UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA USO CONJUGADO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL E DO MÉTODO DELPHI NA CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DO SOLO À EROSÃO HÍDRICA COM USO DE DADOS SECUNDÁRIOS

LEONARDO SENE DE LOURENÇO

CAMPINAS – SP
FEVEREIRO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA USO CONJUGADO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL E DO MÉTODO DELPHI NA CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DO SOLO À EROSÃO HÍDRICA COM USO DE DADOS SECUNDÁRIOS

Tese de Doutorado submetida à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Água e Solo.

LEONARDO SENE DE LOURENÇO
Orientadora: Prof. Dra. MARA DE ANDRADE MARINHO WEILL

CAMPINAS – SP
FEVEREIRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA

BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE – UNICAMP

Lourenço, Leonardo Sene de

L934p Proposição metodológica para uso conjugado da análise multicriterial e do método delphi na classificação da suscetibilidade do solo à erosão hídrica com uso de dados secundários / Leonardo Sene de Lourenço. -- Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Mara de Andrade Marinho.

Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Processo decisório. 2. Erosão. 3. Análise multicritério. 4. Delphi, Método. I. Marinho, Mara de Andrade. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Methodological proposition for combined use of multicriterial analysis and Delphi method applied to the classification of the soil susceptibility to water erosion using legacy data

Palavras-chave em Inglês: Decision making, Erosion, Multicriterial analysis, Delphi method

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Hildete Prisco Pinheiro, Antonio Carlos Zuffo, Laércio Duarte Souza, Jener Fernando Leite de Moraes

Data da defesa: 15/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Leonardo Sene de Lourenço,** aprovada pela Comissão Julgadora em 15 de fevereiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Profa. Dra. Mara de Andrade Marinho – Presidente e Orientadora
Feagri/Unicamp

Dr. Laércio Duarte Souza - Membro Titular
Embrapa/CNPMF

Prof. Dr. Jener Fernando Leite de Moraes - Membro Titular
IAC

Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo - Membro Titular
FEC/Unicamp

Profa. Dra. Hildete Prisco Pinheiro - Membro Titular
Imecc/Unicamp

FEAGRI
Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp

As minhas queridas Sueli (Mãe) e Marília (Irmã), por mostrar o valor dessa conquista em minha vida e principalmente ao meu Pai e acima de tudo meu "melhor amigo" Francisco Luiz de Lourenço (*in memorian*) pelo exemplo de amor a vida que tento seguir.
Dedico.

Ao meu único e verdadeiro amor "Érica", pela amizade, companheirismo, confiança e acima de tudo pelo amor.
Ofereço.

AGRADECIMENTOS

A grande amiga e professora Drª. Mara de Andrade Marinho Weill pela paciência, persistência e confiança depositadas em mim e em meu trabalho, ao qual aos longos desses últimos anos me guiou não só como estudante e sim como pessoa.

A Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) pela infra-estrutura, oportunidade de realização do curso.

Aos professores e pesquisadores das universidades e instituições de pesquisas que colaboraram com o presente estudo.

Aos professores Antonio Carlos Zuffo e Luiz Henrique Antunes Rodriguez pelo ensinamento e ajuda fornecida com esclarecimento de dúvidas, fornecimento de material e informações.

Aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento dentre eles, Agmon Moreira Rocha, Prof. Jansle Vieira Rocha, Prof. Rubens Augusto Camargo Lamparelli e Prof. Jurandir Zullo Junior pelo companheirismo e receptividade.

Aos professores Edson Eiji Matsura, Inácio Maria Dal Fabbro e Zigomar Menezes de Souza, pela receptividade fornecida ao longo desses anos.

Aos meus amigos os quais considero como irmãos, Jonatas Leonardo Toyokazu Aoyagi e Luis Carlos Wruck pelo companheirismo e apoio para a realização deste trabalho.

A todos os demais que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Erosão é um tema complexo que envolve aspectos físicos, ambientais, econômicos, sociais e políticos. Nos últimos 100 anos de história, o principal enfoque da pesquisa em erosão esteve centrado principalmente nos aspectos físicos e só mais recentemente o foco se ampliou, incluindo os aspectos ambientais, econômicos e sociais. Partindo do pressuposto de que é possível o uso conjugado de métodos de consulta Ad-Hoc e de Análise Multicriterial, o presente trabalho teve por objetivo geral empregar essa abordagem no desenvolvimento de uma proposição metodológica para avaliação da suscetibilidade dos solos à erosão. Um objetivo específico foi utilizar dados de rotina de perfis de solos disponíveis nos relatórios dos levantamentos pedológicos. Para desenvolvimento de função classificatória da suscetibilidade à erosão, foram aplicados os métodos multicriteriais referidos por ELECTRE II, CP e CGT, considerando 4 cenários de pesos: média geométrica, máximo, mínimo e moda. Para desenvolvimento de função agregativa e de um indicador de suscetibilidade à erosão (I_{se}), foi utilizado o método MAVT via ajustes de funções de valores, que foram aplicadas aos dados secundários de solos. Os resultados da aplicação dos métodos ELECTRE II, CP e CGT foram convergentes, com uma correlação média de 0,854, destacando-se a ordem dos NEOSSOLOS (maior suscetibilidade) e a dos ORGANOSSOLOS (menor suscetíbilidade). O indicador de suscetibilidade à erosão qualificou um PLINTOSSOLO PÉTRICO como sendo o mais suscetível (I_{se}= 57,4%) e um ORGANOSSOLO HÁPLICO como sendo o menos suscetível à erosão (I_{se}= 34,5%). Conclui-se que a metodologia desenvolvida permitiu avaliar a suscetibilidade do solo à erosão sob diferentes aspectos (classificador e indicador de suscetibilidade) e níveis de generalização taxonômica, com uso de dados secundários.

Palavras-chave: Métodos Multicriteriais, Funções de Valor, Tomada de Decisão

ABSTRACT

Erosion is a complex theme which involves physical, environmental, social, and political aspects. For the last 100 years, the central goal of the research in this area was the physical aspects of soil erosion, and only more recently this focus has been distended to include the environmental, economical and social aspects. From the assumption that is possible to combine Ad-Hoc methods with Multicriterial Analysis, this work intended to employ that approach to develop a methodology for evaluating the soil susceptibility to erosion. A specific purpose was to use legacy data available on soil surveys reports. To develop a classificatory function of the soil susceptibility to erosion, the ELECTRE II, CP e CGT multicriterials methods were applied considering four scenarios: geometrical average, maximum, minimum, and mode. To develop an aggregative function and an indicator of soil erosion susceptibility (I_{se}), it was employed the MAVT method via adjusting values functions, which were applied to the legacy soils data. The results acquired from the application of the ELECTRE II, CP and CGT methods were convergent, with an average correlation of 0,854, stressing NEOSSOLOS (major susceptibility) and ORGANOSSOLOS (minor susceptibility). The indicator of soil erosion susceptibility qualified a PLINTOSSOLO PÉTRICO as being the most susceptible (I_{se}= 57,4%) and an ORGANOSSOLO HÁPLICO as being the least susceptible (I_{se}= 34,5%). In conclusion, the developed methodology allowed to evaluate soil susceptibility to erosion in relation to different aspects (classificatory and susceptibility indicator) and levels of taxonomic generalization, with use of legacy data.

Key-words: Multicriterial methods, Value functions, Support decision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proposição Metodológica para Avaliação da Suscetibilidade do Solo à Erosão.....26
Figura 2: Fluxograma de aplicação do método Delphi na pesquisa acerca dos atributos edáficos determinantes da susceptibilidade dos solos ao processo erosivo.....29
Figura 3: Etapas de aplicação do Método CP de análise multicriterial.....31
Figura 4: Estrutura do método CGT.....34
Figura 5: Estrutura tradicional do método ELECTRE II (adaptado de JARDIM, 1999).....36
Figura 6: Estruturação do método MAVT 43
Figura 7: Classificação Progressiva Fraca (p=0,5 e q=0,45) das 13 ordens de solos. 73
Figura 8: Classificação Progressiva Forte (p=0,7 e q=0,25) das 13 ordens de solos. 73
Figura 9: Classificação Regressiva Fraca (p=0,5 e q=0,45) das 13 ordens de solos.....75
Figura 10: Classificação Regressiva Forte (p=0,7 e q=0,25) das 13 ordens de solos. 75
Figura 11: Função de valor ajustada para as classes de Profundidade do Solo 87
Figura 12: Gráfico de barras para as classes de Perfis na Encosta.....88
Figura 13: Função de valor ajustada para as classes de Declividade do Terreno 90
Figura 14: Gráfico de barras para as classes de Drenagem do Solo 91
Figura 15: Gráfico de barras para a Ocorrência de Camada de Impedimento no perfil de solo 92
Figura 16: Gráfico de barras para o critério Presença de Mudança Textural Abrúpta no perfil de solo.....93
Figura 17: Função de valor ajustada para as classes de Relação Textural B/A no perfil do solo. 94
Figura 18: Gráfico de barras para os Tipos de Horizonte Superficial.....95
Figura 19: Gráfico de barras para os Tipos de Horizonte Subsuperficial. 98
Figura 20: Gráfico de barras para as classes de Estrutura do Horizonte Superficial. 99
Figura 21: Gráfico de barras para as classes de Estrutura do Horizonte Subsuperficial.....101
Figura 22: Gráfico de barras para as classes de Textura do Horizonte Superficial 102
Figura 23: Gráfico de barras para as classes de Textura do Horizonte Subsuperficial. 103
Figura 24: Função de valor ajustada para as classes de Espessura do Horizonte A. 104
Figura 25: Gráfico de barras para as classes de Atividade de Argila. 105

Figura 26: Função de valor ajustada para as classes do Grau de Floculação. 107
Figura 27: Função de valor ajustada para as classes de Teor de Argila Dispersa em Água. . 108
Figura 28: Função de valor ajustada para as classes de Delta pH. 109
Figura 29: Função de valor ajustada para as classes de Teor de Matéria Orgânica. 110
Figura 30: Função de valor ajustada para as classes de Saturação por Bases. 111
Figura 31: Função de valor ajustada para as classes de Densidade do Solo. 112
Figura 32: Função de valor ajustada para as classes de Teor de Óxido de Ferro 114
Figura 33: Grau de suscetibilidade à Erosão dos tipos de solos. 120
Figura 34: Grau de suscetibilidade à Erosão dos tipos de solos. 126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45(OLIVEIRA,1999). 48
Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999)**.** 49
Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999)..... 50
Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999)..... 51
Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999)..... 52
Tabela 2: Valores dos atributos edáficos extraídos do Levantamento de Solos do Estado de Pernambuco (MARQUES, 1999). 53
Tabela 3: Critérios selecionados para avaliação da suscetibilidade do solo à erosão e respectivas escalas de concordância e de discordância dos especialistas. 56
Tabela 4: Ponderadores dos valores dos critérios de avaliação da suscetibilidade do solo à erosão conforme atribuídos pelos especialistas. 58
Tabela 5: Matriz avaliativa da influência dos critérios na suscetibilidade à erosão de 13 ordens de solo pelo método CP. 61
Tabela 6: Matriz avaliativa ponderada para avaliação da suscetibilidade à erosão pelo método CP. 62
Tabela 7: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão de acordo com o método CP. 63
Tabela 8: Matriz avaliativa da suscetibilidade do solo à erosão pelo método CGT..... 65
Tabela 9: Matriz avaliativa ponderada para avaliação da suscetibilidade à erosão pelo método CGT. 66
Tabela 10: Classificação das ordens de solos quanto à suscetibilidade a erosão. 67
Tabela 11: Matriz avaliativa da suscetibilidade do solo à erosão pelo Método ELECTRE II. 69
Tabela 12: Matriz de concordância das ordens de solos para aplicação do método ELECTRE II e avaliação da suscetibilidade à erosão. 70

Tabela 13: Matriz de discordância das ordens de solos para aplicação do método ELECTRE II e avaliação da suscetibilidade à erosão.....70
Tabela 15: Matriz de Preferência Forte (p = 0,7 e q = 0,25) das ordens de solos. 72
Tabela 16: Sumarização das iterações via classificação progressiva fraca e forte.....74
Tabela 17: Sumarização das iterações via classificação regressiva fraca e forte 76
Tabela 18: Classificação final obtida pelas classificações progressivas e regressivas das ordens de Solos pelo Método ELECTRE II 77
Tabela 19: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão de acordo com o método CGT com diferentes ponderadores. 78
Tabela 20: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão por meio do método CP com diferentes ponderadores. 79
Tabela 21: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão por meio do método CP (S=2) com diferentes ponderadores. 79
Tabela 22: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão por meio do método ELECTRE II com diferentes ponderadores. 80
Tabela 23: Classificação das ordens de solos quanto à suscetibilidade à erosão de acordo com as propostas de ZUFFO e SANTOS (2002) para o Método ELECTRE II. 81
Tabela 24: Valores da correlação de Spearman entre as classificações obtidas pelos diferentes métodos e ponderadores. 83
Tabela 25: Ranking dos métodos multicriteriais de acordo com a média das correlações. 84
Tabela 26: Classificação final das ordens de solos quanto ao seu grau de suscetibilidade.....84
à erosão. 84
Tabela 27: Valores padronizados das notas atribuídas pelos especialistas para as diferentes classes de Profundidades do Solo.....86
Tabela 28: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Perfis na Encosta 88
Tabela 29: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Declividade do Terreno 89
Tabela 30: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Drenagem do Solo 91

Tabela 31: Valores padronizados das notas dos especialistas para a Ocorrência da Camada de Impedimento. 91
Tabela 32: Valores padronizados das notas dos especialistas para a Presença de Mudança Textural Abrupta 92
Tabela 33: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Relação Textural B/A passíveis de ocorrência nos perfis de solos 94
Tabela 34: Valores padronizados das notas dos especialistas para os diferentes Tipos de Horizonte Superficial. 95
Tabela 35: Valores padronizados das notas dos especialistas para os diferentes Tipos de Horizonte de Subsuperficie. 97
Tabela 36: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Estrutura do Horizonte Superficial. 99
Tabela 37: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Estrutura do Horizonte Subsuperficial 100
Tabela 38: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Textura do Horizonte Superficial 102
Tabela 39: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Textura do Horizonte Subsuperficial. 103
Tabela 40: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Espessura do Horizonte A 104
Tabela 41: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Atividade de Argila 105
Tabela 42: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes do Grau de Floculação 106
Tabela 43: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Teor de Argila Dispersa em Água 107
Tabela 44: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Delta pH 109
Tabela 45: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Teor de Matéria Orgânica 110

Tabela 46: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Saturação por Bases. 111
Tabela 47: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Densidade do Solo. 112
Tabela 49: Sumário com as funções de valores para os 11 critérios quantitativos. 114
Tabela 52: Classificação dos perfis de solos de acordo com os graus de suscetibilidade à erosão após a aplicação da função agregativa. 119
Tabela 53: Grupos de suscetibilidade após a aplicação da função agregativa. 121
Tabela 54: Características do Perfil do PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta. 122
Tabela 56: Classificação dos perfis de solos de acordo com os graus de suscetibilidade à erosão após a aplicação da função agregativa. 125
Tabela 57: Grupos de suscetibilidade após a aplicação da função agregativa. 127

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3

2.1. Erosão do solo 3

2.1.1. Erosão natural e erosão acelerada 3

2.1.2. Erosão hídrica 4

2.1.3. Fatores determinantes da erosão hídrica 4

2.2. Suscetibilidade do Solo à Erosão 7

2.3. Elaboração de Indicadores Ambientais 10

2.4. Metodologia multicriterial 11

2.4.1. Estruturação do Processo Decisório 13

2.4.1.1. Método Delphi 13

2.4.1.1.1. Etapas do Método Delphi 15

2.5. Métodos Multicriteriais da Escola Americana 17

2.6. Métodos Multicriteriais da Escola Européia 17

2.6.1. MAVT 18

2.6.2. O Método ELECTRE 21

2.6.3. Os Métodos CP e CGT 23

2.7. Estatística Não-Paramétrica Aplicada ao Processo Decisório 24

3. MATERIAL E MÉTODOS 26

3.1. Proposição Metodológica 26

3.1.1. Pesquisa Ad-Hoc 27

3.2. Método Delphi 28

3.3. Aplicação dos Métodos Multicriteriais 30

3.3.1. Método de Programação por Compromisso (Método CP) 31

3.3.2. Método da Teoria dos Jogos Cooperativos (Método CGT) 33

3.3.3. Método ELECTRE II 35

3.4. Validação dos métodos de análise multicriterial 41

3.4.1. Análise de Sensibilidade, Concordância e Classificação da Suscetibilidade dos Solos à Erosão 41

3.5. Aplicação do Método MAVT 42

3.5.1. Desenvolvimento das Funções de Valor 43

3.5.1.1. Discretização dos Critérios (Atributos Edáficos) 43

3.5.1.2. Valoração dos Critérios 44

3.5.1.3. Ajuste de Funções de Valor 44

3.5.1.4 Tratamento dos critérios qualitativos (variação discreta no espaço) 45

3.5.1.5. Padronização dos Valores para cada Critério 45

3.5.1.6. Aplicação das Funções Agregativas ou Globais para cada Alternativa ou Ordem de Solo 46

3.5.1.7. Ordenação Decrescente dos Indicadores para cada tipo de Solo 46

3.5.2. Estudo de Caso: Aplicação das Funções de Valor e Classificação da Suscetibilidade à Erosão de Perfis de Solos Selecionados 47

3.6. Análise Integrada das Classificações 54

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 55

4.1. Aplicação do Método Delphi 55

4.1.1. Caracterização dos Especialistas 55

4.1.2. Critérios Selecionados e Escolhidos para a Pesquisa 55

4.2. Aplicação da Análise Multicriterial 58

4.2.1. Ponderação dos Critérios para Inclusão nas Matrizes Avaliativas 58

4.2.2. Aplicação do Método CP 59

4.2.3. Aplicação do Método CGT 64

4.2.4. Aplicação ELECTRE II 68

4.2.5. Análise de Sensibilidade e Concordância Entre os Métodos Multicriteriais 78

4.2.6. Método da Teoria de Valor Multiatributo (MAVT: *Multiattribute Value Theory Method*): Funções de Valor 86

4.2.7. Aplicação das Funções de Valor 117

4.2.8. Aplicação das Funções de Valor com um Conjunto Mínimo de Dados 123

4.2.9. Análise integrada das classificações 128

5. CONCLUSÃO 129

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 130

APÊNDICE I 141

APÊNDICE II 144

APÊNDICE III 146

APÊNDICE IV 148

APÊNDICE V 157

1. INTRODUÇÃO

Erosão é um tema complexo que envolve aspectos físicos, ambientais, econômicos, sociais e políticos. Nos últimos 100 anos de história, o principal enfoque da pesquisa esteve centrado nos aspectos físicos e só recentemente houve uma reconsideração no âmbito do debate científico dos aspectos ambientais, econômicos e sociais.

O aspecto social tem fundamental influência hoje em dia nas políticas de controle da erosão do solo, constituindo-se um novo paradigma a conservação do solo concomitantemente ao aumento da produção de alimentos e de energia, em resposta ao aumento da população. No âmbito da economia, restrições na exploração do solo muitas vezes não são bem vindas pelo próprio governo, devido a se relacionarem com o desenvolvimento regional ou local. Em um mundo com muitas desigualdades sociais, é difícil restringir a provisão de alimentos, mesmo que isso possa significar, em longo prazo, uma redução da qualidade e produtividade dos recursos.

As estatísticas sobre perdas físicas de solo em todo o mundo revelam que, a cada ano, bilhões de toneladas de terra fértil são erodidas e transportadas para os rios. Segundo o Programa de Qualidade Ambiental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no Brasil as perdas já atingem 840 milhões de toneladas anuais (t/ano) e estão aumentando, com a abertura de novas frentes agropecuárias no Centro-Oeste e na Amazônia. No Estado de São Paulo para cada quilograma de grão produzido se perde 10kg de solo fértil — ou duzentos milhões de toneladas por ano.

Nos países desenvolvidos e em alguns países em desenvolvimento, as tecnologias e incentivos à pesquisa para aumento da produtividade têm sido aprimoradas mais rapidamente do que, as pesquisas voltadas a assegurar a conservação do solo. Muitas vezes, a curto prazo, o aspecto financeiro significa mais para produtores e exportadores agrícolas do que os benefícios de se manter uma terra com qualidade.

É do conhecimento dos especialistas e de alguns agricultores a situação do próprio solo no que se refere à sua produtividade, bem como ao impacto conjunto de práticas de manejo e uso inadequados, plantio da cultura fora da estação e fatores climáticos exercem sobre a suscetibilidade à erosão. Entretanto, informações sobre o impacto de cada fator, antrópico ou climático, bem como o desenvolvimento de indicadores de riscos à erosão do solo como

resposta a determinado uso ou prática de manejo, são essenciais para o planejamento sustentável do uso das terras.

