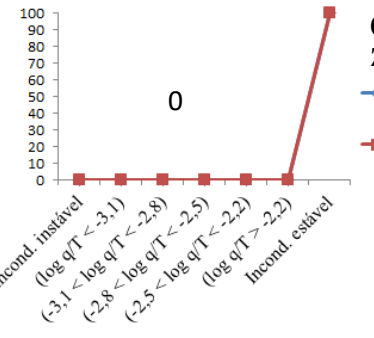
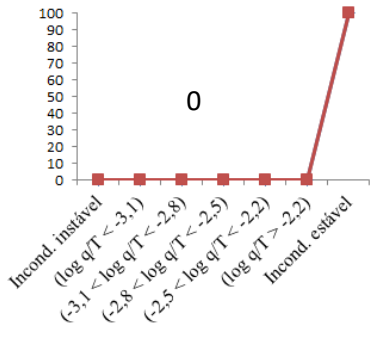
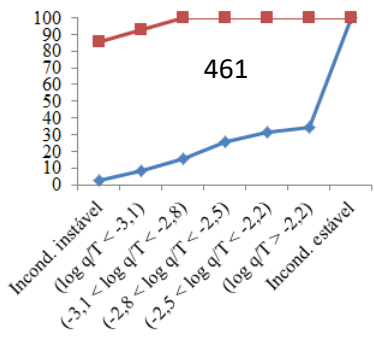
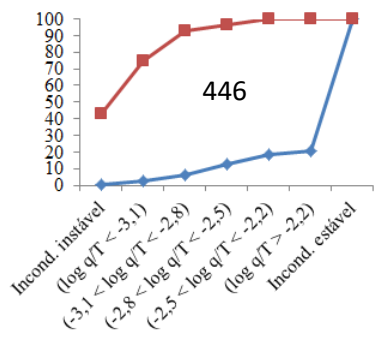
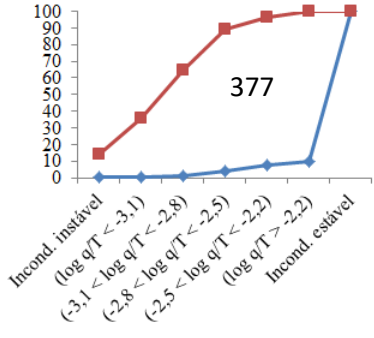
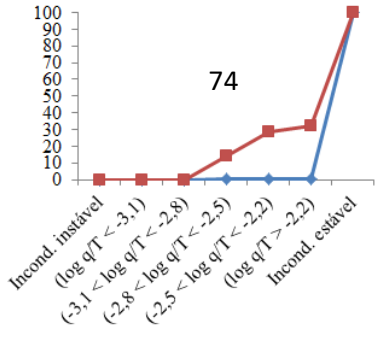
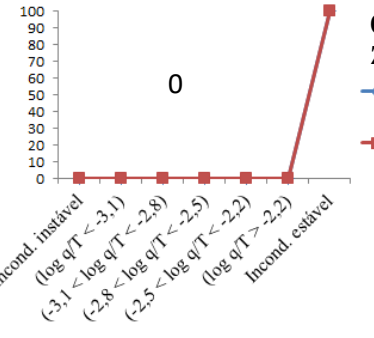
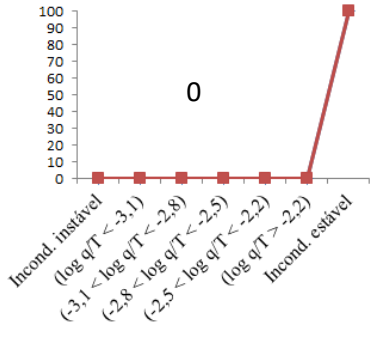