Partindo da hipótese geral de que é possível classificar os solos quanto à suscetibilidade à erosão com base em dados secundários publicados nos relatórios técnicos dos levantamentos pedológicos, o objetivo geral da pesquisa foi o de desenvolver uma abordagem metodológica para extrair informação acerca da suscetibilidade à erosão com base na integração de técnicas de pesquisa Ad-Hoc e de análise multicriterial. Objetivos específicos do trabalho incluíram a aplicação de diferentes métodos multicriteriais e o desenvolvimento de funções de valor de atributos edáficos quantitativos intervenientes da suscetibilidade do solo à erosão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Erosão do solo

A erosão sempre existirá como resposta dos sistemas pela busca por estados de maior estabilidade. A superfície da Terra é constantemente alterada com o surgimento de montanhas e a construção de vales profundos e amplos. O padrão físico da superfície da Terra que é visto hoje é o resultado de mudanças infinitamente lentas, que somente após séculos terão seus efeitos notados. A erosão geológica ou natural é um dos processos que contribuem para este lento e constante processo de mudança da superfície terrestre (HUDSON, 1981).

Embora o termo erosão tenha sido usado no século 19, o termo "erosão do solo" foi introduzido no século 20, mas não teve seu uso generalizado antes de 1930 (ZACHAR, 1982). Erosão do solo é um processo de desprendimento e arraste das partículas causado por um agente erosivo, água, vento ou gelo. Segundo o mesmo autor, a erosão do solo geralmente significa sua destruição pela ação do agente erosivo.

A erosão constitui um processo natural de desagregação, decomposição, transporte e deposição de materiais de rochas e solos, que age sobre a superfície terrestre desde os seus princípios. Muitos autores consideram que na definição da erosão devem ser considerados aspectos relacionados às atividades humanas, que via-de-regra aceleram em muito o processo erosivo. Assim, a ação humana sobre o meio ambiente contribui de maneira significativa para a aceleração do processo erosivo, ao trazer como conseqüências a perda de solos férteis, a poluição da água, o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios e a degradação e redução da produtividade global (DREGNE, 1982). Segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1985), a erosão acelerada do solo ou erosão antrópica constitui a principal causa do depauperamento acelerado terras.

2.1.1. Erosão natural e erosão acelerada

O processo erosivo, presente em ambientes com cobertura vegetal natural e sem pressão de fatores antrópicos, é denominado erosão natural ou geológica e se manifesta de

forma muito lenta, sendo perceptível somente com o decorrer de longos períodos de atividade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A erosão antrópica ou acelerada é resultante da ocupação do solo por atividades agrícolas ou urbanas, que aceleram e intensificam os processos erosivos devido as condições induzidas ou modificadas pelo homem ao solo. As condições mais favoráveis ao processo estão presentes em solos sem cobertura vegetal, compactados ou recentemente movimentados por meio do preparo motorizado, trazendo como efeitos o aumento na desagregação do solo, diminuição da capacidade de infiltração de água, e consequentemente, o aumento do escoamento superficial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

2.1.2. Erosão hídrica

De acordo com ZACHAR (1982), a erosão hídrica é a forma mais recorrente de erosão do solo.

O impacto da gota de chuva sobre o solo desnudo causa desagregação e desprendimento das partículas do solo e marca o início do processo. Quando a água com partículas de solo em suspensão infiltra, dá-se a redução da porosidade superficial, promovendo a formação de crosta superficial, que diminui a capacidade de infiltração de água no solo. A diminuição da infiltração condiciona o acumulo de água à superfície, facilitando a concentração e formação inicialmente de um fluxo laminar e depois, com o aumento do volume de água superficial, dá-se a concentração do fluxo nas linhas preferenciais ou de acúmulo de água no terreno, dando início ao escoamento superficial concentrado ou enxurrada. A enxurrada, por sua vez, também remove o solo, resultando em incisões na superfície do terreno, na forma de sulcos, que podem evoluir para ravinas e até mesmo para voçorocas (ZACHAR, 1982; GUERRA e CUNHA, 1995).

2.1.3. Fatores determinantes da erosão hídrica

A seguir, são descritos os principais fatores que influenciam a erosão hídrica do solo.

Chuva

De acordo com BERTONI e LOMBARDI NETO (1999) toda remoção de solo exige a presença do vento e da água sobre o terreno, proveniente da chuva, que exerce sua ação erosiva mediante o impacto da gota, a qual cai com velocidade e energia variável segundo o seu diâmetro e mediante a ação do escorrimento. Contudo, a velocidade e o volume da enxurrada dependem da sua intensidade, duração e freqüência da chuva.

Conforme HUDSON (1981), a erosão pelo impacto da gota da chuva é responsável por quatro efeitos: desagregação das partículas do solo, pequeno deslocamento lateral (rastejamento), salteamento de partículas juntamente com as gotas de chuva ("*splash*") e distribuição das partículas.

Outro fator importante ao processo erosivo relacionado com a chuva é sua energia cinética, um dos parâmetros determinantes da erosividade ou habilidade da chuva em causar erosão. A determinação do potencial erosivo ou erosividade da chuva ou precipitação depende principalmente das características das gotas de chuva, que variam no tempo e no espaço. Conquanto vários parâmetros se correlacionem com o potencial erosivo ou erosividade, resultados da pesquisa indicam que para predizer a perda de solo, a energia cinética e a intensidade máxima em 30' são os parâmetros que melhor se correlacionam com a erosividade (WISCHMEIER e SMITH, 1958; 1965).

Topografia do Terreno

A topografia é um fator natural que determina as relações de infiltração-deflúvio de água em uma encosta e, portanto, a disponibilidade de água no terreno e a quantidade e velocidade da enxurrada. Maior intensidade de erosão pode ser esperada em relevos acidentados, como morrotes e morros, do que em relevos mais suaves, como colinas, pois declividades mais acidentadas favorecem o deflúvio, em detrimento da infiltração, e a concentração de água em superfície, que poderá atingir velocidades de escoamento erosivas. Outro fator topográfico importante se relaciona com o comprimento da encosta, sendo que encostas longas favorecem em muito o processo erosivo em comparação com encostas mais curtas (WEILL e PIRES NETO, 2007; FONTES, 1998).

Natureza do Solo

A estrutura do solo é uma característica básica que decorre da distribuição relativa das partículas componentes umas em relação às outras, não havendo um parâmetro simples que a represente adequadamente em termos quantitativos (SANCHEZ, 1976). A estabilidade e a distribuição relativa por tamanho dos agregados e dos poros do solo são utilizadas para indiretamente avaliar a qualidade estrutural de um solo (KIEHL, 1979). A estrutura e agregação, e a porosidade que dela resulta, têm efeito pronunciado na aeração do solo, retenção, infiltração e armazenamento de água, na permeabilidade e infiltração e, consequentemente, na erodibilidade ou suscetibilidade do solo à erosão hídrica. Em geral, um solo com estrutura de boa qualidade apresenta boa capacidade de retenção, infiltração, permeabilidade e armazenamento de água no seu interior, que em conjunto condiciona menor erodibilidade (WISCHMEIER e SMITH, 1978; FOSTER, 1982; WEILL e PIRES NETO, 2007).

A ruptura dos agregados pode ser considerada um dos primeiros fatores no processo de erosão dos solos, pois é a partir dessa ruptura que outros processos desencadeiam no topo do solo, no sentido de desestabilizá-lo e, conseqüentemente, começar a ocorrer o processo erosivo (ZACHAR, 1982). À medida que os agregados se rompem no topo do solo, ocorre a formação das crostas, que eventualmente provocarão a selagem dos solos. Esse processo é responsável pela diminuição das taxas de infiltração e, conseqüentemente, aumentam as taxas de escoamento superficial, podendo aumentar a perda do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999; GUERRA e CUNHA, 1995).

Outro atributo edáfico que influencia a suscetibilidade à erosão hídrica é o teor de matéria orgânica, que por se constituir um importante agente cimentante afeta direta e positivamente a estabilidade dos agregados. A maioria das pesquisas sobre erodibilidade mostram que à medida que o teor de matéria orgânica diminui, a instabilidade dos agregados aumenta. A diminuição do teor de matéria orgânica acontece por meio de queimadas, por exemplo, que deixa o solo exposto à energia da chuva e do escoamento e, portanto, mais susceptível à erosão hídrica (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). A queima dos resíduos vegetais faz com que a estrutura do solo fique enfraquecida e, com isso, aumente ainda mais a susceptibilidade à erosão hídrica (LEITE et. al., 2004)

Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é de importância vital para a proteção do solo contra a erosão hídrica. Protege o solo contra a ação do impacto das gotas de chuva, aumenta a velocidade de infiltração da água, mantém a superfície do solo rugosa, reduz a velocidade do escoamento superficial, fortalece a mecânica do solo, diminui as flutuações microclimáticas na superfície do solo e melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ZACHAR, 1982).

Segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1999), a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão e seu efeito pode ser assim resumido: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água ao interceptá-la e evaporá-la antes que atinja o solo; decomposição das raízes das plantas ao formar canalículos no solo e aumentar a sua capacidade de retenção de água; e diminuição da velocidade de escoamento superficial.

Atividades Antrópicas

O homem influencia indiretamente a erosão principalmente pelo aumento da erosão acelerada e de áreas devastadas. A ação indireta do homem envolve a destruição da vegetação natural, o cultivo de plantas com uma pequena parte do solo protegida, exposição de solos descobertos, aumento e concentração de escoamentos superficiais, e alterações na qualidade do solo (por exemplo, diminuição de conteúdos de matéria orgânica, danificação da estrutura do solo, redução de nutrientes do solo, diminuição da fertilidade, poluição dos solos com resíduos industriais, etc.) (ZACHAR, 1982).

2.2. Suscetibilidade do Solo à Erosão

A resistência do solo à erosão depende de fatores intrínsecos e extrínsecos ao solo. O fator intrínseco ao solo se refere à sua erodibilidade, que por sua vez é condicionada por vários atributos físicos, químicos, mineralógicos e biológicos do solo. Como fatores extrínsecos ao solo, temos a energia e intensidade das chuvas, o comprimento, a forma e a inclinação das

vertentes, a cobertura vegetal presente, além do sistema de manejo adotado (LOMBARDI e BERTONI, 1975; WEILL e PIRES NETO, 2007).

Considerando os atributos físicos do solo, a granulometria é um dos fatores que influem na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Segundo FERREIRA (1992), a distribuição por tamanho das partículas é um dos maiores determinantes da erodibilidade. As partículas mais finas do solo são mais facilmente transportadas, enquanto que as partículas maiores resistem à remoção tendendo a se acumular na superfície (RESENDE, 1985)

A estrutura e agregação influenciam a resistência do solo à erosão por meio da ação cimentante da argila, matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio e cátions bivalentes, que estabilizam os agregados mediante forças externas como água e ferramentas agrícolas. A presença de grandes agregados estáveis condiciona a presença de macroagregados que conferem maior permeabilidade ao solo e menor suscetibilidade à desagregação e, portanto, menor excedente de água à superfície e menor escorrimento superficial e arraste de partículas individualizadas pela água. Nos solos argilosos, a maior força de coesão entre as partículas os torna mais resistentes à erosão (BERTONI e LOMBARDI, 1999).

Segundo BERTONI e LOMBARDI, (1999), a matéria orgânica modifica a estrutura do solo, propiciando melhores condições de arejamento e de retenção de água. Nos solos arenosos, promove a aglutinação de partículas, firmando a estrutura e diminuindo o diâmetro dos poros, aumentando, assim, a capacidade de retenção de água e diminuindo a suscetibilidade deste solo à erosão.

Considerando os atributos mineralógicos, os óxidos de ferro e de alumínio da fração argila também se constituem agentes cimentantes, que atuam estabilizando a estrutura, melhorando a permeabilidade e por sua vez reduzindo a erodibilidade dos solos (VLADIA, 2003).

2.3. Métodos Analíticos para a Avaliação da Suscetibilidade do Solo à Erosão

Os processos erosivos têm sido estudados em vários países, por meio de modelagem, o que permite auxiliar na correção dos problemas relacionados. A maioria dos profissionais buscam desenvolver modelos que quantifiquem os processos erosivos e que possam ser

aplicados em outras regiões que não aquelas para quais foram desenvolvidos (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Um dos fatores condicionantes do processo erosivo é a erodibilidade do solo ou fator K da equação universal de perda de solo, que pode ser determinado no campo com chuva natural ou simulada em parcelas padrão ou por meio de determinações indiretas, empregando-se métodos empíricos. Quando determinado em parcelas padrão é considerado o real valor da erodibilidade do solo (WISCHMEIER et al., 1971). Diversos pesquisadores têm buscado relacionar a quantidade de erosão medida no campo com as várias características físicas dos solos que podem ser determinadas em laboratório, tentando uma combinação que permita determinar quantitativamente a erodibilidade do solo (WEILL, 1999).

As equações para estimativa do fator K constituem funções de pedotransferência que geralmente são desenvolvidas por meio de regressões múltiplas entre os valores do fator K medidos diretamente no campo e variados atributos do solo que sabidamente afetam sua erodibilidade. As equações não refletem, necessariamente, relações de causa e efeito, mas fornecem indiretamente valores de erodibilidade próximos aos medidos diretamente (RÖMKENS, 1987). Porém, tratando-se de modelos estatísticos, sua aplicação fica restrita às condições de contorno a partir das quais foram ajustados. Assim, o consagrado estudo de WISCHMEIER et al. (1971) e WISCHMEIER e SMITH (1978) para determinação do fator K pela combinação de atributos morfológicos, físicos e químicos do solo em um nomograma, tem aplicação restrita para solos com baixos conteúdos de silte e de areia muito fina (FREIRE e PESSOTI,1976; HENKLAIN e FREIRE, 1983; MARTINS FILHO e SILVA,1985).

A pesquisa em erosão é cara e morosa. Os processos erosivos variam no tempo e no espaço como função da combinação de numerosas variáveis físicas e de manejo que determinam as condições específicas dos diferentes locais. Assim, torna-se difícil avaliar diretamente de forma exata e precisa a extensão, magnitude e taxas de erosão acelerada, assim como os seus impactos ambientais e econômicos (WEILL e SPAROVEK, 2008). Decorre daí, a aplicação de modelos para estimar a erosão em locais onde não se dispõe de resultados de pesquisa (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

A concepção inicial de aplicação de modelos para estimativa indireta das perdas de solo por erosão em uma determinada área teve por enfoque a recomendação de uso e das práticas de manejo no contexto do planejamento conservacionista. .

Para CHAVES (1995), a principal vantagem da aplicação de modelos, tanto em nível de planejamento como de controle de erosão, consiste na possibilidade de se estudar diferentes cenários (por exemplo, o pior cenário possível e os diferentes tipos de manejo e práticas conservacionistas), com baixo custo e de forma rápida.

2.3. Elaboração de Indicadores Ambientais

Como um dos resultados possíveis de um processo de tomada de decisão, os indicadores e índices podem auxiliar a sintetizar um grande volume de informação técnica, a definir temas prioritários e medidas necessárias, a identificar problemas e áreas de ação, a fixar objetivos e metas de qualidade ambiental, e a medir e divulgar informações sobre tendências, evolução e condições do ambiente e dos recursos naturais (WINOGRAD, 1995).

Por serem abrangentes, os indicadores ambientais são utilizados como indicadores de desenvolvimento sustentável. Porém, como analisa WALZ (2000), nem todos os problemas ambientais são considerados importantes para o desenvolvimento sustentável. Além disso, em geral, os indicadores ambientais priorizam os aspectos ambientais e consideram os aspectos sociais e econômicos na medida em que esses se apresentam diretamente relacionados a eles. BAKKES et al. (1994), por exemplo, utilizam o termo *indicadores sócio-econômicos ambientais* para explicitar que a seleção dos dados populacionais e sócio-econômicos é ambientalmente orientada, não tendo como objetivo uma revisão completa sobre esses subsistemas. Portanto, o uso de indicadores ambientais como indicadores de desenvolvimento sustentável requer uma adaptação ou reavaliação, pois pode apresentar lacunas em relação aos aspectos econômicos e sociais necessários à análise do desenvolvimento sustentável, ou ainda, pode realçar aspectos de menor importância.

BAKKES et al. (1994) esclarecem que os indicadores, por serem específicos do processo ao qual fazem parte, são adequados em alguns casos e não o são em outros. Dessa forma, não há um único conjunto de indicadores ambientais universais. Alguns temas de abrangência global, por exemplo, a proteção da camada de ozônio, requerem o uso de indicadores internacionalmente comparáveis. Mas, a decisão que envolve questões de abrangência nacional, regional ou local pode requerer um conjunto específico de indicadores.

Concordando com BAKKES et al. (1994), para que se possa garantir a adequação do indicador de suscetibilidade do solo à erosão, neste trabalho, buscou-se selecionar e avaliar os atributos que possuam uma determinada importância ao objetivo proposto, por meio de métodos com comprovada eficácia na literatura.

2.4. Metodologia multicriterial

No âmbito dos estudos em erosão voltados à avaliação da sustentabilidade do uso e do manejo agrícolas, torna-se importante adotar indicadores que auxiliem a classificação dos solos ocorrendo em dado local em uma seqüência de suscetibilidade ao processo erosivo, de maneira a dar suporte às decisões envolvendo a alocação tanto de recursos, quanto de cuidados especiais. Na falta de estimativas diretas de erosão, e mediante a disponibilidade de dados de rotina publicados em levantamentos de solos de dada área, a análise multicriterial a partir de um conjunto mínimo de dados permite calcular um índice para cada perfil e classificar os diferentes tipos de solos, com base nos atributos mais influentes em sua suscetibilidade à erosão (LARSON e PIERSE, 1994). Essa classificação é possível devido aos métodos multicriteriais possuírem grande diversidade de técnicas para análise de alternativas e critérios, bem como por permitirem o envolvimento dos atores envolvidos como produtores, usuários, orgãos ambientais de saúde pública ou de saneamento, agências reguladoras, especialistas, organizações não governamentais, entre outros (ALVES, 2003).

Tomadas de decisões são partes essenciais de toda a vida humana. Critérios sócio-econômicos, políticos, culturais e psicológicos devem ser considerados na solução de problemas a serem equacionados. Esses fatores são geralmente ignorados por muitos métodos de tomadas de decisão, uma vez que são demonstrados na maior parte das vezes por variáveis qualitativas por meio de julgamentos subjetivos. Entretanto, fatores qualitativos devem ser importantes ou até mais importantes em relação aos fatores quantitativos, uma vez que refletem o conhecimento humano sobre o estudo em questão. Por essa razão, no processo da tomada de decisão fica clara a necessidade de uma análise sistemática e compreensiva com base em variáveis quantitativas e qualitativas (BÜYÜKYAZICI e SUCU, 2003).

Segundo ALVES (2003), o processo de apoio à tomada de decisão se divide em duas fases fundamentais, que são diferenciadas, porém intrinsecamente ligadas. A primeira fase

pode ser apresentada como etapa de análise do sistema em estudo e, conforme BANA e COSTA (1988), condiz com a identificação, caracterização e hierarquização dos principais especialistas envolvidos e à explicação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si, em termos dos seus méritos e desvantagens relativas, face a um conjunto de critérios de avaliação, definidos nesta fase de acordo com o ponto de vista dos especialistas. Em termos gerais, esta fase trata da formulação do problema e da identificação do objetivo do topo do processo de avaliação.

A segunda fase do processo consiste em uma etapa de síntese, cuja finalidade é dar "transparência" à escolha, recorrendo a aplicação de métodos multicriteriais para apoiar a modelagem das preferências dos especialistas e sua agregação (ALVES, 2003).

Em muitos trabalhos, faz-se a comparação entre métodos multicriteriais, como por exemplo, no trabalho de CORDEIRO NETTO et al. (1993). Entretanto, diferentes autores já concluíram que no âmbito do mesmo grupo de métodos multicriteriais, não costuma ser significativa a diferença obtida na aplicação e no resultado dos diferentes métodos. De fato, a escolha do método multicriterial seria o fator menos importante, sendo que o fator decisivo recai na escolha dos critérios e de toda a estrutura de preferências estabelecidas (HARADA, 1999). Escolher o método multicriterial depende do problema a ser analisado, da familiaridade do analista por determinado método e da existência dos recursos necessários à sua execução (GENERINO & CORDEIRO NETO 1997).

Os elementos básicos de um problema afeito à análise multicriterial incluem, segundo ROY e BOUYSSOU (1993) e BANA e COSTA e VANSNICK (1994):

- Objetivos: constituem a expressão dos propósitos (fins) pretendidos no lidar com um problema multicritério. Isto posto, é realçada a necessidade de buscar fazê-los claros, mensuráveis, acordado entre as partes envolvidas e reais (exeqüíveis). A depender da complexidade envolvida no problema, os objetivos podem ser subdivididos em níveis menores com vistas a atender as características antes apontadas (SAATY, 1990).
- Especialistas: personificam o decisor, agente de decisão que faz escolhas e assume preferências; o facilitador, que conduz o processo motivando os decisores a expressarem seus pontos de vista; o analista, responsável por interpretar e quantificar as opiniões dos decisores, estruturar o problema e elaborar o modelo representativo do problema de decisão;

- Modelo: configura o conjunto de regras e operações matemáticas, aplicadas em um contexto de restrições, que permite transformar as preferências e opiniões dos decisores em um resultado mensurável;
- Alternativas: compreendem o conjunto de opções colocado à avaliação dos decisores. São possibilidades de escolha que podem representar diferentes cursos de ação, diferentes conjuntos de características etc;
- Critérios: constituem a expressão qualitativa ou quantitativa de um ponto de vista utilizado na avaliação das alternativas e que permitem a comparação das ações em relação a pontos de vista particulares (ROY e BOUYSSOU, 1993);
- Atributos: possibilitam o relacionamento entre as alternativas e os critérios. São descritos usando variáveis (parâmetros) que são mensuráveis e que objetivam as alternativas. Os atributos formam a ponte entre as alternativas e os critérios, ou seja, a ligação entre a tangibilidade das alternativas e a abstração dos critérios.