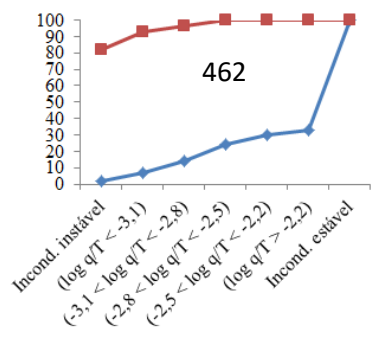
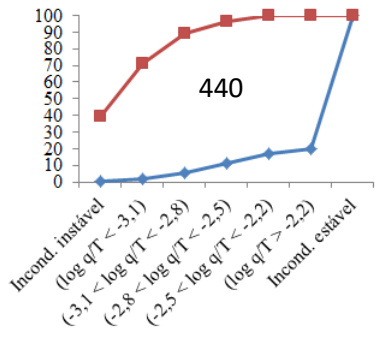




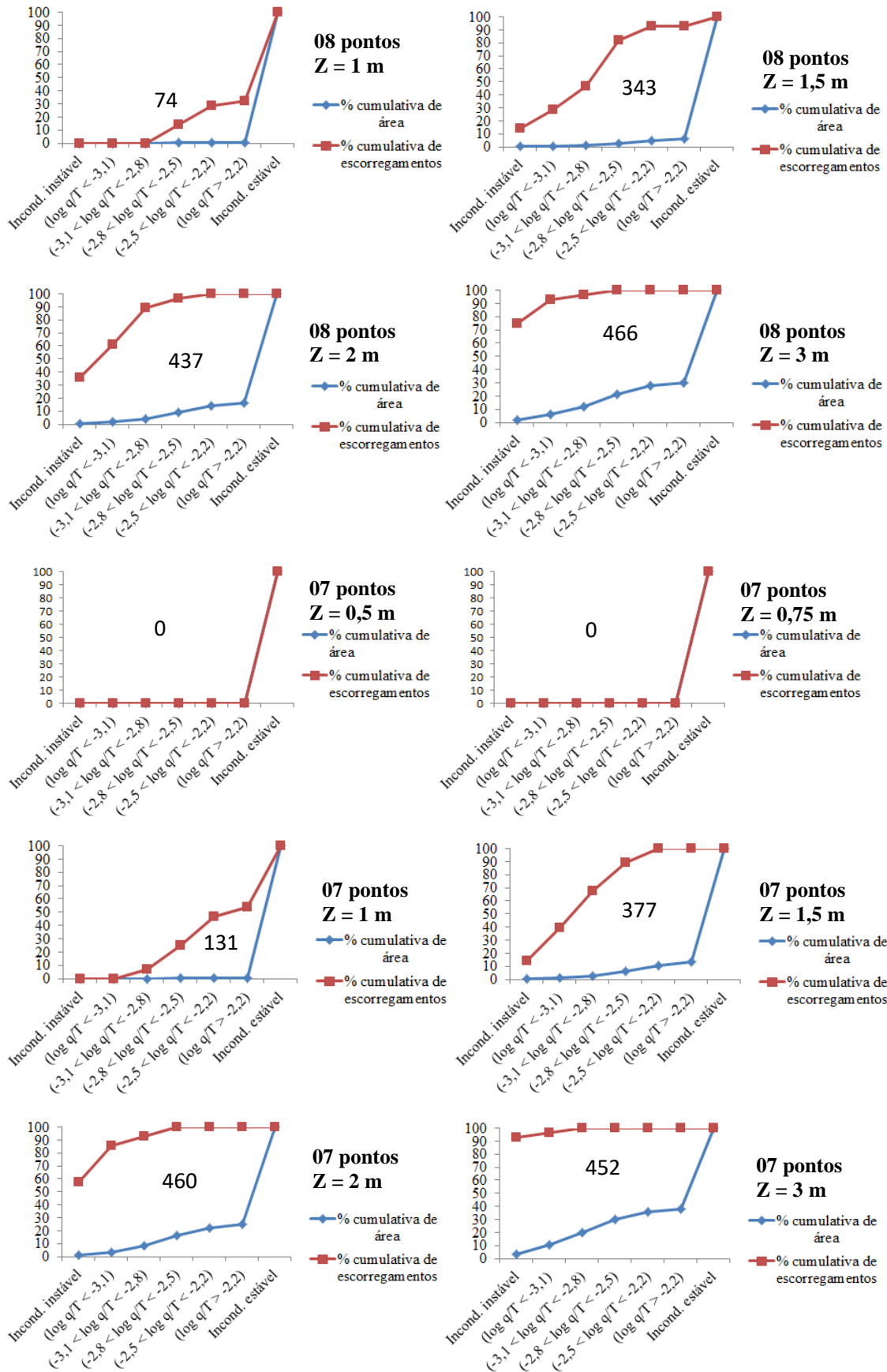




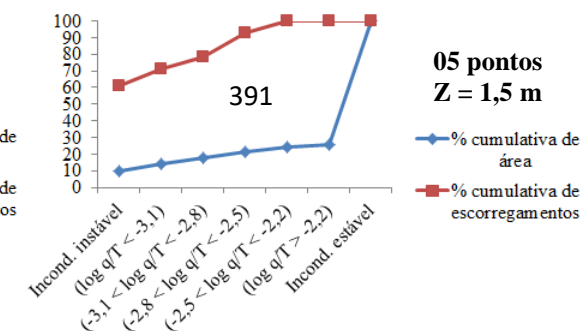
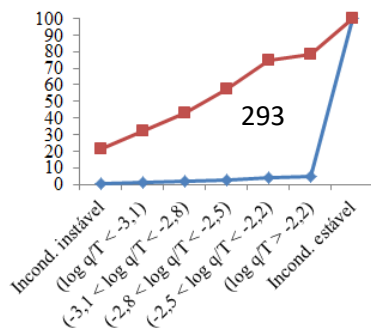
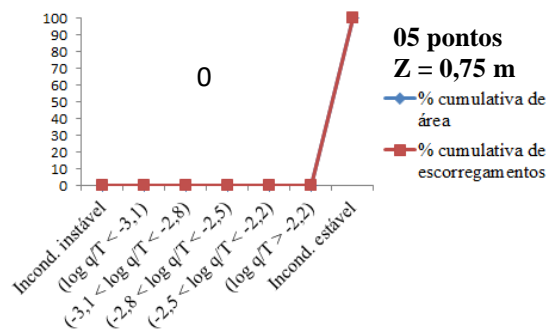
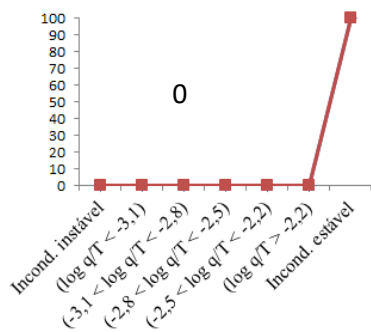
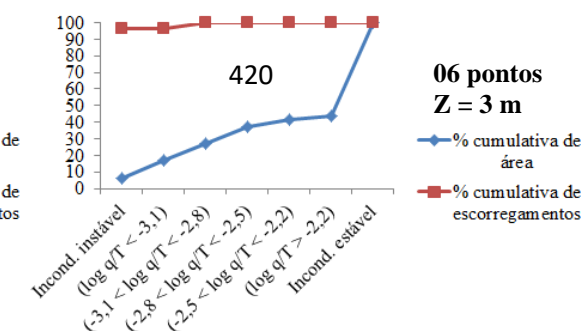