Com o objetivo de apoiar o processo decisório no enfoque multicritério, torna-se necessário arquitetar este conjunto de elementos de modo que se possa expressar as preferências dos decisores e orientar as relações a serem estabelecidas entre componentes.

2.4.1. Estruturação do Processo Decisório

A fase de estruturação do processo decisório trata da escolha de um método que auxilie a materializar a formulação do problema. É uma etapa interativa e dinâmica, pois fornece uma linguagem comum aos decisores, o que possibilita a aprendizagem e o debate. Segundo BANA e COSTA et al. (2000), esta fase representa cerca de 80% do total do problema, o que sugere sua importância dentro do processo de decisão.

Face à possibilidade de diversidade de pontos de vistas ou de interpretações acerca do problema e dado que as decisões em sua maioria são tomadas no âmbito organizacional por grupos de indivíduos, é salutar fazer uso de métodos para auxiliar os decisores a expressarem perspectivas consensuais para o grupo (BANA e COSTA et al., 2000).

2.4.1.1. Método Delphi

O Método Delphi tem o seu nome como referência ao oráculo da cidade de Delfos na Antiga Grécia. Começou a ser idealizado em 1948 a partir de trabalhos desenvolvidos por Ofaf Helmer e Norman Dalker, pesquisadores da *Rand Corporation,* e foi disseminado no começo dos anos 60 (SPÍNOLA, 1984; WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000). A partir de 1960, a técnica começou a ser ampliada na previsão de acontecimentos em vários setores (SPÍNOLA, 1984), sendo definida como:

> "Técnica de processo grupal que tem por finalidade obter, comparar e direcionar julgamento de peritos para um consenso sobre um tópico particular, promovendo a convergência de opiniões" embora nem sempre, em última instância, seja completado (SPÍNOLA, 1984).

Originalmente, pretendeu-se desenvolver uma técnica para aprimorar o uso da opinião de especialistas para previsão tecnológica. Com o passar do tempo, a técnica passou a ser utilizada para previsão de tendências sobre os mais diversos assuntos (SPÍNOLA, 1984).

Em linhas gerais, segundo WRIGHT e GIOVINAZZO (2000), o método Delphi consulta um grupo de especialistas a respeito de eventos futuros por meio de um questionário, que é repassado continuadas vezes até que seja obtida uma convergência das respostas, um consenso, que representa uma consolidação do julgamento intuitivo do grupo. Pressupõe-se que o julgamento coletivo, ao ser bem organizado, é melhor do que a opinião de um só indivíduo. O anonimato dos respondentes, a representação estatística da distribuição dos resultados e o *feedback* de respostas do grupo para reavaliação nas rodadas subseqüentes são as principais características deste método (SANTOS et al., 2005). Ainda, segundo esses mesmos autores, o método Delphi pode ser utilizado para auxílio na resolução de problemas complexos cuja literatura é escassa, devido o método explorar o conhecimento tácito presente nos especialistas da área, sem necessitar de formalização, via documentos.

No presente estudo, empregou-se o Método Delphi para definição dos critérios que mais influem na suscetibilidade do solo à erosão de acordo com especialistas em Ciência do Solo. O uso da técnica permitiu analisar o problema, identificar soluções e detalhar possíveis fatores a serem trabalhados visando ao uso sustentável e à conservação do recurso.

2.4.1.1.1. Etapas do Método Delphi

Realizada de forma convencional, a técnica costuma produzir um número máximo de cinco rodadas (KAYO e SECURATO, 1997; SANTOS et al., 2005). Em cada rodada é aplicado um questionário a um grupo de especialistas pré-selecionados, sendo que os questionários possuem duas finalidades: elucidar e desenvolver as perspectivas individuais para os problemas propostos e fornecer aos especialistas *feedback* de opinião controlada, de modo a auxiliar o refinamento de seus pontos de vista, facilitando assim, a comunicação do julgamento do grupo (ADLER e ZIGLIO, 1996). Após cada rodada, as informações são tabuladas, analisadas e parâmetros estatísticos sumarizados são enviados aos especialistas para realizarem uma re-avaliação de seu julgamento, de modo a manter ou modificar suas notas perante o grupo (SANTOS et al., 2005). Um número maior de rodadas não é aconselhável por restrições de tempo e, principalmente, pelo fato de não existirem mudanças de opinião significativas nas rodadas posteriores.

As características do método Delphi, que o distinguem de outros processos de decisão em grupo são anonimato, interação com *feedback* controlado, respostas com informações estatísticas e o conhecimento que o especialista traz para o grupo (GOODMAN, 1987; MORICOCHI et al., 1995), podendo-se resumir nas seguintes etapas:

1- O anonimato dos respondentes, proporcionando maior liberdade nas respostas;
2- As iterações a fim de obter o consenso dos respondentes;
3- A retroalimentação (*feedback*) das respostas para os especialistas; e
4- A representação estatística dos resultados em cada fase.

Do ponto de vista de REID (1988), a principal vantagem da técnica é que ela remove fatores interpessoais que frequentemente influenciam os grupos ou comitês de consenso, quando os participantes estão frente a frente. Esta técnica encoraja opiniões honestas devido a não existência de pressão do grupo. Outras vantagens apresentadas pelo autor incluem:

- Remover a dificuldade que as pessoas têm de rever opiniões emitidas previamente;
- Eliminar a influência direta entre pessoas: as respostas individuais são sempre relevantes uma vez que são produzidas conforme a experiência de cada um;

- Permitir o estabelecimento de comunicação entre especialistas distantes geograficamente;
- Permitir tempo para pensar individualmente;
- Permitir uma ampla participação de pessoas de diversas especialidades e experiências sem problemas de comunicação;
- Permitir o envolvimento de um maior número de pessoas que uma conferência normalmente pode efetivar;
- Possibilitar a produção de grande quantidade de idéias; e
- Reduzir o custo, por não precisar reunir todos os participantes.

WRIGHT (1986) enumera outras vantagens:

- Permitir a realização de previsões em situações de carência de dados históricos;
- A consulta a um grupo de especialistas traz à análise do problema pelo menos o nível de informação do membro melhor informado e, em geral, traz um volume muito maior de informação;
- O uso de questionários e respostas escritas conduz a uma maior reflexão e cuidado nas respostas, que facilita o seu registro, em comparação a uma discussão.

Porém, WRIGHT (1986) e MORICOCHI et al. (1995) citam desvantagens quanto ao uso do método:

- Seleção da "amostra" de respondentes e tratamento estatístico não aceitáveis;
- Excessiva dependência dos resultados em relação à escolha dos especialistas, com a possibilidade de forçar indevidamente o consenso;
- Dificuldade de se redigir um questionário sem ambiguidades e não enviesado sobre tendências futuras;
- Demora excessiva para a realização do processo completo, especialmente no caso de envio de questionário pelo correio; e
- Elevados custos de elaboração.

Como medidas para amenizar as desvantagens do método Delphi, realizou-se neste estudo:

- A escolha de no mínimo 15 especialistas que, de acordo com VICHAS (1982), é uma quantidade suficiente considerando uma amostragem determinística em um estudo Ad-Hoc;
- A pesquisa via e-mail pela internet, sendo cada rodada efetivada dentro de um período de 15 dias;
- A elaboração de questionários compostos de no máximo duas questões somente, para evitar problemas quanto a ambigüidade.

Uma vez que um dos objetivos do estudo foi o de criar um indicador e classificador da suscetibilidade do solo à erosão via modelagem de conceitos obtidos de especialistas, segundo FOWLES (1978) e SANTOS et al. (2005), o método Delphi é um procedimento válido para esta apuração, por ter sido criado para obter informações via julgamento humano.

2.5. Métodos Multicriteriais da Escola Americana

Após a definição dos critérios influentes no processo decisório, deve ser escolhido o método multicriterial para a estruturação e análise do problema. Os métodos mulcrititeriais existentes alinham-se sob duas escolas, a americana e a européia. Na Escola Americana, destacam-se os Métodos Multicriteriais para a Tomada de Decisão (*Multiple Criteria Decision Making* - MCDM), que seguem a linha pré-determinada com seus trabalhos guiados pelo estabelecimento de um ideal, baseado em axiomas criando prescrições para a maior aproximação possível do ideal, ou seja, valorizando a "objetividade" (ALVES, 2003). Os resultados da aplicação dos métodos para as tomadas de decisão da escola Americana são variáveis de acordo com os especialistas envolvidos. Uma vez que haja a necessidade de troca ou desistência de algum especialista na pesquisa, é necessário refazer o modelo multicriterial, pois as tomadas de decisão expressam a ordem de preferência dos especialistas participantes, por meio das comparações paritárias (que exprimem a prioridade de cada especialista) contidas nos métodos aplicados (BOUYSSOU et al., 2006).

2.6. Métodos Multicriteriais da Escola Européia

A escola Européia é representada pelos Métodos de Auxílio a Tomada de Decisão (*Multiple Criteria Decision Aid* - MCDA), na qual a linha adotada é o construtivismo que permite a valorização de aspecto subjetivos (ALVES, 2003). De acordo com BOUYSSOU et al. (2006), todo método de auxílio à tomada de decisão implica na existência de dois "atores" distintos: o especialista e o analista, sendo que o especialista possui um conhecimento pleno do assunto, enquanto o analista é o conhecedor dos métodos aplicados, bem como o condutor do estudo

A tomada de decisão que contribui para o problema só faz sentido quando é resultante da aplicação de diferentes métodos de auxílio à tomada de decisão, sendo que o último objetivo é encontrar um consenso entre o(s) especialista(s) e o analista (BOUYSSOU et al., 2006).

2.6.1. MAVT

A teoria de valor multiatributo (MAVT – *Multiattribute value theory*) é um método matemático que representa os julgamentos humanos por meio de uma estrutura analítica de preferências e valores dos julgamentos (BEINAT, 1997). Segundo esse mesmo autor, a MAVT é um tópico de uma teoria mais geral baseada no conceito de maximização utilitária. A relação fundamental é a de existência de uma associação com a teoria da utilidade, isto é, existe uma função de valor real denominada função utilitária, que avalia cada alternativa por meio de um *score* de utilidade. Este *score* é estabelecido com base nas decisões que se deseja maximizar. Com isso, torna-se possível elaborar ordens de preferências entre as alternativas e, como conseqüência, compará-las sob momentos de certeza (VON NEUMANN & MORGERNSTERN, 1953; KEENEY & RAIFFA, 1976). Ao utilizar as funções de utilidade, as preferências sobre as opções decisórias podem ser representadas por meio de relações aritméticas: se a alternativa A é preferida em relação à alternativa B, então a utilidade de A é maior que a utilidade de B e vice-versa.

KEENEY e RAIFFA (1976) estenderam os conceitos da teoria da utilidade para o auxílio a problemas decisórios, no qual cada alternativa pode ser descrita por uma lista de critérios. Os autores propuseram a construção de uma função matemática capaz de agregar as informações dos múltiplos critérios de forma que, a cada alternativa, pudesse ser associada

uma medida de valor. Isto torna possível elaborar ordens de preferências entre as alternativas. Esses autores definiram uma função de representação de preferência, sob condições de risco, como "função de utilidade". A função de utilidade multiatributo pode ter diversas formas matemáticas e sua aplicação, como instrumento de apoio a decisão, requer o atendimento a alguns requisitos. Um desses requisitos é a construção de um modelo que permita ao analista comparar as alternativas, com base em um conjunto de critérios, ou seja, um modelo que permita estabelecer relações de preferência entre alternativas.

Dentro desta teoria, existe uma maior distinção entre a teoria da função de utilidade e a teoria do valor multiatributo. A função de utilidade é aplicada aos resultados de opções decisórias incertas (KEENEY e RAIFFA, 1976). A teoria do valor multiatributo, em contraste, é aplicada aos resultados obtidos por meio de opções que não necessitam de ser descritas via distribuições de probabilidade, ou seja, opções que não envolvem riscos ou incertezas. Esta teoria é menos divulgada, porém de mais fácil aplicação. Mas, isso não implica a inclusão da incerteza, que pode ser verificada via análise de sensibilidade (RIOS INSUA, 1990; RIOS INSUA e FRENCH, 1991; HERWIJNEN et al., 1995).

DYER (2005) argumenta que, apesar de muitos acadêmicos considerarem a teoria de utilidade multiatributo de KEENEY e RAIFFA (1976) como sinônimo da teoria da preferência multiatributo, essa teoria não é apropriada para decisões envolvendo múltiplos objetivos, quando o risco não é um fator a ser considerado, tendo em vista que os axiomas apropriados para escolhas de riscos não têm que ser satisfeitos para utilização de modelos de preferência multiatributos que não envolvam riscos. BELTON e STEWART (2002) adotam a nomenclatura "teoria de valor multiatributo" (ou MAVT – *Multiattribute Value Theory*) e consideram que a teoria de utilidade pode ser vista como uma extensão da teoria de valor aplicada a situações de incerteza, em contraste com o pensamento de alguns autores como BEINAT, (1997).

De acordo com BEINAT (1997), os modelos de funções de valor multiatributo traçam o perfil de cada alternativa por meio de um valor usualmente normalizado na escala de 0 a 1. Os valores 0 e 1 são associados com dois perfis hipotéticos, que representam a pior (mais distante do objetivo) e melhor (mais próxima do objetivo) situação a ser considerada.

Os valores que compõem cada alternativa é a junção dos valores individuais de cada critério obtidos em separado. O *score* das funções de valores dos critérios é ponderado pela

função de valor global. O modelo necessita de quatro passos para ser elaborado (FISCHER, 1977; MEIRELLES e GOMES, 2009):

1. Definição das escalas dos *scores* (R_i) para cada atributo (X_i), denominado também de discretização;
2. Elaboração da função de valor para cada atributo (função de valores marginais);
3. Elaboração de ponderadores; e,
4. Combinação das funções de valores marginais por meio da função de valor global.

As escalas servem para definir o domínio da aplicação, considerando a existência da melhor e pior prioridades em todas as escalas dos critérios avaliados. A junção dos melhores e piores *scores* para todos os critérios determinam as melhores e piores alternativas (perfis) (KEENEY e RAIFFA, 1993; BEINAT, 1997).

Na elaboração das funções de valores, estão associadas as preferências relativas das comparações entre a melhor e a pior performance do critério em relação aos demais, de acordo com o objetivo proposto (KEENEY e RAIFFA, 1993; BEINAT, 1997). Os ponderadores são utilizados para explicitar a importância relativa do critério (ou grupo de critérios) de cada função de valor no modelo final.

De acordo com KEENEY e RAIFFA (1993) e BEINAT (1997), o método mais usual na composição das funções de valores é por meio da combinação ponderada aditiva. Assim, o valor total de uma alternativa é a soma das ponderações de seus critérios, cujo valor final estará compreendido em uma escala de 0 a 1, que corresponde a pior performance (mais distante do objetivo proposto) e melhor performance (mais próxima do objetivo proposto) respectivamente, função essa dada pela equação 1.

$$v(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{n} v_i(x_i), \qquad (1)$$

onde v_i são funções de valor do *i-ésimo* critério x_i.

A condição chave para a utilização da representação aditiva é que haja mútua independência de preferência entre os critérios x_i, ou seja, que os julgamentos humanos sejam realizados de forma independente entre as alternativas para um dado critério. Os critérios

x_i e x_j são preferencialmente independentes se os *tradeoffs* (possibilidade de contrabalançar uma desvantagem com relação a algum critério, com uma vantagem suficientemente grande em outro critério BOUYSSOU, (1990)) entre x_i e x_j são independentes de todos os critérios, o que garante a aleatoriedade (não influência entre os critérios) dos valores obtidos das alternativas para um dado critério. Mútua independência de preferência requer que a independência de preferência se sustente para todos os pares x_i e x_j, ou seja, as curvas de indiferença para quaisquer pares de critérios devem ser inalteradas por níveis fixos dos critérios remanescentes. Nos casos em que uma representação aditiva não possa ser utilizada, uma forma multiplicativa deve ser considerada (BOUYSSOU, 1990; KEENEY e RAIFFA, 1993; BEINAT, 1997).

No trabalho de MEIRELLES e GOMES (2009), a escolha da função de valor multiatributo como método multicritério para a modelagem do problema foi decorrente do fato de ser este o método que apresenta uma base axiomática sólida no sentido de procurar descrever o comportamento dos indivíduos em seu processo decisório. Associado a isso, foi o método que se mostrou mais adequado às características do problema, na medida em que permitiu representar os diferentes eixos ao longo dos quais os técnicos que executam a tarefa de seleção de tecnologias justificam suas preferências por ser um método compensatório que permite explicitar os *tradeoffs* e tratá-los de forma adequada.

2.6.2. O Método ELECTRE

De acordo com ROY (1971), método ELECTRE II é uma versão aperfeiçoada do método ELECTRE I, que se baseia na classificação das alternativas obtidas pelo primeiro método, com base nos graus de Preferência Forte e Fraca definida pelo decisor.

O método ELECTRE II pertence a família ELECTRE (*Elimination et Choix Tradusant la Realité)* que é um método baseado na representação relacional das preferências do decisor (BENAYOUN et al. 1966; ROY, 1971; ROY e BERTIER, 1973). Esta categoria de métodos é muito utilizada na "Escola Européia" principalmente a francesa por não incluir, em seu cálculo, um vício que seria considerado como sendo as preferências do(s) tomador(es) de decisão representados por meio de funções (ZUFFO, 1998). O grande mérito associado ao método deve-se ao fato do mesmo buscar modelar as opiniões dos decisores de forma mais

realista, conjugando características matemáticas (parâmetros quantitativos) com características da subjetividade humana (parâmetros de mensuração qualitativa) para obtenção de resultados em apoio à decisão.

Este método torna possível agrupar os vários aspectos de um problema em conjuntos baseados em relações hierárquicas que possibilitam a adoção de critérios de diferentes naturezas podendo ser quantitativos, qualitativos, boleanos ou nominais (ZUFFO et al., 2002), devendo-se estabelecer alguns parâmetros de concordância ou discordância (GOMES et al.,2002).

Os métodos que compõem a família ELECTRE diferem de acordo com sua complexidade, riqueza de informação necessária e tipo de decisão a ser obtida (FIGUEIRA et al., 2005).

De acordo com ZUFFO et al. (2002), a idéia no ELECTRE II é a de escolher as alternativas que são preferidas para a maioria dos critérios e que não ultrapassam determinado nível de desconforto ou descontentamento aceito pelo Decisor (*Decision Maker* - DM) para nenhum dos critérios considerados.

Essencialmente o ELECTRE II estabelece uma ordenação completa sobre um conjunto de alternativas inicialmente consideradas que satisfaça: 1) O teste da concordância, em que a medida da concordância está acima de um nível mínimo de aceitabilidade; e 2) O teste da discordância, em que a medida da discordância está abaixo de um nível máximo tolerável de discordância (ROY 1971; ROY e BERTIER, 1973; JARDIM, 1999; ZUFFO et al., 2002).

De acordo com FIGUEIRA et al. (2005), os métodos ELECTRE têm se aperfeiçoado ao longo do tempo, de acordo com suas aplicações. O método ELECTRE I auxilia na escolha da melhor alternativa. Como complemento, foi criado o método ELECTRE II que auxilia na classificação de alternativas (um dos objetivos deste estudo), por meio da construção de classificações descendentes e ascendentes em um procedimento com múltiplas etapas, baseado em relacionamentos fortes e fracos (coeficiente determinado pelo pesquisador) e que conseqüentemente necessita de dois pares de concordância e discordância como pontos iniciais. O ELECTRE III baseia-se no conceito quase-criterial de indiferenças de preferências iniciais. O ELECTRE TRI fornece uma classificação das alternativas de acordo com cada objetivo e, por último, o ELECTRE IV pode ser usado em conjunto no qual o tomador de decisão não especifica ponderações dos sub-objetivos.

HWANG e YON (1981) consideram os métodos ELECTRE como um dos melhores métodos multicriteriais devido à maneira simples com que as informações de suas matrizes são utilizadas.

Entretanto, BELTON e STEWART (2002) criticam os métodos ELECTRE, pelo fato de que não é possível a verificação de sua eficiência e robustez via análise de sensibilidade, e é difícil a interpretação das informações no procedimento de agregação e na sensibilidade do resultado, quando algum critério é removido ou adicionado ao modelo.

Porém, uma forma de verificação da eficiência do método é utilizando-o com múltiplos cenários, que possibilita a associação entre as posições obtidas por esse e os motivos descritos acima. Neste estudo, o método ELECTRE II foi aplicado com foco confirmatório no que tange aos resultados obtidos.

2.6.3. Os Métodos CP e CGT

Os métodos CP (*Compromise Program*) e CGT (*Cooperative Games Theory*) fazem parte da família da Programação Matemática Multiobjetivo, sendo que ambos se complementam em suas análises, uma vez que o método CP se baseia no conceito de Pitágoras (distância métrica), que procura minimizar a distância de todos os pontos possíveis de ocorrer em relação a um determinado ponto selecionado pelo responsável na tomada de decisão DM (*Decision Maker*), referido por "ponto ideal". No método CGT, ao contrário do método CP, sua solução ideal é aquela que maximiza a distância de um determinado ponto de nível mínimo, onde a medida de distância utilizada é a geométrica (KOOPMANS, 1951; ZELENI, 1982; GERSHON e DUCKSTEIN, 1982; ZUFFO, 1998).