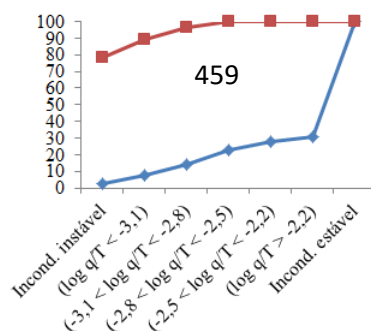
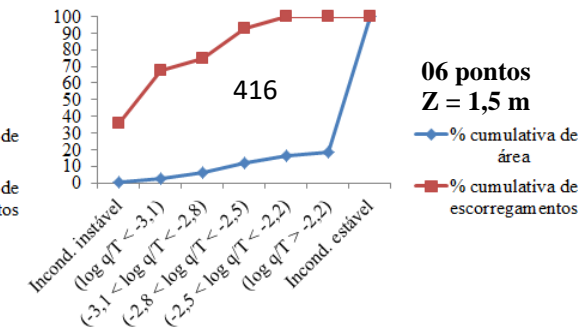
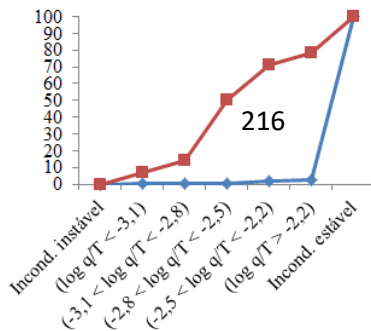
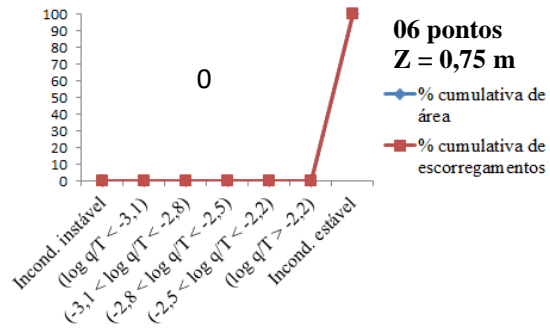
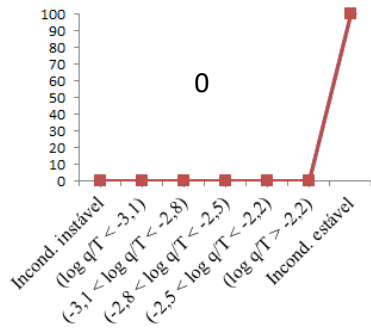


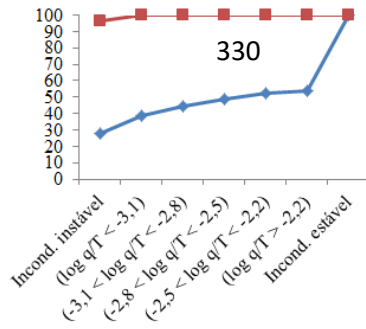
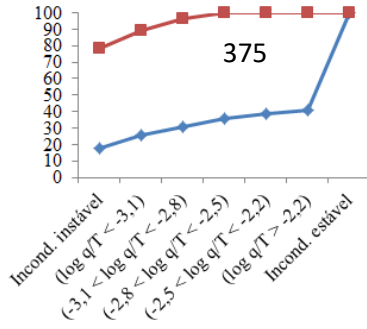












Cenário 14