No método CP, a solução ideal é obtida por meio de uma função linear objetivo. O vetor dos critérios são todos máximos e são chamados de vetor ideal. A obtenção da Solução Ideal não é possível, pois dificilmente existe um vetor de decisões que seja solução comum a todos os problemas. Porém, pode ser utilizada na avaliação das soluções alcançáveis (ZELENI, 1982). Com as alternativas discretizadas e cada um dos critérios representados na matriz de avaliação (*Payoff*), este método pode ser aplicado fazendo-se com que os melhores valores alcançados por cada um dos critérios seja definido como f_i^*, e os piores como $f_{i,j}$. Com esses valores, com os parâmetros "α_i" (pesos) e "*S*" dados, calcula-se a distância de cada

alternativa à solução ideal, e seleciona-se a alternativa de menor distância como a de melhor compromisso. É possível que a solução de menor distância leve a uma solução inferior dependendo dos valores de α e S adotados (ZELENI, 1982).

A análise de sensibilidade para o método da CP é realizada por meio dos cenários com base nos graus de importância dados aos desvios máximos (HARADA, 1999; JARDIM, 1999).

O método CGT, de acordo com ZUFFO (1998), em geral é um estudo matemático de resolução de conflitos, no qual os participantes têm a oportunidade de se comunicar, formar ligações e reforçar concordâncias e/ou acordos.

Segundo GERSHON e DUCKSTEIN (1982), o método CGT, ao invés de enfatizar a competição entre objetivos, utiliza a cooperação para que se possa atingir uma solução viável. Outra vantagem é que qualquer solução intermediária é factível, o que é uma característica desejável à natureza iterativa dos algoritmos de programação não-linear.

2.7. Estatística Não-Paramétrica Aplicada ao Processo Decisório

A estatística proporciona meios para formalizar e padronizar os processos para daí se tirar conclusões. Dentre as técnicas estatísticas que auxiliam na tomada de decisão encontra-se a estatística não-paramétrica.

Ao lidar com amostras, a estatística não-paramétrica tem o objetivo de verificar se as conclusões obtidas podem ser generalizadas para a população. Os testes não-paramétricos tem como vantagem não requerem suposições sobre os parâmetros da população da qual se extraiu a amostra da pesquisa, como por exemplo, normalidade (SIEGEL, 1975).

A principal vantagem das análises não-paramétricas é, portanto, que a aplicação independe da forma da distribuição da população da qual se extraiu a amostra. Ainda, podem ser constituídas de observações de populações diferentes e/ou pequenos tamanhos amostrais, aplicando-se em dados aparentemente numéricos que verdadeiramente têm a força de postos e em dados classificatórios (SIEGEL, 1975).

O coeficiente de correlação por postos de Spearman (r_s) é uma medida de associação que exige que ambas as variáveis se apresentem em uma escala de mensuração pelo menos ordinal, de modo que os objetos ou indivíduos em estudo possam dispor-se por postos, (que se

baseiam na ordenação de um atributo com base em um conjunto de *n* critérios, RODRIGUES, 1970), em duas séries ordenadas. Sua equação é dada por:

$$r_S = \frac{6\sum_{i=1}^{N} d_i^2}{N^3 - N} \qquad (2)$$

Sendo:

d_i é a diferença entre os dois postos;
N é o número de indivíduos.

A eficiência do coeficiente de correlação por postos de Spearman, quando comparado com a mais poderosa prova paramétrica de correlação, o coeficiente *r* de Pearson, é de cerca de 91% (HOTELLING e PABST, 1936). Isto é, quando se utiliza r_s com uma amostra para comprovar a existência de uma associação na população e quando as suposições e exigências inerentes ao uso adequado do coeficiente *r* de Pearson são satisfeitas, isto é, quando a população tem distribuição normal bivariada e a mensuração é feita no mínimo em escala de intervalo, então r_s tem 91% de eficiência na rejeição de H_0. Se existe uma correlação entre X e Y naquela população, em 100 casos r_s revelará a existência de tal correlação ao mesmo nível de significância que *r* atinge em 91 casos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Proposição Metodológica

A avaliação da suscetibilidade do solo à erosão se baseou na modelagem do conhecimento de especialistas sobre o tema, tendo como condição de contorno a aplicação de dados de rotina disponíveis nos Relatórios Técnicos dos Levantamentos de Solos.

O estudo foi composto por cinco etapas principais: 1- escolha dos especialistas; 2- escolha dos critérios com maior influência na suscetibilidade do solo à erosão; 3- atribuição de pesos aos critérios selecionados; 4- modelagem do conhecimento dos especialistas por meio da aplicação de métodos multicriteriais; e, 5- avaliação e classificação da suscetibilidade à erosão de diferentes classes de solos (Ordens e Subordens). A Figura 1 resume as etapas da proposição metodológica desenvolvida.

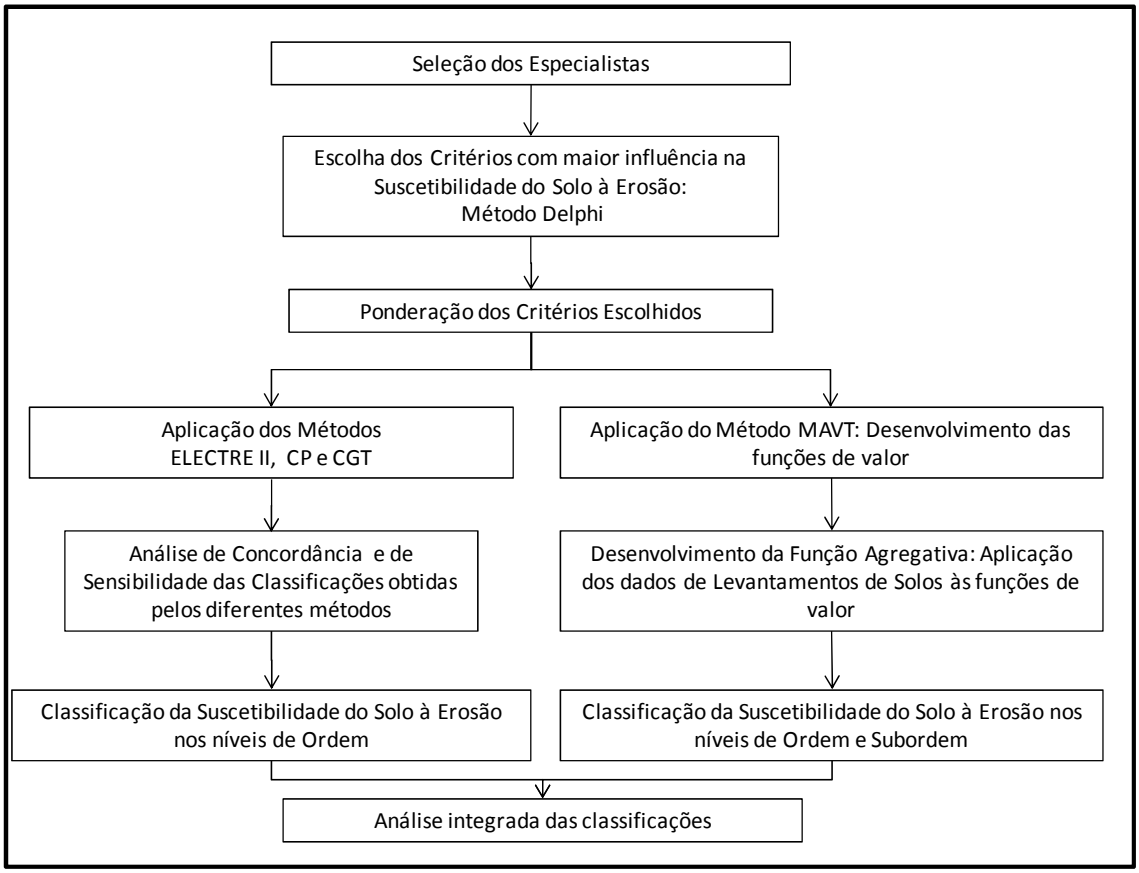


Figura 1: Proposição Metodológica para Avaliação da Suscetibilidade do Solo à Erosão.

No desenvolvimento das funções agregativas foram utilizados os dados disponíveis no trabalho de OLIVEIRA (1999), contendo descrições morfológicas e resultados analíticos de 22 perfis de solos do Estado de São Paulo representativos das ordens dos ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, CHERNOSSOLOS, ESPODOSSOLOS, GLEISSOLOS, LATOSSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, NITOSSOLOS, ORGANOSSOLOS, PLANOSSOLOS e PLINTOSSOLOS. Os dados para a ordem dos VERTISSOLOS foram extraídos de dois perfis constantes do trabalho de MARQUES (2004).

3.1.1. Pesquisa Ad-Hoc

Devido às premissas do método multicriterial, que incluem a de se chegar a um resultado que seja o consenso da maioria dos entrevistados, aplicou-se o método de pesquisa ad-hoc que, por definição, é aplicado quando o tempo é escasso ou quando o objetivo é de obter um consenso entre especialistas (MOREIRA, 1992). Embora o conceito de *Ad-Hoc* esteja comumente associado à formação de grupos de especialistas, para a reunião de informações em um curto período de tempo, seu uso não se restringe a isso, aplicando-se também à coleta de dados e opiniões de pessoas ou grupos diversos.

Para a escolha dos atributos com maior influência na Suscetibilidade do Solo à Erosão, foram escolhidos 100 especialistas brasileiros. A escolha dos especialistas teve por base o atendimento às seguintes condições de contorno: 1) Possuir título de Doutor ou Pós-Doutorado em Ciências Agrárias em Universidade, Instituto ou Centro de reconhecida competência; 2) Atuar em pelo menos uma das seguintes áreas: Gênese, Morfologia e Classificação dos Solos; Manejo e Conservação do Solo; Física do Solo; Fertilidade do Solo; 3) Possuir pesquisas na área de erosão do solo e/ou conservação do solo.

O convite aos especialistas foi realizado por meio de carta enviada por correio eletrônico, conforme modelo do Anexo 1, na qual foi esclarecido o propósito do estudo e os compromissos de sigilo e o retorno das respostas antes do final do estudo.

3.2. Método Delphi

A utilização do método nesta pesquisa fez-se nos moldes do procedimento típico de um experimento Delphi convencional, conforme descrito em LINSTONE e TUROFF (1975), visando a identificação das questões-chave mais relevantes para as preocupações estratégicas dos especialistas em solos. A opção pelo método Delphi se baseou na adequação de suas características à proposta do presente estudo e em virtude das limitações anteriormente previstas no processo de coleta de informações nesta etapa da pesquisa. Para a aplicação do método Delphi, foram utilizadas as premissas citadas em SANTOS et al. (2005):

- questões objetivas;
- informar ao especialista sobre perguntas e objetivos a serem discutidos;
- garantia de respostas curtas, se possível na forma de árvore dicotômica;
- organização das questões de forma a facilitar a organização de um banco de respostas;
- linguagem deve ser acessível;
- existência de mais de um avaliador;
- garantia da devolução dos questionários;
- garantia de um percentual representativo de cada grupo envolvido (para representar as diversas opiniões ou interesses;
- garantia do anonimato dos consultados; e
- decisão prévia da proporção de consenso desejado.

O método Delphi permite a validação das questões abordadas quanto à sua compreensão, sequência e adequação aos objetivos a serem atingidos, uma vez que o *feedback*, ou processo que busca minimizar possíveis erros não previstos pelo pesquisador, é uma de suas principais características (ROESCH, 1999). A Figura 2 ilustra o fluxograma de aplicação do método Delphi.

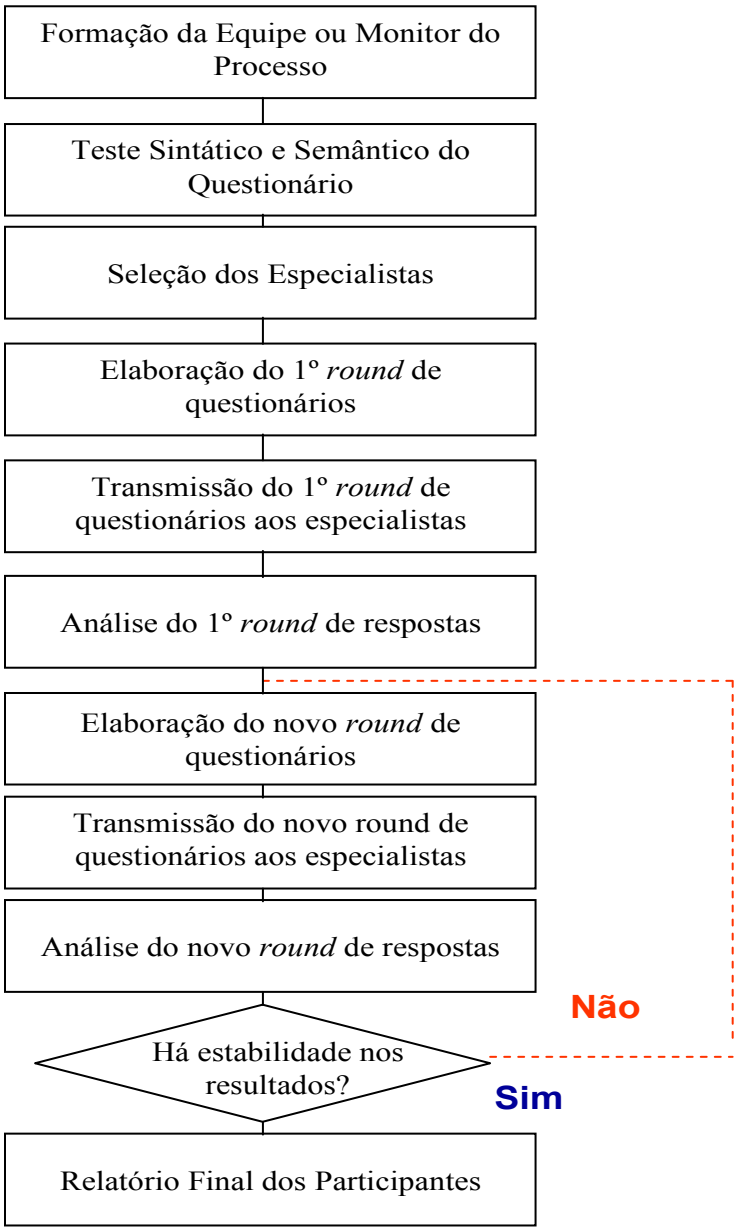


Figura 2: Fluxograma de aplicação do método Delphi na pesquisa acerca dos atributos edáficos determinantes da susceptibilidade dos solos ao processo erosivo.

Para realização da pesquisa com os especialistas foram aplicados inicialmente dois questionários, referidos por 1 e 2. A partir do aceite do especialista em participar da pesquisa, foi enviado o 1º questionário, sendo dado o prazo de 15 dias para o retorno das respostas. O 1º Questionário teve por objetivo selecionar os atributos edáficos mais relevantes para avaliação da suscetibilidade do solo à erosão, sendo que a estrutura desse questionário pode

ser observada no Apêndice 2. A despeito de ter sido recomendado aos especialistas que fizessem suas indicações de atributos a partir daqueles constantes nos relatórios técnicos dos levantamentos de solos, tal recomendação nem sempre foi seguida. Por essa razão, fez-se necessário aplicar um filtro às respostas dos especialistas ao 1º Questionário (Apêndice 2), bem como excluir alguns atributos que não se constituíam em atributos de rotina dos levantamentos de solos. Com os atributos remanescentes, foi elaborado o 2º Questionário (Apêndice 3), com a consolidação dos atributos selecionados para que os especialistas atribuíssem graus de preferência aos atributos, novamente sendo dado um prazo inicial de 15 dias para o envio das respostas.

- Em uma terceira rodada, a partir do retorno das respostas do 2º Questionário, foi aplicada a frequência estatística das preferências por atributo selecionado. Após a consolidação dos resultados, o sumário com as preferências de cada atributo foi re-enviado aos especialistas com o propósito de realizar o último ajuste. Já revistas as preferências, foram finalmente definidos os atributos edáficos com base na escala *Likert* (LIKERT, 1932), sendo empregados os atributos (acima de 80% de concordância parcial ou plena) nas etapas subseqüentes da pesquisa para avaliação da suscetibilidade do solo à erosão.

3.3. Aplicação dos Métodos Multicriteriais

Após a escolha dos atributos edáficos pelo método Delphi, iniciou-se o estudo de sua influência na suscetibilidade dos diferentes tipos de solos à erosão por meio da aplicação dos Métodos de Análise Multicriterial.

O primeiro procedimento para aplicação dos métodos multicriteriais deve ser a definição dos pesos, que foram obtidos por meio do 3º Questionário (Apêndice 4). Os pesos constituem uma medida estatística com escala de variação pré-definida, cuja soma resulta em uma porcentagem de 100% ou em uma unidade. Sua aplicação nos métodos multicriteriais representa a influência parcial de cada critério para com o problema (objetivo) proposto.

Uma vez que neste estudo as avaliações e pesos foram atribuídos por mais de um especialista, os pesos foram sumarizados por meio de cinco medidas de posição: Média Geométrica, Mediana, Mínimo, Máximo e Moda.

Na montagem das matrizes de avaliação para aplicação dos métodos multicriteriais, os atributos edáficos foram designados como sendo os "critérios", e os tipos de solos, representados pelas ordens do sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2006) foram designados como sendo as "alternativas".

3.3.1. Método de Programação por Compromisso (Método CP)

A aplicação do método multicriterial referido por "Programação por Compromisso" ou Método CP seguiu oito etapas definidas no fluxograma da Figura 3.

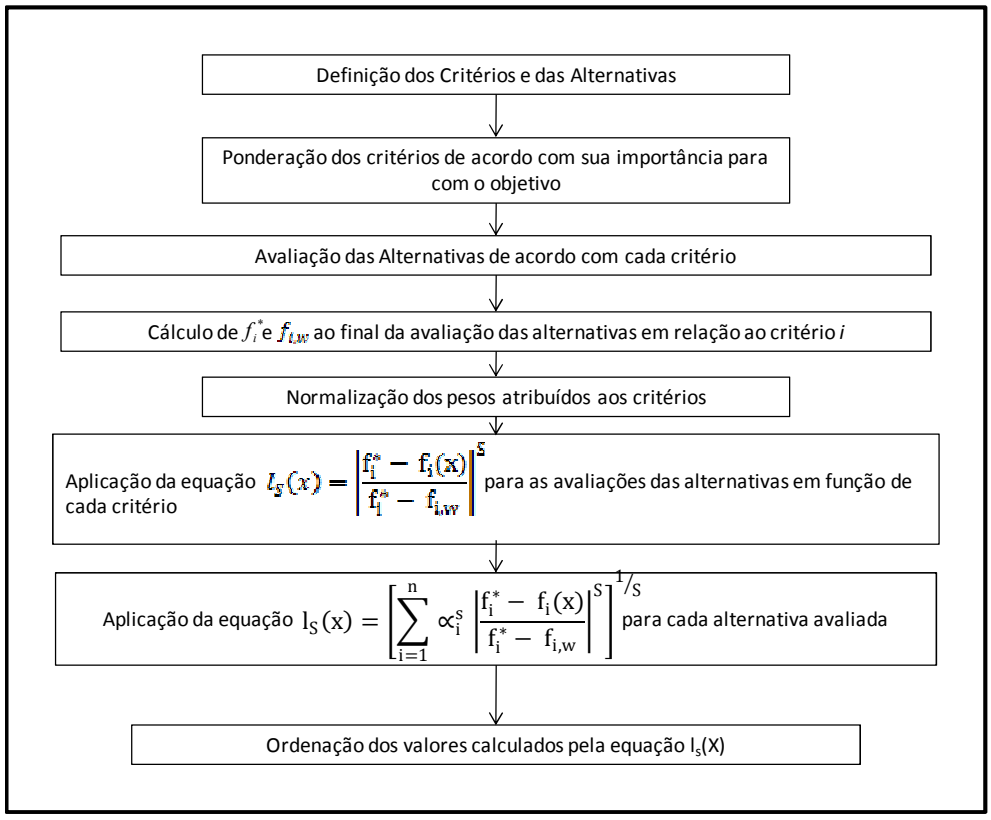


Figura 3: Etapas de aplicação do Método CP de análise multicriterial.

A primeira etapa, de escolha dos critérios e alternativas, é comum aos métodos multicriteriais, uma vez que fazem parte da estruturação do problema (VINKE, 1951 e KEENEY e RAIFFA, 1993). Consistindo dessa etapa a representação dos critérios na matriz de avaliação ou *Payoff*.

Na segunda e terceira etapas, foi composta a matriz de avaliação por meio da atribuição de pesos aos critérios (atributos edáficos) e da valoração das alternativas (ordens de solo) com relação à suscetibilidade à erosão, sendo utilizada a escala de 1 (menor influência) a 10 (maior influência) para os critérios, e utilizada a escala de prioridade de Saaty para as alternativas (SAATY, 1977).

Na quarta etapa, deu-se início ao cálculo dos melhores valores (f_i^*,) e dos piores valores ($f_{i,j}$) alcançados por cada um dos 22 critérios conforme atribuídos na avaliação das 13 ordens de solo. Após os pesos atribuídos e valores obtidos na quarta etapa, deu-se início ao cálculo do valor máximo f_i^* e mínimo $f_{i,w}$, atribuído na avaliação das 13 ordens de solos de acordo com cada um dos 22 critérios.

A quinta etapa consistiu na atribuição dos pesos, sendo neste estudo utilizada a escala de 1 (influência mínima na suscetibilidade) a 10 (influência absoluta na suscetibilidade), para os 22 critérios e da sua padronização, que foi baseada na divisão dos valores pela própria soma. De posse dos pesos padronizados, a sexta etapa consistiu da aplicação da equação 3 para a avaliação das alternativas (ordens de solos) segundo cada critério (atributo)

$$l_S(x) = \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right|^S \qquad (3)$$

Sendo:

i representa cada critério analisado;

x representa os diagnósticos analisados ou os procedimentos metodológicos para a realização de um diagnóstico;

$f_i(x)$ é a pontuação atribuída a x_j considerando o critério *i*;

f_i^* é a melhor pontuação obtida ou arbitrada para o critério *i*;

$f_{i,w}$ é a pior pontuação obtida ou arbitrada para o critério *i*;

S é um peso aplicado aos desvios, sendo $1 \leq S \leq \infty$. Neste trabalho, foram selecionado os pesos

S = 1 e 2 de forma a realizar um estudo de sensibilidade do indicador.

Na sétima etapa, posteriormente a avaliação das ordens de solos de acordo com cada critério, é realizado o somatório da multiplicação dos resultados obtidos pela equação 3 pela ponderação padronizada de todos os critérios para cada alternativa, totalizando assim a importância global da alternativa para com o objetivo do estudo. A equação 4 apresenta o respectivo cálculo:

$$l_S(x) = \left[\sum_{i=1}^{n} \alpha_i^s \left|\frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}}\right|^S\right]^{1/S} \quad (4)$$

onde:

α_i^S é o peso atribuído a cada critério *i*,

$l_S(x)$ é a distância entre a solução obtida com o procedimento metodológico x e a solução *ideal*

Por meio da equação 4, os valores obtidos para cada tipo de solo (alternativa) foram ordenados em ordem crescente. Com isso, os tipos de solos com menores valores foram classificados como os mais suscetíveis a erosão.

3.3.2. Método da Teoria dos Jogos Cooperativos (Método CGT)

Assim como o Método CP, o Método CGT foi aplicado com o objetivo de classificar as classes de ordens de solos quanto à suscetibilidade à erosão. A aplicação do método foi realizada em 8 etapas, apresentadas na Figura 4.

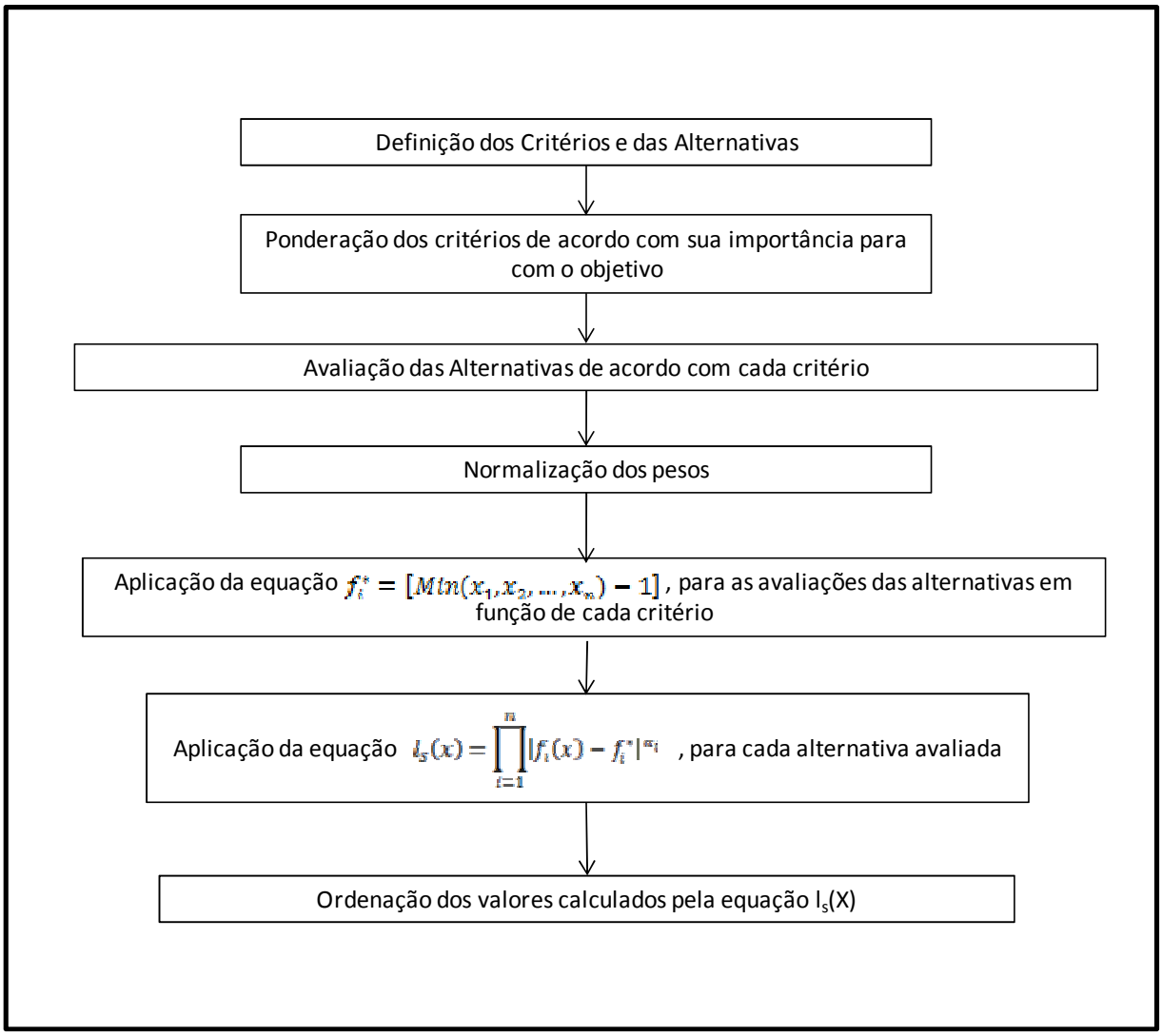


Figura 4: Estrutura do método CGT.

O método CGT possui como característica a mesma estrutura de aplicação em comparação ao método CP, porém com algumas diferenças em termos de classificação.

As três primeiras etapas são estruturadas no mesmo formato do método CP, e têm por objetivo definir, avaliar (por meio de atribuição de pesos) e valorar (com valores utilizando a escala de prioridades de Saaty) os critérios que influenciam na suscetibilidade das ordens de solos à erosão. Na quarta etapa, foi realizada a padronização (divisão dos valores pela própria soma) dos pesos dos 22 critérios, que consistiu em fixar uma escala de medida entre 0 e 1, evitando assim valores discrepantes. Posteriormente, na quinta etapa, consistiu na

identificação da alternativa menos suscetível à erosão quando avaliada por um determinado critério, por meio da equação 6.

$$f_i^* = [Min(x_1, x_2, \dots, x_n) - 1] \quad (5)$$

Na sexta etapa, foi aplicada a equação 6 que é o produtório da diferença entre o valor atribuído a cada alternativa (de acordo um determinado critério) e o valor da alternativa menos suscetível para o mesmo critério. Portanto, pode-se potencializar a diferença entre o grau de suscetibilidade entre as alternativas para um conjunto de critérios.

$$l_S(x) = \prod_{i=1}^{n} |f_i(x) - f_i^*|^{\alpha_i}, \quad (6)$$

onde:

$f_i(x)$, é o valor para o critério avaliado;

Por meio da equação 6, os valores obtidos para cada tipo de solo (alternativa) foram ordenados em ordem decrescente, sendo que os tipos de solos com os maiores valores foram classificados como sendo os mais suscetíveis à erosão.

3.3.3. Método ELECTRE II

O Método ELECTRE II foi aplicado de duas formas, a tradicional conforme descrita em ROY (1971) e a forma modificada conforme descrita em ZUFFO e SANTOS (2002). Novamente, as duas aplicações tiveram o propósito de obter a ordenação das ordens de solos quanto à suscetibilidade à erosão.

No método tradicional, a aplicação se dá em 6 etapas, ilustradas na Figura 5:

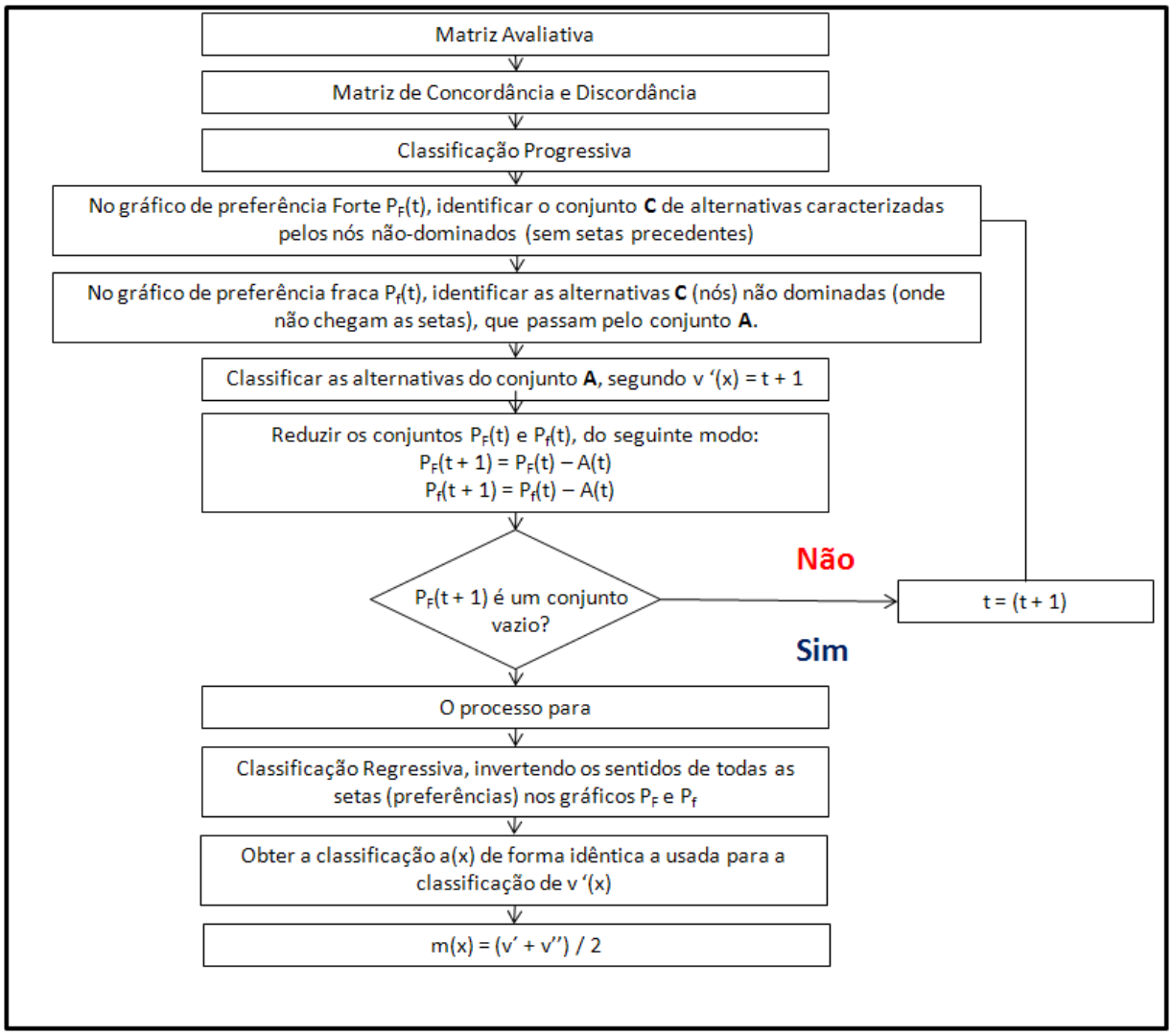


Figura 5: Estrutura tradicional do método ELECTRE II (adaptado de JARDIM, 1999).

A primeira etapa se referiu ao estabelecimento da escala de avaliação de preferências das alternativas (ordem de solo) de acordo com cada critério (atributo). Neste estudo, foi aplicada a escala de SAATY (1977) modificada, com variação: 1 – influência pequena a 9 – influência absoluta, modificada com a inclusão do valor 0, que significa falta de conhecimento na avaliação.

Após a avaliação das preferências entre as alternativas quanto à suscetibilidade à erosão de acordo com todos critérios, foram estabelecidas as matrizes de *concordância* e *discordância*. A *concordância* estabelecida entre duas alternativas *i* e *j* é uma medida ponderada do número de critérios sob os quais a alternativa *i* é preferida ou equivalente à alternativa *j*. O *índice de concordância* foi calculado pela seguinte equação 7:

$$C(i,j) = \frac{\sum\left[w(k\prime)+\frac{1}{2}w(k\prime\prime)\right]}{\sum w(p)} \quad (7)$$

Sendo:

$w(k')$ = pesos dos critérios sob os quais $i > j$;

$w(k'')$ = pesos dos critérios sob os quais $i = j$;

$w(p)$ = pesos de todos os critérios

Para maior clareza, os *índices de concordância* foram apresentados na forma de uma matriz de *concordância*, onde $C(i,j)$ representa a preferência quanto ao objetivo proposto, que no caso deste estudo, de uma dada ordem de solo *i* frente a outra ordem de solo *j*, utilizando todos os critérios para a avaliação de sua suscetibilidade á erosão. Os *índices de concordância* possuem variação entre 0 – nenhuma predominância quanto a suscetibilidade à erosão da alternativa *i* em relação a alternativa *j* a 1 – predominância absoluta da alternativa *i* em relação a alternativa *j* perante os 22 critérios avaliados.

Elaborada a matriz de *concordância*, como contrapeso, foi estabelecida a matriz de *discordância* que representa o desconforto sentido pelo decisor ao escolher a alternativa *i* frente à alternativa *j*. Para o estabelecimento da matriz de *discordância*, inicialmente foi definida uma escala numérica comum para todos os critérios. Essa escala comum foi usada para medir o desconforto do decisor ao preferir a ordem de solo *i* à ordem de solo *j*, considerados todos os critérios. O maior valor da escala numérica comum definiu o critério sob o qual o decisor sentiu o maior desconforto ao mudar de nível, quando estabeleceu seu juízo de valor, em termos de preferência manifesta. O *índice de discordância* foi calculado pela equação 9:

$$D(i,j) = max\frac{\{[Z(j,k)-Z(i,k)]\}}{R^*}, \quad (8)$$

$k \in (j > i)$.

Sendo:

$(j > i)$: conjunto onde a alternativa *j* é preferida à alternativa *i*;

k: os critérios sob os quais *j* > *i*;

$Z(j,k)$: a avaliação da alternativa *j* sob o critério *k*;

$Z(i,k)$: a avaliação da alternativa *i* sob o critério *k*;

R^* *:* o maior valor numérico dos intervalos de escala.

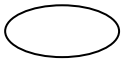
Os *índices de discordância* também foram apresentados na forma de uma matriz de discordância, onde $D(i,j)$ referente a etapa 2, representou a alternativa que se encontra na linha *i* versus a alternativa da coluna *j*, ou seja, o desconforto experimentado pelo decisor ao optar pela ordem de solo *i* frente à outra ordem de solo *j* sob um determinado critério quanto a suscetibilidade à erosão. Assim como no *índice de concordância,* os valores apresentados pela matriz de *discordância* neste estudo possuem variação entre 0 – predominância absoluta da ordem de solo *i* em relação a *j* e 1 – nenhuma predominância quanto a suscetibilidade à erosão da ordem de solo *i* em relação a ordem de solo *j* considerando o conjunto dos 22 critérios avaliados.

As matrizes de concordância e discordância representam respectivamente o conforto (certeza) e o desconforto (incerteza) dos especialistas em optarem por uma determinada ordem de solo em comparação as demais para um determinado critério avaliado. Sendo que na matriz de concordância quanto mais próxima a 1 o valor estiver, maior é a certeza na decisão do especialista quanto a influência ou não dos critérios avaliados na suscetibilidade à erosão de determinada ordem de solo em comparação com as demais. Em contrapartida, na matriz de discordância quanto mais próximo a 1 o valor estiver, maior a incerteza na decisão do especialista quanto a influência ou não dos critérios avaliados na suscetibilidade à erosão de determinada ordem de solo em comparação as demais.

Após a elaboração das matrizes de *concordância* e *discordância,* teve início a terceira etapa, no qual definiu-se respectivamente os limites *p* (índice mínimo de concordância) e *q* (índice máximo de discordância). A este procedimento se da o nome de *filtragem*, que consiste em separar as ordens de solos *não-dominadas* (mais suscetíveis a erosão), que atendem simultaneamente aos limites *p* e *q* fixados, porém sem a classificação dessas. Dessa forma, foram gerados dois gráficos à semelhança dos obtidos pelo ELECTRE I, devido a ser um método multicriterial com base em avaliações subjetivas é necessário analisar a preferência

dos especialistas sob duas abordagens, com uma certa rigidez, por meio dos gráficos de Preferência Forte (P_F) e com um certo relaxamento, via gráficos de Preferência Fraca (P_f).

A geração dos gráficos de Preferências Forte e Fraca foi representada por meio dos símbolos e terminologia:

 representa uma alternativa, na forma de um nó.

indica dominância de uma alternativa sobre a outra, em termos de preferência, e entende-se por dominância, uma suscetibilidade maior à erosão.

O conjunto reduzido das alternativas *não-denominadas*, conhecido como *núcleo* ("*kernel*") foi extraído dos gráficos de Preferências Fraca e Forte, observadas as seguintes condições, segundo BENAYOUN et al. (1966):

1. Uma alternativa selecionada não pode dominar outra também selecionada; e
2. Cada alternativa dominada (não selecionada) deve ser dominada, pelo menos, por uma das alternativas selecionadas.

De posse das duas abordagens de análise (gráficos de Preferência Forte e Fraca), o método ELECTRE II de acordo com ROY e BERTIER (1971), utiliza-se da classificação progressiva (que tem como princípio classificar as alternativas em ordem decrescente quanto a suscetibilidade à erosão), usando o gráfico de Preferência Forte, foram identificados as alternativas (nós) sem precedentes (aquelas que não existem setas indicativas), ou seja, *não-dominadas*, sendo esse conjunto definido por **C**.

A seguir, foram identificadas, no gráfico de Preferência Fraca, as alternativas do conjunto **C** que não possuem precedentes. Esse conjunto foi definido por **A**, representando o primeiro passo e as colocadas em primeiro lugar da classificação progressiva (primeira iteração).

O próximo passo foi eliminar dos gráficos de Preferência Forte e de Preferência Fraca as alternativas (nós) do conjunto A e as setas que partiram desses nós, constituindo-se um novo gráfico de Preferência Forte a ser analisado, identificando-se os nós que não possuem precedentes. Estes nós passaram a compor um novo conjunto anteriormente descrito (segunda

iteração), das que ficam em seu lugar. O procedimento continuou até que todos os nós fossem eliminados de ambos os gráficos (de Preferência Forte e Fraca).

Posteriormente é realizada a classificação regressiva (que tem como princípio classificar as alternativas em ordem crescente quanto a suscetibilidade à erosão), utilizando-se os mesmos limites pré-definidos de concordância e discordância. Nesta classificação as interações entre as alternativas são invertidas, para que o processo classificatório tenha um menor viés.

Com isso, a classificação final das alternativas de maior atratividade é obtida por meio das médias das classificações alcançadas nos dois citados ordenamentos.

Neste estudo, além da aplicação do Método ELECTRE II "tradicional", fez-se uso da metodologia proposta por ZUFFO e SANTOS (2002) que se baseia no aperfeiçoamento do resultado final da classificação do Método ELECTRE II por meio de duas propostas:

1º Proposta I: foi realizada com base na modificação da punição à alternativa com base na variação da inconsistência de suas classificações (progressiva e regressiva). Seu cálculo é dado pela equação 9:

$$m(x) = \frac{v' + v''}{2} + |v\acute{} - v''|, \qquad (9)$$

$\forall\, x \in X$.

2º Proposta II – Semelhante a proposta I porém com o fator de punição variável em função da quantidade de alternativas e da classificação das que estão sendo comparadas. Seu cálculo é dado pela equação 10:

$$m(x) = \frac{v' + v''}{2} + |v\acute{} - v''| \left(\frac{NoAlt}{Min_O(x)+1}\right), \qquad (10)$$

$\forall\, x \in X$.

Sendo que:

NoAlt é o número de alternativas analisadas;

Min_O(x) é a ordem da última alternativa (representada pela hierarquia mais baixa, de qualquer uma das duas classificações, obtidas pela pior alternativa)

3.4. Validação dos métodos de análise multicriterial

Os métodos multicriteriais foram validados com base em sua robustez comprovada via Análise de Sensibilidade, que tem a finalidade de dimensionar sua aplicação com base nas variações das classificações apresentadas, bem como de comprovar via Análise de Concordância, utilizando de métodos estatísticos para se chegar a uma convergência na classificação das alternativas.

3.4.1. Análise de Sensibilidade, Concordância e Classificação da Suscetibilidade dos Solos à Erosão

As análises de sensibilidade e de concordância foram utilizadas devido à aplicação de diferentes métodos multicriteriais, originados da Escola Européia cuja característica é o de auxílio à tomada de decisão MCDA, sendo indicada a utilização de mais de um método na resolução de um mesmo problema (ZUFFO et al., 2002).

Para a aplicação da Análise de Sensibilidade, foram estabelecidos 22cenários por meio das ponderações (Média Geométrica, Mediana, Moda, Máximo e Mínimo) dos 22 critérios aplicados nos métodos CGT, CP com S=1, CP com S=2 (que se referem a importância dada aos desvios máximos das avaliações, ou seja, é dada a importância nos desvios dos valores para as ordens de solos em relação aos 22 critérios avaliados, sendo maior os valores de S maior a distinção entre as ordens mais suscetíveis e menos suscetíveis à erosão) e ELECTRE II. Ainda, foram adicionadas duas modificações propostas por ZUFFO e SANTOS (2002) do método ELECTRE II, totalizando os cenários utilizados.

Complementando a análise de sensibilidade, foi aplicada a análise de concordância com o uso da correlação de *Spearman* entre as classificações das ordens de solos obtidas pelos 22 cenários.

O grau de concordância escolhido correspondeu ao método multicriterial com a maior correlação média obtida entre os pares de métodos.

3.5. Aplicação do Método MAVT

A aplicação dos métodos apresentados anteriormente permitiu classificar as ordens de solos quanto à suscetibilidade à erosão somente com base no julgamento dos especialistas. O método MAVT permitiu classificar a suscetibilidade do solo à erosão a partir de valores reais dos atributos conforme ocorrem nos perfis de solos e descritos nos relatórios técnicos dos levantamentos de solos. Os atributos avaliados corresponderam aos critérios selecionados pelos especialistas nas etapas anteriores. A aplicação do método MAVT deu-se a partir do desenvolvimento e aplicação de *funções de valor* para cada critério (atributo edáfico). O desenvolvimento das funções de valor permitiu guardar o "conhecimento" adquirido pela pesquisa ad-hoc, aplicando a qualquer situação (local e/ ou escala).

O método MAVT consistiu de oito etapas, conforme relacionadas na Figura 6. Neste trabalho, propôs-se desenvolver a etapa de definição dos critérios a partir do método Delphi. As demais etapas se referem ao desenvolvimento das funções de valor. Uma função de valor, segundo BEINAT (1997), é uma representação matemática dos julgamentos humanos, oferecendo uma descrição analítica do sistema de valores individuais envolvidos na decisão, que auxiliam na captura das partes do julgamento humano na avaliação das alternativas.

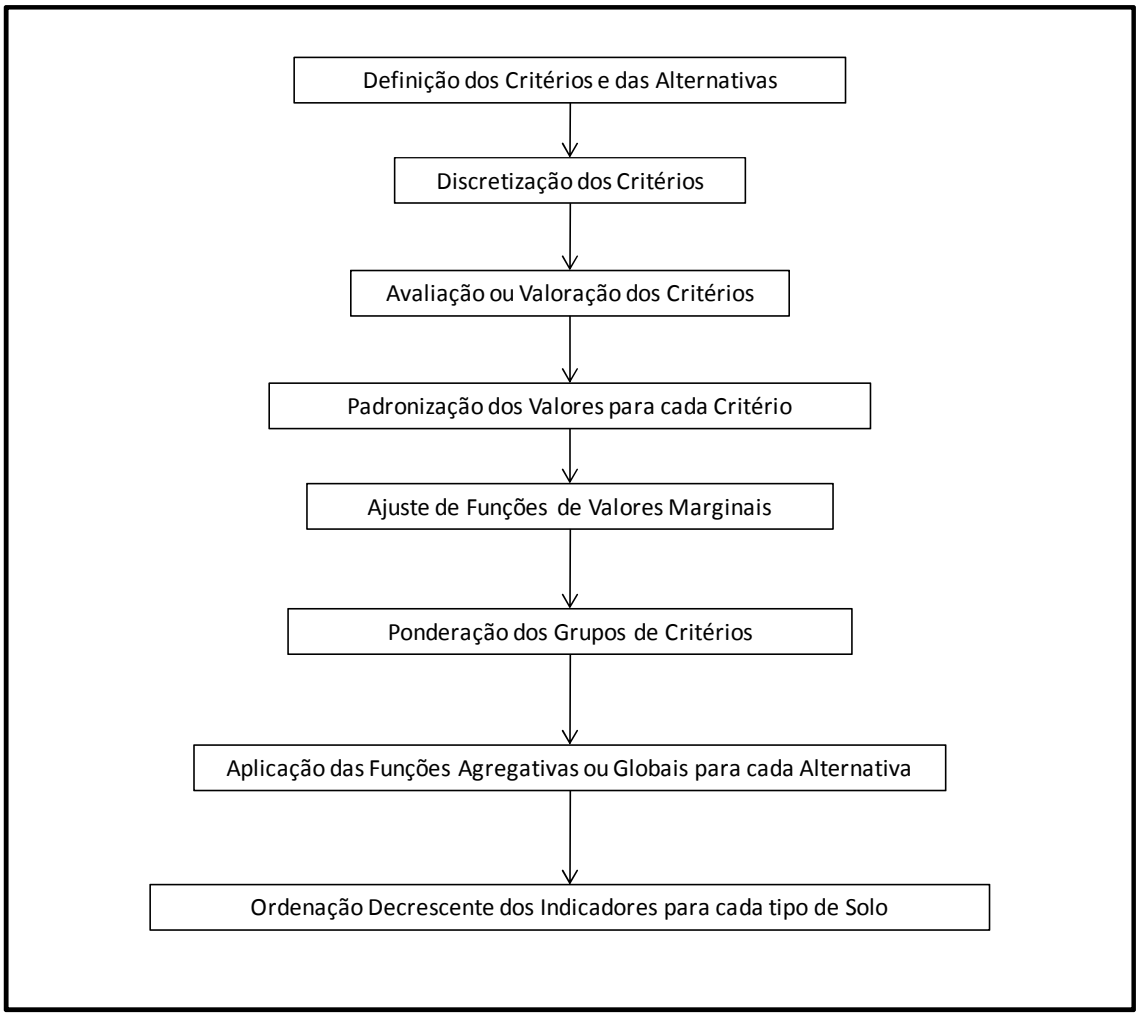


Figura 6: Estruturação do método MAVT

3.5.1. Desenvolvimento das Funções de Valor

O desenvolvimento das funções de valor (segunda etapa) é diferente dos métodos CP, CGT e ELECTREE II, no que tange ao tratamento dos critérios (atributos edáficos) citados pelos especialistas via Método Delphi. Assim, posteriormente, a definição dos critérios e das alternativas foram realizadas as etapas descritas a seguir.

3.5.1.1. Discretização dos Critérios (Atributos Edáficos)

A etapa de discretização consistiu na categorização dos valores dos critérios selecionados pelos especialistas, empregando os intervalos de variação ou classe já indicados na literatura em EMBRAPA (2006), IBGE (2005) e TOMÉ JR. (1997). Por exemplo, para matéria orgânica foram definidas as classes: Alto (>25 $g.dm^{-3}$), Médio (25-15 $g.dm^{-3}$) e Baixo (<15 $g.dm^{-3}$). Para a elaboração das funções de valores, foi adotado o critério de monotonicidade, que consiste em construir funções estritamente crescentes ou decrescentes (BEINAT, 1997). Para que se possa atender ao critério acima, os níveis foram ordenados no eixo X de três formas distintas dependendo se o critério em questão era quantitativo, nominal ou nominal, mas seguindo uma escala crescente ou decrescente de condicionamento à suscetibilidade à erosão do solo. Para critérios quantitativos, como teor de matéria orgânica, foi respeitada a ordem crescente dos valores. Para critérios nominais, como estrutura granular, foi respeitada a sua posição no meio físico. Para critérios nominais seguindo uma escala de condicionamento à suscetibilidade à erosão, como nas classes de relevo, foi respeitada a ordem de ocorrência natural, do menos suscetível (relevo plano) ao mais suscetível (relevo escarpado).

3.5.1.2. Valoração dos Critérios

Com as classes para cada critério ordenadas, por meio do 3º Questionário (Apêndice 4) atribuiu-se uma escala de medida de valores, variando de 0 (nenhuma influência) a 10 (alta influência negativa), em relação à suscetibilidade do solo à erosão para cada classe discretizada. Nesta etapa, foram também atribuídos valores na mesma escala para mensurar a importância de cada critério como fator influenciador da suscetibilidade a erosão.

3.5.1.3. Ajuste de Funções de Valor

Para os critérios quantitativos (variação contínua no espaço) foram ajustadas funções de valor para avaliação do efeito da variação do critério na suscetibilidade à erosão do solo. Uma vez que cada critério tem uma atuação parcial na suscetibilidade à erosão, tais funções são referidas por funções de valor marginais (BEINAT, 1997).

Para a implementação do modelo foi necessário atender a premissa de independência das preferências entre as classes dos critérios, o que significa dizer que cada classe foi avaliada

com base em seus valores somente. Essa premissa foi atendida por meio da aplicação do método delphi que tem por característica a realização de *feedbacks* com os especialistas incentivando uma maior interação e esclarecimentos durante o processo de avaliação SPÍNOLA (1984).

Para ajuste das funções de valor, foi elaborado um gráfico de dispersão associando o valor da mediana das notas atribuídas pelos especialistas para uma dada classe de variação dos critérios ao valor do ponto médio da referida classe. A partir do gráfico de dispersão, foi realizado o ajuste de regressões lineares e não-lineares, por meio da interpolação entre as medianas obtidas para cada classe de acordo com o procedimento metodológico descrito por BEINAT (1997). Uma das vantagens desse procedimento consiste na quantidade de pontos necessários para o ajuste da função, sendo na maioria dos casos 3 ou 4 pontos (VON WINTERFELDT & EDWARDS, 1986).

Para definição da aplicação da função, foram estabelecidos valores mínimo e máximo para cada critério de valores pré-estabelecidos. Foram consideradas válidas as funções de valor cujo ajuste forneceu um coeficiente de explicação acima dos 80% ($R^2 > 0,8$).

3.5.1.4 Tratamento dos critérios qualitativos (variação discreta no espaço)

Para os critérios qualitativos, foi atribuído a mediana dos valores atribuídos pelos especialistas a cada classe pré-estabelecida e apresentados em forma de gráfico de barras respeitando dois conceitos, no qual as classes foram dispostas respeitando dois conceitos: em ordem crescente de acordo com as medianas obtidas pelos especialistas para os critérios que não tiverem uma ordenação de classes pré-estabelecida e a ordenação das classes de acordo com a sua disponibilidade no meio físico para os critérios que possuem uma classificação pré-estabelecida.

3.5.1.5. Padronização dos Valores para cada Critério

Para todos os critérios, de posse dos valores entre 0 (nenhuma influência na suscetibilidade) e 10 (influência negativa na suscetibilidade) atribuídos pelos especialistas, foi

realizada a padronização com base na divisão dos valores pela sua soma, com o propósito de fixar uma escala com variação entre 0 a 1, sendo que os valores mais próximos a zero representam influência alta positiva (menor suscetibilidade) e os valores próximos a 1 representam influência alta negativa (maior suscetibilidade) à erosão. Por exemplo: Declividade do Terreno com 0,062 ou (6,2%) e Delta pH com 0,025 ou (2,5%) de influência na suscetibilidade do solo à erosão.

3.5.1.6. Aplicação das Funções Agregativas ou Globais para cada Alternativa ou Ordem de Solo

Após a aplicação da padronização dos valores obtidos via função de valor, procedeu-se à combinação ponderada aditiva, relativa a cada alternativa (ordem de solo) aplicando a equação 1 (p. 20). O processo de combinação ponderada aditiva se baseia no somatório dos valores dos atributos edáficos conforme extraídos das funções de valores e medianas dos classes discretizadas para os 22 critérios selecionados pelos especialistas, com nível mínimo de concordância de 80%.

Para avaliar a eficácia do método, propôs-se neste estudo utilizar um conjunto mínimo de critérios, englobando aqueles com 100% de concordância entre os especialistas, incluindo os seguintes: Declividade do Terreno, Espessura do *Solum*, Relação Textural B/A, Ocorrência de Camada de Impedimento do Perfil, Presença de Mudança Textural Abrupta e Situação do Perfil na Encosta.

3.5.1.7. Ordenação Decrescente dos Indicadores para cada tipo de Solo

A última etapa consistiu na ordenação dos resultados obtidos pela aplicação da função agregativa aos tipos de solos, cuja ordenação permitiu formar grupos de solos de acordo com o grau de suscetibilidade.

3.5.2. Estudo de Caso: Aplicação das Funções de Valor e Classificação da Suscetibilidade à Erosão de Perfis de Solos Selecionados

Neste estudo, foram selecionados 20 perfis de solos referentes ao Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado de São Paulo, descritos por OLIVEIRA (1999) e mais dois perfis de VERTISSOLOS de Fernando de Noronha do Estado de Pernambuco extraídos do trabalho de MARQUES (2004). Os atributos edáficos (critérios) de cada perfil e as respectivas classificações taxonômicas são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45(OLIVEIRA,1999).

Ordem	ARGISSOLO			CAMBISSOLO	
Sub-ordem	**ARGISSOLO AMARELO**	**ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**	**ARGISSOLO VERMELHO**	**CAMBISSOLO HÚMICO**	**CAMBISSOLO HAPLICO**
Classificação	**ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média**	**ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa**	**ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa**	**CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico**	**CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média**
Classificação Anterior	**Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, Tb, abrupto, A moderado, textura arenosa/média**	**Podzólico Vemelho-Amarelo Distrófico, A moderado, textura média/argilosa**	**Podzólico Vermelho-Escuro Eutrófico, A moderado, textura média/argilosa**	**Solos de Campos do Jordão**	**Cambissolo Tb Eutrófico**
Número do Perfil	PERFIL IAC 1377	PERFIL IAC 1417	PERFIL IAC 1418	PERFIL SP 69	PERFIL IAC 1206
Espessura do solum (cm)	135	106	125	180	83
Situação do perfil na encosta	Terço Superior	Terço Superior	Terço Superior	Terço Médio	-
Declividade do terreno (%)	5%	15%	15%	50%	6%
Classe de drenagem do solo	Excessivamente Drenado	Moderadamente Drenado	Moderadamente Drenado	Moderadamente Drenado	Moderadamente Drenado
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	Não	Não	Não	Não	Não
Presença de mudança textural abrúpta	Sim	Não	Não	Não	Não
Gradiente textural	8.79	2.32	1.70	1.31	1.15
Densidade do solo Horizonte (Kg m^-3) A	1500	1370	1170	830	1400
Tipo de horizonte superficial	A moderado	A moderado	A moderado	A húmico	A moderado
Classe textural do horizonte superficial	Arenosa	Franco-Arenosa(textura média)	Franco-Arenosa(textura média)	Franco-Arenosa (Textura Média)	Franco-Arenosa (Textura Média)
Teor de matéria orgânica do Horizonte A (g.dm-3)	5.0	18.3	46.7	210.0	23.3
Estrutura do horizonte superficial	Fraca Pequena Granular	Moderada, Média e Pequena Granular	Forte Média e Pequena Granular	Fraca Média Granular	Fraca Média Granular
Espessura do horizonte A (cm)	20	10	9	17	14
Tipo de horizonte subsuperficial	B textural	B textural	B textural	B incipiente	B incipiente
Classe textural do horizonte subsuperficial	Franco-Arenosa(textura média)	Argilosa	Argilosa	Franco-Argilosa (textura média)	Franco-Arenosa(textura média)
Estrutura do horizonte subsuperficial	Moderada Média Subangular	Moderada Média Subangular	Forte Média Subangular	Fraca Pequena composta por blocos subangulares (prismática)	Moderada Média Subangular
Grau de floculação do Horizonte A (%)	67%	14%	50%	93%	-
Teor de argila dispersa em água do Horizonte Superficial (g.kg^-1)	10	120	150	10	-
Tipo e atividade da argila do Horizonte Superficial (cmolc.kg-1	6.7	3.3	3.4	36.7	3.3
Teor de óxidos de ferro (g.Kg^-1) do Horizonte A	3	34	53.3	67.2	21
Delta pH Horizonte A	-1	-0.8	-0.9	-0.5	-0.9
Saturação por bases Horizonte A (%)	25%	32%	56%	1%	76%

Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999)**.**

Ordem	CHERNOSSOLO	ESPODOSSOLO	GLEISSOLO	
Sub-ordem	CHERNOSSOLO ARGILÚVICO	ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO	GLEISSOLO SÁLICO	GLEISSOLO HÁPLICO
Classificação	CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa	ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico	GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática
Classificação Anterior	Brunizém Avermelhado, textura argilosa fase pedregosa, florestal tropical subcaducifólia, relevo montanhoso	Podzol Hidromórfico	Solonchak sódico	Glei Húmico
Número do Perfil	PERFIL IAC 1340	PERFIL SP 73	PERFIL 18	PERFIL IAC 1061
Espessura do solum (cm)	117	95	120	190
Situação do perfil na encosta	Terço Superior	Terraço	Planície Aluvial	Planície Aluvial
Declividade do terreno (%)	45% a 60%	0 - 3%	0 - 3%	0 - 3%
Classe de drenagem do solo	Moderadamente Drenado	Imperfeitamente Drenado	Mal Drenado	Muito Mal Drenado
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	Não	Não	Não	Não
Presença de mudança textural abrúpta	Não	Não	Não	Não
Gradiente textural	1.15	1.56	1.18	0.64
Densidade do solo Horizonte (Kg m^-3) A	-	1170	1000	630
Tipo de horizonte superficial	A chernozêmico	A moderado	A moderado	A moderado
Classe textural do horizonte superficial	Argilosa	Arenosa	Franco-Arenoso	Argilosa
Teor de matéria orgânica do Horizonte A (g.dm-3)	37.5	55.2	103.2	73.3
Estrutura do horizonte superficial	Moderada a Forte Média a Grande Blocos Subangulares	Fraca Pequena Granular	Maciça	Fraca Grande Granular
Espessura do horizonte A (cm)	14	10	30	15
Tipo de horizonte subsuperficial	B textural	B espódico	Horizonte Glei	Horizonte Glei
Classe textural do horizonte subsuperficial	Argilosa	Arenosa	Franco-Argilo-Arenoso (Textura Média)	Argilosa
Estrutura do horizonte subsuperficial	Forte Média Prismática que se rompe em Forte Média Blocos Angulares	Fraca Pequena Granular	Maciça	Maciça
Grau de floculação do Horizonte A (%)	21%	100%	100%	81%
Teor de argila dispersa em água do Horizonte Superficial (g.kg^-1)	340	0	0	130
Tipo e atividade da argila do Horizonte Superficial (cmolc.kg-1)	9.3	28.7	42.9	7.0
Teor de óxidos de ferro (g.Kg^-1) do Horizonte A	215	4.1	-	16
Delta pH Horizonte A	-1.6	-0.9	-	-0.5
Saturação por bases Horizonte A (%)	87%	22%	78%	7%

Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999)

Ordem	LATOSSOLO			LUVISSOLO
Sub-ordem	**LATOSSOLO AMARELO**	**LATOSSOLO VERMELHO**	**LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO**	**LUVISSOLO CRÔMICO**
Classificação	**LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa**	**LATOSSOLO VERMELHO Aciférrico típico**	**LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa**	**LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média**
Classificação Anterior	**Latossolo Amarelo álico, A moderado textura argilosa**	**Latossolo Roxo eutrófico, A moderado, textura muito argilosa, com petroplintita**	**Latossolo Vermelho-Amarelo Álico A moderado textura argilosa**	**Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto Ta A moderado e espesso textura arenosa/média**
Número do Perfil	PERFIL IAC 1272	PERFIL IAC 1447	PERFIL IAC 1237	PERFIL IAC 1563
Espessura do solum (cm)	250	120	200	200
Situação do perfil na encosta	Terço Médio	Terço Superior	Terço Superior	Terço Superior
Declividade do terreno (%)	3%-5%	7%	5%	15%
Classe de drenagem do solo	Bem drenado	Bem Drenado	Bem Drenado	Moderadamente Drenado
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	Não	Não	Não	Não
Presença de mudança textural abrúpta	Não	Não	Não	Não
Gradiente textural	1.21	1.18	1.15	5.06
Densidade do solo Horizonte (Kg m^-3) A	1001	1090	1400	1440
Tipo de horizonte superficial	A moderado	A moderado	A moderado	A moderado
Classe textural do horizonte superficial	Franco Argilo Arenoso (Textura Média)	Argilosa com Cascalho	Argilosa	Arenosa
Teor de matéria orgânica do Horizonte A (g.dm-3)	113.3	15.0	43.3	8.3
Estrutura do horizonte superficial	Forte Pequena e Média Granular	Fraca Média e Pequena Granula	Fraca Média Granular	Fraca Pequena Granular
Espessura do horizonte A (cm)	2	24	25	15
Tipo de horizonte subsuperficial	B Latossólico	B Latossólico	B Latossólico	B textural
Classe textural do horizonte subsuperficial	Argilo-Arenosa (Textura Argilosa)	Muito Argilosa	Argilosa	Franco-Argilo-Arenoso (Textura Média)
Estrutura do horizonte subsuperficial	Fraca Média Bloco Subangulares	Média Fraca Subangular	Forte Muito Pequena granular	Fraca Média Bloco Subangulares
Grau de floculação do Horizonte A (%)	100%	91%	38%	100%
Teor de argila dispersa em água do Horizonte Superficial (g.kg^-1)	0	50	260	0
Tipo e atividade da argila do Horizonte Superficial (cmolc.kg-1)	7.9	0.9	3.2	8.3
Teor de óxidos de ferro (g.Kg^-1) do Horizonte A	27	252	37	10
Delta pH Horizonte A	-1	-0.7	-0.4	-1.1
Saturação por bases Horizonte A (%)	27%	45%	82%	61%

Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999).

Ordem	NEOSSOLO		NITOSSOLO	
Sub-ordem	**NEOSSOLO LITÓLICO**	**NEOSSOLO QUARTZARENICO**	**NITOSSOLO VERMELHO**	**NITOSSOLO HÁPLICO**
Classificação	**NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico**	**NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco**	**NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa**	**NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa**
Classificação Anterior	**Litosol-fase substrato folhelho-argilito**	**Areia Quartzosa Ática, profunda, A fraco**	**Podzólico Vermelho Escuro Distrófico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa**	**Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, A moderado, textura média/argilosa**
Número do Perfil	PERFIL SP 81	PERFIL IAC 1383	PERFIL IAC 1419	PERFIL IAC 1415
Espessura do solum (cm)	20	200	250	118
Situação do perfil na encosta	Terço Médio	Topo	Meia Encosta	Terço Superior
Declividade do terreno (%)	6% a 10%	3%	4%	10%
Classe de drenagem do solo	Imperfeitamente Drenado	Excessivamente Drenado	Bem Drenado	Bem Drenado
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	Sim	Não	Não	Não
Presença de mudança textural abrúpta	Não	Não	Não	Não
Gradiente textural	0	1.31	1.45	1.52
Densidade do solo Horizonte (Kg m^-3) A	1460	1470	1070	1300
Tipo de horizonte superficial	A chernozêmico	A fraco	A moderado	A moderado
Classe textural do horizonte superficial	Franco Argilosa (Argiloso)	Arenosa	Franco-Argilosa (Argiloso)	Franco-argilo-arenosa (Textura Média)
Teor de matéria orgânica do Horizonte A (g.dm-3)	29.0	6.7	38.3	25.0
Estrutura do horizonte superficial	Forte Grande a Muito Grande Granular	Fraca Pequena Granular	Forte Pequena e Média Granular	Moderada Média e Pequena Granular
Espessura do horizonte A (cm)	20	30	15	20
Tipo de horizonte subsuperficial	-	-	B nítico	B nítico
Classe textural do horizonte subsuperficial	-	Arenosa	Argilosa	Franco-Argilosa
Estrutura do horizonte subsuperficial	-	Fraca Pequena Bloco Subangular tendendo para Maciça Porosa e Grão Simples	Moderada Média Bloco Subangular	Moderada Média Bloco Subangular
Grau de floculação do Horizonte A (%)	54%	33%	26%	27%
Teor de argila dispersa em água do Horizonte Superficial (g.kg^-1)	170	40	260	160
Tipo e atividade da argila do Horizonte Superficial (cmolc.kg-1)	7.3	2.5	2.5	3.5
Teor de óxidos de ferro (g.Kg^-1) do Horizonte A	33.7	7	79	22
Delta pH Horizonte A	-0.8	-0.7	-0.9	-1
Saturação por bases Horizonte A (%)	94%	27%	44%	33%

Tabela 1 (continuação): Valores dos atributos edáficos (Critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão) extraídos do Boletim Científico IAC, nº45, (OLIVEIRA, 1999).

Ordem	ORGANOSSOLO	PLANOSSOLO	PLINTOSSOLO
Sub-ordem	**ORGANOSSOLO HÁPLICO**	**PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO**	**PLINTOSSOLO PÉTRICO**
Classificação	**ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico**	**PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa**	**Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta**
Classificação Anterior	**Solo Orgânico álico**	**Planossolo Eutrófico Tb, A proeminente, textura média/argilosa**	**Plintossolo Pétrico Distrófico Tb A moderado textura arenosa/média**
Número do Perfil	PERFIL IAC 1343	PERFIL IAC 1455	PERFIL P1
Espessura do solum (cm)	135	140	25
Situação do perfil na encosta	Planície Aluvial	Planície Aluvial	Topo
Declividade do terreno (%)	0% - 3%	2%	8%-20%
Classe de drenagem do solo	Muito Mal Drenado	Mal Drenado	Imperfeitamente Drenado
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	Não	Não	Sim
Presença de mudança textural abrúpta	Não	Sim	Sim
Gradiente textural	1.04	1.96	3.57
Densidade do solo Horizonte (Kg m^-3) A	190	1320	-
Tipo de horizonte superficial	O hístico	A proeminente	A moderado
Classe textural do horizonte superficial	Argilosa	Franco-Argilo-Arenoso (textura média)	Areia Franca
Teor de matéria orgânica do Horizonte A (g.dm-3)	410.0	20.0	10.0
Estrutura do horizonte superficial	Granular	Fraca Média Granular	Moderada Pequena Média Bloco Subangulares desfazendo em Fraca Muito Pequena Granular
Espessura do horizonte A (cm)	10	23	10
Tipo de horizonte subsuperficial	-	B Plânico	Litoplíntico
Classe textural do horizonte subsuperficial	Argilosa	Argilosa	Textura Média
Estrutura do horizonte subsuperficial	Granular	Prismática Grande que se rompe em Moderada Média Bloco Subangular	Maciça
Grau de floculação do Horizonte A (%)	100%	46%	100%
Teor de argila dispersa em água do Horizonte Superficial (g.kg^-1)	0	130	0
Tipo e atividade da argila do Horizonte Superficial (cmolc.kg-1)	4.6	2.1	3.5
Teor de óxidos de ferro (g.Kg^-1) do Horizonte A	-	31.0	185
Delta pH Horizonte A	-0.7	-1.2	-1.2
Saturação por bases Horizonte A (%)	43%	42%	46%

Tabela 2: Valores dos atributos edáficos extraídos do Levantamento de Solos do Estado de Pernambuco (MARQUES, 1999).

Ordem	**VERTISSOLO**	
Sub-ordem	**VERTISSOLO CROMADO**	**VERTISSOLO CROMADO**
Classificação	**Vertissolo Cromado Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa**	**Vertissolo Cromado Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa**
Classificação Anterior		
Número do Perfil	PERFIL 4*	PERFIL 3*
Espessura do solum (cm)	150	155
Situação do perfil na encosta	Planície Aluvial	Planície Aluvial
Declividade do terreno (%)	0-2.5%	0-3%
Classe de drenagem do solo	Mal Drenado	Mal Drenado
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	Sim	Sim
Presença de mudança textural abrúpta	Não	Não
Gradiente textural	1.10	1.22
Densidade do solo Horizonte (Kg m^-3) A	1460	1080
Tipo de horizonte superficial	A moderado	A moderado
Classe textural do horizonte superficial	Argilosa	Argilosa
Teor de matéria orgânica do Horizonte A (g.dm-3)	2.32	3.53
Estrutura do horizonte superficial	Fraca Média a Grande Blocos Subangulares	Moderada Pequena e Média Granular
Espessura do horizonte A (cm)	15	14
Tipo de horizonte subsuperficial	A moderado	A moderado
Classe textural do horizonte subsuperficial	Muito Argilosa	Muito Argilosa
Estrutura do horizonte subsuperficial	Colunar	Forte Muito Grande Prismática
Grau de floculação do Horizonte A (%)	22%	26%
Teor de argila dispersa em água do Horizonte Superficial (g.kg^-1)	474	422
Tipo e atividade da argila do Horizonte Superficial (cmolc.kg-1)	34.61	46.46
Teor de óxidos de ferro (g.Kg^-1) do Horizonte A	-	-
Delta pH Horizonte A	-1.4	-1.2
Saturação por bases Horizonte A (%)	89%	76%

* Perfis extraídos do trabalho de Marques (2004), todos os demais foram extraídos do Boletim Científico, IAC, nº45 (OLIVEIRA, 1999).

3.6. Análise Integrada das Classificações

Esta parte foi constituída pela comparação entre as classificações das ordens de solo quanto à suscetibilidade à erosão de acordo com os métodos CP, CGT e ELECTRE II, daquela obtida a partir do método MAVT, baseado nas funções de valores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aplicação do Método Delphi

Os resultados apresentados nesta seção são provenientes das respostas dos especialistas aos quatro questionários enviados ao longo de nove meses.

4.1.1. Caracterização dos Especialistas

Dos 100 especialistas convidados para participação na pesquisa, houve a adesão de vinte e três à 1ª fase do estudo, referente à aplicação do método Delphi, quando foi respondido o 1º questionário (Apêndice 2) composto de uma única questão solicitando a indicação de cinco atributos edáficos com maior influência na suscetibilidade do solo à erosão.

Posteriormente, desses 23 especialistas, apenas 10 continuaram participando das etapas seguintes, envolvendo a aplicação dos Metodos Multicriteriais, perfazendo 9% de participação após quatro rodadas de questionários aplicados via método Delphi.

Os pesquisadores participantes possuem titulação mínima de doutor, e provém de Centros de Pesquisa (EMBRAPA, IAC) ou de universidades brasileiras (UFRJ, UFV, ESALQ, UFRPE, UFSM, UFRB, UNESP, UNIMONTE, UFRGS, UFG, UFC e UNICAMP), representando os estados brasileiros da Bahia, Ceará, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo.

4.1.2. Critérios Selecionados e Escolhidos para a Pesquisa

Os especialistas indicaram 109 atributos para constituírem os critérios de avaliação da suscetibilidade à erosão. Destes 109, 46 foram descartados ou porque não atendiam a pressuposição de se constituírem atributos de rotina, disponíveis nos relatórios técnicos dos levantamentos de solos, ou por haver similaridades entre atributos. Os 63 atributos edáficos restantes foram agrupados por similaridade, sendo selecionados 22 atributos, que foram sumarizados em um segundo questionário e re-enviados para a confirmação dos especialistas

com base na escala *Likert* (Concordo Totalmente, Concordo, Não Concordo e Nem Discordo, Discordo e Discordo Totalmente). Por meio da escala *Likert,* e considerando um mínimo de 80% de concordância entre os especialistas, foram escolhidos 20 atributos, ora em diante referidos por *critérios*, que efetivamente entraram na avaliação da suscetibilidade do solo à erosão. Posteriormente, em novo contato, devido a oportunidade que os especialistas tiveram de verificar todos os critérios citados pelos demais especialistas, outros dois atributos passaram a constituir o grupo de critérios, sendo eles o Delta pH (pHsol.salina – pHágua) e a Saturação por Bases [(Soma de Bases/Capacidade de Troca Catiônica)*100] no Horizonte A.

Em resumo, os 22 critérios escolhidos para a avaliação da suscetibilidade do solo à erosão atendem aos seguintes pressupostos:

Apresentam alto grau de preferência entre os 23 especialistas;

Abrangem diretamente e/ou indiretamente aspectos físicos, químicos e biológicos do solo que afetam a suscetibilidade à erosão;

Estão disponíveis nos relatórios de levantamento de solos.

Tabela 3: Critérios selecionados para avaliação da suscetibilidade do solo à erosão e respectivas escalas de concordância e de discordância dos especialistas.

Critérios	%Concordância	%Discordância
Classe textural do horizonte superficial	100,0%	0,0%
Classe textural do horizonte subsuperficial	100,0%	0,0%
Declividade do terreno	100,0%	0,0%
Espessura do *solum*	100,0%	0,0%
Relação Textural B/A	100,0%	0,0%
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	100,0%	0,0%
Presença de mudança textural abrupta	100,0%	0,0%
Situação do perfil (posição na paisagem)	100,0%	0,0%
Estrutura do horizonte superficial	95,7%	4,3%
Estrutura do horizonte subsuperficial	95,5%	4,5%
Teor de matéria orgânica	95,5%	4,5%
Teor de óxidos de ferro e alumínio	95,5%	4,5%
Tipo de horizonte superficial	95,0%	5,0%

Tipo de horizonte subsuperficial	95,0%	5,0%
Tipo de solo (classe taxonômica)	95,0%	5,0%
Grau de floculação	91,3%	8,7%
Espessura do horizonte A	90,9%	9,1%
Teor de argila dispersa em água nos horizontes A e B.	90,9%	9,1%
Classe de drenagem do solo	90,5%	9,5%
Densidade do solo	84,2%	15,8%
Cor do solo	47,1%	52,9%
Densidade das partículas	47,1%	52,9%

Assim, dentre os critérios selecionados alusivos à qualidade intrínseca do solo, houve concordância absoluta entre os especialistas de que a classe textural dos horizontes superficial e subsuperficial, a ocorrência de Relação Textural B/A, de mudança textural abrúptica ou de camada de impedimento no perfil, como contato lítico ou litóide, e a espessura do solum ou do conjunto de horizontes A + B, devem fazer parte do conjunto mínimo de dados para avaliação da suscetibilidade do solo à erosão. Dentre os atributos externos ao solo, mas diretamente relacionados com sua gênese e, conseqüentemente com seu grau de desenvolvimento, incluíram a declividade do terreno, que afeta as relações de infiltração e deflúvio da água superficial, e a situação do perfil ou posição na paisagem. Com grau de concordância entre os especialistas pouco inferior, ao redor de 95%, incluem-se a classe de solo (taxonômica), os tipos de horizonte superficial e subsuperficial, a estrutura do horizonte superficial e do horizonte subsuperficial, e os teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio. Em torno de 91% de concordância, aparecem a classe de drenagem do solo, a espessura do horizonte A, o teor de argila dispersa em água nos horizontes A e B, e sua contrapartida o grau de floculação da argila. A densidade do solo foi o único critério escolhido para compor o conjunto mínimo de dados que obteve grau de concordância inferior a 90%, no valor de 84,2%. Do conjunto de 22 critérios selecionados a partir da indicação e concordância pelos especialistas, apenas dois, delta pH e saturação por bases, afetam indiretamente a suscetibilidade do solo à erosão. Todos os demais, ou por afetarem as relações de infiltração-deflúvio, ou a resiliência do solo a agentes externos, devido a maior ou menor

desenvolvimento de estrutura e estabilidade de agregados, afetam diretamente a suscetibilidade do solo à erosão.

4.2. Aplicação da Análise Multicriterial

Após a escolha dos 22 critérios por meio do Método Delphi, foram estudadas suas influências na suscetibilidade do solo à erosão, aplicando-se primeiramente os métodos multicriteriais da Escola Européia: CP, CGT e ELECTRE II. Esta análise foi realizada para diferentes ordens de solo, conforme discriminadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006): ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, CHERNOSSOLOS, ESPODOSSOLOS, GLEISSOLOS, LATOSSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, NITOSSOLOS, ORGANOSSOLOS, PLANOSSOLOS, PLINTOSSOLOS e VERTISSOLOS.

4.2.1. Ponderação dos Critérios para Inclusão nas Matrizes Avaliativas

A Tabela 4 ilustra os resultados dos parâmetros de posição dos valores referentes a parte II do 3º Questionário (Apêndice 4), cuja finalidade foi categorizar os critérios escolhidos, isto é, distinguir em classes contínuas, para a elaboração de funções que expliquem com mais detalhes as suas influências para com o solo quanto a suscetibilidade à erosão.

Para a aplicação dos métodos multicriteriais, foi utilizada como padrão a média geométrica, sendo que os resultados obtidos com a aplicação dos demais valores de ponderação foram utilizados na análise de sensibilidade e de concordância dos métodos CP, CGT e ELECTRE II, com a finalidade de mostrar a robustez e a convergência das classificações dos modelos propostos.

Tabela 4: Ponderadores dos valores dos critérios de avaliação da suscetibilidade do solo à erosão conforme atribuídos pelos especialistas.

	Média Geométrica	**Mediana**	**Mínimo**	**Máximo**	**Moda**
Classe de drenagem do solo	5,8	6,5	3,0	10,0	8,0
Classe textural do horizonte	7,5	8,0	4,0	10,0	8,0

subsuperficial					
Classe textural do horizonte superficial	6,8	8,0	3,0	8,0	8,0
Declividade do terreno	9,0	9,0	8,0	10,0	9,0
Delta pH	3,6	4,0	1,0	7,0	3,0
Densidade do solo	7,3	7,5	6,0	8,0	8,0
Espessura do horizonte A	6,2	7,0	2,0	8,0	7,0
Espessura do solum	6,7	7,5	3,0	9,0	8,0
Estrutura do horizonte subsuperficial	6,2	7,0	3,0	8,0	8,0
Estrutura do horizonte superficial	6,3	7,5	2,0	8,0	8,0
Relação Textural B/A	8,3	8,0	7,0	10,0	8,0
Grau de floculação	6,5	7,5	2,0	10,0	7,0
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	8,4	8,5	7,0	10,0	7,0
Presença de mudança textural abrupta	8,6	8,5	7,0	10,0	8,0
Saturação por bases	4,4	4,0	3,0	7,0	4,0
Situação do perfil na encosta	8,3	8,5	7,0	9,0	9,0
Teor de argila dispersa em água	7,6	7,5	6,0	9,0	7,0
Teor de matéria orgânica	4,1	5,0	1,0	8,0	7,0
Teor de óxidos de ferro e alumínio	5,3	7,0	2,0	8,0	7,0
Tipo de horizonte subsuperficial	5,7	6,5	2,0	8,0	6,0
Tipo de horizonte superficial	5,7	6,5	2,0	10,0	5,0
Tipo e atividade da argila	5,5	5,0	4,0	7,0	5,0

4.2.2. Aplicação do Método CP

O método CP (*Compromise Program*) foi aplicado com base nos resultados obtidos por meio das respostas ao 3º Questionário (Apêndice 4), que solicitou aos especialistas a comparação da influência dos critérios na suscetibilidade à erosão em relação a cada ordem de solo, e da parte II do 4º Questionário (Apêndice 5), que ponderou a importância dos critérios para a suscetibilidade do solo à erosão. A Tabela 5 mostra a matriz avaliativa da influência dos critérios na suscetibilidade à erosão das 13 ordens de solos, ponderada pela média geométrica.

A Tabela 6 ilustra as avaliações ponderadas das ordens de solos, por meio da aplicação da equação 3. Tal avaliação permitiu a classificação da suscetibilidade do solo à erosão de acordo com o método CP, conforme ilustrado na Tabela 7. Essa classificação é apresentada em ordem crescente de valores entre 0 e 1, uma vez que no método CP, os valores calculados significam a distância para uma maior suscetibilidade à erosão, com isso quanto menor for o valor, maior será a suscetibilidade da ordem de solo à erosão e quanto maior o valor, menos suscetível a ordem de solo será.

Tabela 5: Matriz avaliativa da influência dos critérios na suscetibilidade à erosão de 13 ordens de solo pelo método CP.

Critérios / Ordens de Solos	PESOS[1]	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER	$F_{MÁX}$	$F_{MÍN}$
Espessura do solum (cm)	6,7	3	7	7	3	5	3	3	7	3	5	5	5	5	7	3
Situação do perfil na encosta	8,3	5	7	9	7	5	3	7	9	7	3	5	5	7	9	3
Declividade do terreno (%)	9,0	7	7	9	7	5	3	7	9	5	3	3	5	7	9	3
Classe de drenagem do solo	5,8	9	7	7	5	7	3	7	9	5	7	9	7	7	9	3
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	8,4	3	3	9	7	3	5	3	9	5	3	5	5	5	9	3
Presença de mudança textural abrupta	8,6	9	0	5	0	0	0	9	0	0	2	9	0	2	9	0
Relação Textural B/A	8,3	9	0	5	0	3	3	9	0	0	0	9	7	0	9	0
Densidade do solo horizonte A (Kg m^-3)	7,3	7	9	5	7	5	7	7	5	5	3	7	5	7	9	3
Tipo de horizonte superficial	5,7	7	5	3	5	5	3	7	7	5	3	3	5	5	7	3
Classe textural do horizonte superficial	6,8	9	7	7	7	3	7	7	9	5	3	7	5	5	9	3
Teor de matéria orgânica do horizonte A (g.dm-3)	4,1	7	9	1	7	7	7	7	9	7	1	9	7	7	9	1
Estrutura do horizonte superficial	6,3	9	7	7	9	5	5	7	9	5	3	9	7	7	9	3
Espessura do horizonte A (cm)	6,2	9	7	9	7	5	3	7	9	5	5	9	7	7	9	3
Tipo de horizonte subsuperficial	5,7	9	5	7	7	5	5	7	9	5	5	9	7	7	9	5
Classe textural do horizonte subsuperficial	7,5	9	7	7	7	5	5	7	9	5	3	9	7	7	9	3
Estrutura do horizonte subsuperficial	6,2	9	7	7	7	5	7	7	9	7	5	9	7	7	9	5
Grau de floculação do horizonte A (%)	6,5	7	5	3	7	5	3	7	7	5	3	7	5	3	7	3
Teor de argila dispersa em água do horizonte superficial (g.kg^-1)	7,6	7	5	3	7	5	3	7	7	5	3	7	5	3	7	3
Tipo e atividade da argila do horizonte superficial (cmolc.kg-1)	5,5	2	2	5	2	2	2	5	2	2	2	2	2	7	7	2
Teor de óxidos de ferro (g.Kg^-1) do horizonte A	5,3	7	7	5	9	5	7	7	9	7	5	9	5	5	9	5
Delta pH horizonte A	3,6	2	2	5	2	2	2	5	2	2	2	2	2	5	5	2
Saturação por bases horizonte A (%)	4,4	5	5	3	5	5	5	3	7	5	5	7	5	5	7	3

[1]Média geométrica extraída da Tabela 4. Sendo: ARG: ARGISSOLO; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Tabela 6: Matriz avaliativa ponderada para avaliação da suscetibilidade à erosão pelo método CP.

Critérios/Ordens de Solos	PESOS	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
Espessura do solum (cm)	0,05	0,05	0,00	0,00	0,05	0,02	0,05	0,05	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02
Situação do perfil na encosta	0,06	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,02	0,00	0,02	0,06	0,04	0,04	0,02
Declividade do terreno (%)	0,06	0,02	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,02	0,00	0,04	0,06	0,06	0,04	0,02
Classe de drenagem do solo	0,04	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	0,06	0,06	0,06	0,00	0,02	0,06	0,04	0,06	0,00	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04
Presença de mudança textural abrupta	0,06	0,00	0,06	0,03	0,06	0,06	0,06	0,00	0,06	0,06	0,05	0,00	0,06	0,05
Relação Textural B/A	0,06	0,00	0,06	0,03	0,06	0,04	0,04	0,00	0,06	0,06	0,06	0,00	0,01	0,06
Densidade do solo horizonte A (Kg m^{-3})	0,05	0,02	0,00	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02
Tipo de horizonte superficial	0,04	0,00	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04	0,00	0,00	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02
Classe textural do horizonte superficial	0,05	0,00	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,00	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03
Teor de matéria orgânica do horizonte A (g dm^{-3})	0,03	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01
Estrutura do horizonte superficial	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,03	0,04	0,00	0,01	0,01
Espessura do horizonte A (cm)	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,04	0,01	0,00	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01
Tipo de horizonte subsuperficial	0,04	0,00	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	0,00	0,04	0,04	0,00	0,02	0,02
Classe textural do horizonte subsuperficial	0,05	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00	0,03	0,05	0,00	0,02	0,02
Estrutura do horizonte subsuperficial	0,04	0,00	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,00	0,02	0,04	0,00	0,02	0,02
Grau de floculação do horizonte A (%)	0,05	0,00	0,02	0,05	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,02	0,05
Teor de argila dispersa em água do horizonte superficial (g.kg^{-1})	0,05	0,00	0,03	0,05	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,03	0,05
Tipo e atividade da argila do horizonte superficial (cmolc kg^{-1})	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00
Teor de óxidos de ferro (g Kg^{-1}) do horizonte A	0,04	0,02	0,02	0,04	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,02	0,04	0,00	0,04	0,04
Delta pH horizonte A	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
Saturação por bases horizonte A (%)	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
Total	**1,00**	**0,29**	**0,52**	**0,44**	**0,46**	**0,72**	**0,79**	**0,35**	**0,21**	**0,68**	**0,91**	**0,30**	**0,57**	**0,53**

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Tabela 7: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão de acordo com o método CP.

VALOR – CP[1]	ORDENS DE SOLOS	CLASSIFICAÇÃO
0,21	NEOSSOLOS	1º
0,29	ARGISSOLOS	2º
0,30	PLANOSSOLOS	3º
0,35	LUVISSOLOS	4º
0,44	CHERNOSSOLOS	5º
0,46	ESPODOSSOLOS	6º
0,52	CAMBISSOLOS	7º
0,53	VERTISSOLOS	8º
0,57	PLINTOSSOLOS	9º
0,68	NITOSSOLOS	10º
0,72	GLEISSOLOS	11º
0,79	LATOSSOLOS	12º
0,91	ORGANOSSOLOS	13º

[1] Valor 0 (mais próximo) maior suscetibilidade e 1 (mais distante) menor suscetibilidade.

A classificação de acordo com o método CP ponderado pela média geométrica sem a potencialização dos desvios das preferências, priorizou a ordem dos NEOSSOLOS como a mais suscetível, o que é coerente, uma vez que nessa ordem se enquadram solos jovens, pouco desenvolvidos, com contato lítico ou com textura arenosa. Entre o segundo e terceiro colocados, respectivamente ARGISSOLOS e PLANOSSOLOS, a diferença média das avaliações para essas ordens foi pequena, de 0,1, sendo que a presença de Relação Textural B/A e mudança textural abrupta explicam a elevada suscetibilidade à erosão dessas ordens de solo. Ao contrário, os LATOSSOLOS estão entre as classes de menor suscetibilidade, tendo em vista serem profundos, com estrutura forte muito pequena granular muito estável, que lhes confere drenagem boa a acentuada. No caso dos GLEISSOLOS e ORGANOSSOLOS, por ocorrerem preferencialmente em posições de baixada na paisagem, próximos aos cursos de água, tendem a ocupar áreas de deposição ou acumulação, sendo pouco susceptíveis ao processo erosivo. Nesses casos, a posição na paisagem e a classe de declividade condicionam a baixa suscetibilidade.

4.2.3. Aplicação do Método CGT

Assim como no caso do método CP, o método CGT (*Cooperative Games Teory*) foi aplicado com base nas respostas dos especialistas ao 4º Questionário (Apêndice 5). Na comparação dos critérios para cada ordem de solo foi utilizada a escala de Saaty do método CP. A Tabela 8 mostra a matriz avaliativa pelo método CGT da influência dos critérios na suscetibilidade à erosão das ordens de solos, ponderada pela média geométrica.

A partir da matriz avaliativa, foi calculado o valor mínimo para cada linha da matriz e os resultados aplicados em uma nova matriz padronizada pela amplitude relativa (relativa por ser calculada de acordo com cada atributo) das avaliações (Tabela 9), por meio da equação 7 que implica na importância relativa do critério para cada ordem de solo, cuja soma dos resultados representam em ordem decrescente o grau de suscetibilidade a erosão das 13 ordens de solos.

Tabela 8: Matriz avaliativa da suscetibilidade do solo à erosão pelo método CGT.

Critérios / Ordens de Solos	PESOS[1]	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER	$F_{MÍN}$ - 1
Espessura do solum (cm)	6,7	3	7	7	3	5	3	3	7	3	5	5	5	5	2
Situação do perfil na encosta	8,3	5	7	9	7	5	3	7	9	7	3	5	5	7	2
Declividade do terreno (%)	9,0	7	7	9	7	5	3	7	9	5	3	3	5	7	2
Classe de drenagem do solo	5,8	9	7	7	5	7	3	7	9	5	7	9	7	7	2
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	8,4	3	7	9	7	3	5	3	9	5	3	5	5	5	2
Presença de mudança textural abrupta	8,6	9	0	5	0	0	0	9	0	0	2	9	0	2	-1
Relação Textural B/A	8,3	9	0	5	0	3	3	9	0	3	0	9	7	0	-1
Densidade do solo horizonte A (Kg m^{-3})	7,3	7	9	5	7	5	7	7	5	5	3	7	5	7	2
Tipo de horizonte superficial	5,7	7	5	3	5	5	3	7	7	5	3	7	5	5	2
Classe textural do horizonte superficial	6,8	9	7	7	7	3	7	7	9	5	3	7	5	5	2
Teor de matéria orgânica do horizonte A (g dm^{-3})	4,1	7	9	1	7	7	7	7	9	7	1	9	7	7	0
Estrutura do horizonte superficial	6,3	9	7	7	9	5	5	7	9	5	3	9	7	7	2
Espessura do horizonte A (cm)	6,2	9	7	9	7	5	3	7	9	5	5	9	7	7	2
Tipo de horizonte subsuperficial	5,7	9	5	7	7	5	5	7	9	5	5	9	7	7	4
Classe textural do horizonte subsuperficial	7,5	9	7	7	7	5	5	7	9	5	3	9	7	7	2
Estrutura do horizonte subsuperficial	6,2	9	7	7	7	5	7	7	9	7	5	9	7	7	4
Grau de floculação do horizonte A (%)	6,5	7	5	3	7	5	3	7	7	5	3	7	5	3	2
Teor de argila dispersa em água do horizonte superficial (g kg^{-1})	7,6	7	5	3	7	5	3	7	7	5	3	7	5	5	2
Tipo e atividade da argila do horizonte superficial (cmolc kg^{-1})	5,5	2	2	5	2	2	2	5	2	2	2	2	2	7	1
Teor de óxidos de ferro (g Kg^{-1}) do horizonte A	5,3	7	7	5	9	5	7	7	9	7	5	9	5	5	4
Delta pH horizonte A	3,6	2	2	5	2	2	2	5	2	2	2	2	2	5	1
Saturação por bases horizonte A (%)	4,4	5	5	3	5	5	5	3	7	5	5	7	5	5	2

[1]Média geométrica extraída da Tabela 4. Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Tabela 9: Matriz avaliativa ponderada para avaliação da suscetibilidade à erosão pelo método CGT.

Critérios / Ordens de Solos	PESOS	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
Espessura do solum (cm)	0,05	1,00	1,08	1,08	1,00	1,05	1,00	1,00	1,08	1,00	1,05	1,05	1,05	1,05
Situação do perfil na encosta	0,06	1,07	1,10	1,12	1,10	1,07	1,00	1,10	1,12	1,10	1,00	1,07	1,07	1,10
Declividade do terreno (%)	0,06	1,11	1,11	1,13	1,11	1,07	1,00	1,11	1,13	1,07	1,00	1,00	1,07	1,11
Classe de drenagem do solo	0,04	1,08	1,07	1,07	1,05	1,07	1,00	1,07	1,08	1,05	1,07	1,08	1,07	1,07
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	0,06	1,00	1,10	1,12	1,10	1,00	1,07	1,00	1,12	1,07	1,00	1,07	1,07	1,07
Presença de mudança textural abrupta	0,06	1,15	1,00	1,11	1,00	1,00	1,00	1,15	1,00	1,00	1,07	1,15	1,00	1,07
Relação Textural B/A	0,06	1,14	1,00	1,11	1,00	1,08	1,08	1,14	1,00	1,08	1,00	1,14	1,13	1,00
Densidade do solo Horizonte A (Kg m^{-3})	0,05	1,09	1,10	1,06	1,09	1,06	1,09	1,09	1,06	1,06	1,00	1,09	1,06	1,09
Tipo de horizonte superficial	0,04	1,07	1,04	1,00	1,04	1,04	1,00	1,07	1,07	1,04	1,00	1,07	1,04	1,04
Classe textural do horizonte superficial	0,05	1,10	1,08	1,08	1,08	1,00	1,08	1,08	1,10	1,05	1,00	1,08	1,05	1,05
Teor de matéria orgânica do Horizonte A (g dm^{-3})	0,03	1,06	1,06	1,00	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,00	1,06	1,06	1,06
Estrutura do horizonte superficial	0,04	1,09	1,07	1,07	1,09	1,05	1,05	1,07	1,09	1,05	1,00	1,09	1,07	1,07
Espessura do horizonte A (cm)	0,04	1,09	1,07	1,09	1,07	1,05	1,00	1,07	1,09	1,05	1,05	1,09	1,07	1,07
Tipo de horizonte subsuperficial	0,04	1,07	1,00	1,04	1,04	1,00	1,00	1,04	1,07	1,00	1,00	1,07	1,04	1,04
Classe textural do horizonte subsuperficial	0,05	1,11	1,09	1,09	1,09	1,06	1,06	1,09	1,11	1,06	1,00	1,11	1,09	1,09
Estrutura do horizonte subsuperficial	0,04	1,07	1,05	1,05	1,05	1,00	1,05	1,05	1,07	1,05	1,00	1,07	1,05	1,05
Grau de floculação do horizonte A (%)	0,05	1,08	1,05	1,00	1,08	1,05	1,00	1,08	1,08	1,05	1,00	1,08	1,05	1,00
Teor de argila dispersa em água do horizonte superficial (g kg^{-1})	0,05	1,09	1,06	1,00	1,09	1,06	1,00	1,09	1,09	1,06	1,00	1,09	1,06	1,06
Tipo e atividade da argila do horizonte superficial (cmolc kg^{-1})	0,04	1,00	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07
Teor de óxidos de ferro (g Kg^{-1}) do horizonte A	0,04	1,04	1,04	1,00	1,06	1,00	1,04	1,04	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	1,00
Delta pH horizonte A	0,02	1,00	1,00	1,04	1,00	1,00	1,00	1,04	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04
Saturação por bases horizonte A (%)	0,03	1,03	1,03	1,00	1,03	1,03	1,03	1,00	1,05	1,03	1,03	1,05	1,03	1,03
Total	**1,00**	**4,23**	**3,20**	**3,48**	**3,22**	**2,17**	**1,80**	**4,08**	**4,25**	**2,56**	**1,30**	**4,40**	**2,99**	**3,26**

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

De acordo com os valores totais apresentados na Tabela 10, são classificadas as ordens de solos com maior suscetibilidade a erosão pelo método CGT. Ao contrário do método CP, no método CGT quanto maior o valor, maior a suscetibilidade à erosão da ordem de solo, uma vez que o método é baseado na distância para uma menor suscetibilidade à erosão.

Tabela 10: Classificação das ordens de solos quanto à suscetibilidade a erosão.

VALOR – CGT[1]	ORDENS DE SOLOS	CLASSIFICAÇÃO
4,4	PLANOSSOLOS	1º
4,3	NEOSSOLOS	2º
4,2	ARGISSOLOS	3º
4,1	LUVISSOLOS	4º
3,5	CHERNOSSOLOS	5º
3,3	VERTISSOLOS	6º
3,2	ESPODOSSOLOS	7º
3,2	CAMBISSOLOS	8º
3	PLINTOSSOLOS	9º
2,6	NITOSSOLOS	10º
2,2	GLEISSOLOS	11º
1,8	LATOSSOLOS	12º
1,3	ORGANOSSOLOS	13º

[1] Valor 4,4 maior suscetibilidade e 1,3 menor suscetibilidade.

A classificação das ordens de solo quanto à suscetibilidade à erosão de acordo com o método CGT ponderado pela média geométrica indica as ordens dos PLANOSSOLOS, NEOSSOLOS, ARGISSOLOS e LUVISSOLOS como as mais suscetíveis. Tal resultado se deve principalmente à influência de 5 dos 22 critérios avaliados: Situação do Perfil na Encosta, Declividade do Terreno, Ocorrência de Camada de Impedimento no perfil, Presença de Mudança Textural Abrupta e Relação Textural B/A. Juntos esses cinco critérios representam 30% na ponderação total dos critérios na avaliação da suscetibilidade à erosão. Tais resultados são coerentes com o fato de que os cinco critérios citados definem as relações infiltração-deflúvio das águas superficiais e o volume de água que fica em superfície e que pode causar erosão. Especificamente, a presença de Relação Textural B/A, no caso dos PLANOSSOLOS, ARGISSOLOS e LUVISSOLOS, ou de camada de impedimento no perfil,

caso dos NEOSSOLOS LITÓLICOS, são fatores que reduzem a permeabilidade e a capacidade de infiltração de água no solo, favorecendo o processo erosivo.

4.2.4. Aplicação ELECTRE II

O primeiro procedimento para a aplicação do método ELECTRE II foi o estabelecimento da matriz avaliativa apresentada na Tabela 11 e montada a partir das respostas dos especialistas ao 4º questionário (Apêndice 5).

A partir da aplicação respectivamente das equações 7 e 8 aos valores da Tabela 11, foram elaboradas as matrizes de concordância (Tabela 12) e de discordância (Tabela 13) para as 13 ordens de solos.

Tabela 11: Matriz avaliativa da suscetibilidade do solo à erosão pelo Método ELECTRE II.

Critérios / Ordens de Solos	PESOS[1]	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
Espessura do solum (cm)	6,7	3	7	7	3	5	3	3	7	3	5	5	5	5
Situação do perfil na encosta	8,3	5	7	9	7	5	3	7	9	7	3	5	5	7
Declividade do terreno (%)	9,0	7	7	9	7	5	3	7	9	5	3	3	5	7
Classe de drenagem do solo	5,8	9	7	7	5	7	3	7	9	5	7	9	7	7
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	8,4	3	3	9	7	3	5	3	9	5	3	5	5	5
Presença de mudança textural abrupta	8,6	9	0	5	0	0	0	9	0	0	2	9	0	2
Relação Textural B/A	8,3	9	0	5	0	3	3	9	0	0	0	9	7	0
Densidade do solo horizonte (Kg m^{-3}) A	7,3	7	9	5	7	5	7	7	5	5	3	7	5	7
Tipo de horizonte superficial	5,7	7	5	3	5	5	3	7	7	5	3	3	5	5
Classe textural do horizonte superficial	6,8	9	7	7	7	3	7	7	9	5	3	7	5	5
Teor de matéria orgânica do horizonte A (g dm^{-3})	4,1	7	9	1	7	7	7	7	9	7	1	9	7	7
Estrutura do horizonte superficial	6,3	9	7	7	9	5	5	7	9	5	3	9	7	7
Espessura do horizonte A (cm)	6,2	9	7	9	7	5	3	7	9	5	5	9	7	7
Tipo de horizonte subsuperficial	5,7	9	5	7	7	5	5	7	9	5	5	9	7	7
Classe textural do horizonte subsuperficial	7,5	9	7	7	7	5	5	7	9	5	3	9	7	7
Estrutura do horizonte subsuperficial	6,2	9	7	7	7	5	7	7	9	7	5	9	7	7
Grau de floculação do horizonte A (%)	6,5	7	5	3	7	5	3	7	7	5	3	7	5	3
Teor de argila dispersa em água do horizonte Superficial (g kg^{-1})	7,6	7	5	3	7	5	3	7	7	5	3	7	5	3
Tipo e atividade da argila do horizonte superficial (cmolc kg^{-1})	5,5	2	2	5	2	2	2	5	2	2	2	2	2	7
Teor de óxidos de ferro (g Kg^{-1}) do horizonte A	5,3	7	7	5	9	5	7	7	9	7	5	9	5	5
Delta pH horizonte A	3,6	2	2	5	2	2	2	5	2	2	2	2	2	5
Saturação por bases horizonte A (%)	4,4	5	5	3	5	5	5	3	7	5	5	7	5	5

[1]Média geométrica extraída da Tabela 4. Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Tabela 12: Matriz de concordância das ordens de solos para aplicação do método ELECTRE II e avaliação da suscetibilidade à erosão.

	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
ARG	-	0,816	0,711	0,847	0,953	0,942	0,879	0,679	0,884	0,953	0,799	0,895	0,774
CAM	0,435	-	0,558	0,723	0,942	0,884	0,642	0,307	0,942	0,940	0,396	0,844	0,779
CHE	0,332	0,716	-	0,672	0,803	0,853	0,629	0,5	0,766	0,969	0,419	0,745	0,812
ESP	0,577	0,834	0,51	-	0,855	0,942	0,739	0,41	1	0,853	0,558	0,855	0,79
GLE	0,285	0,487	0,325	0,366	-	0,764	0,204	0,232	0,757	0,94	0,27	0,615	0,378
LAT	0,315	0,437	0,375	0,428	0,612	-	0,342	0,232	0,659	0,81	0,322	0,419	0,451
LUV	0,66	0,844	0,732	0,83	0,923	0,911	-	0,369	0,911	0,923	0,537	0,864	0,826
NEO	0,832	0,949	0,819	0,949	0,942	0,892	0,768	-	1	0,94	0,832	0,942	0,826
NIT	0,322	0,585	0,328	0,467	0,855	0,844	0,302	0,232	-	0,853	0,282	0,677	0,498
ORG	0,199	0,35	0,274	0,298	0,509	0,581	0,176	0,181	0,381	-	0,212	0,277	0,37
PLA	0,850	0,711	0,711	0,782	0,898	1	0,777	0,688	0,84	1	-	0,898	0,777
PLI	0,285	0,561	0,561	0,545	1	0,865	0,426	0,232	0,905	0,94	0,328	-	0,706
VER	0,398	0,567	0,567	0,716	0,844	0,858	0,661	0,232	0,865	1	0,379	0,844	-

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Tabela 13: Matriz de discordância das ordens de solos para aplicação do método ELECTRE II e avaliação da suscetibilidade à erosão.

	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
ARG	-	0,571	0,667	0,444	0,286	0,222	0,6	0,667	0,222	0,286	0,286	0,286	0,714
CAM	1	-	0,667	0,444	0,333	0,333	1	0,667	0,222	0,222	1	0,778	0,714
CHE	0,667	0,889	-	0,667	0,667	0,667	0,667	0,889	0,667	0,286	0,889	0,667	0,667
ESP	1	0,571	0,6	-	0,333	0,333	1	0,571	0	0,286	1	0,778	0,714
GLE	1	0,444	0,667	0,444	-	0,444	1	0,667	0,222	0,222	1	0,444	0,714
LAT	1	0,571	0,667	0,571	0,444	-	1	0,667	0,444	0,444	1	0,444	0,714
LUV	0,286	0,571	0,667	0,444	0,286	0,286	-	0,667	0,286	0,286	0,571	0,286	0,286
NEO	1	0,444	0,6	0,222	0,333	0,333	1	-	0	0,222	1	0,778	0,714
NIT	1	0,571	0,6	0,444	0,333	0,333	1	0,571	-	0,286	1	0,778	0,714
ORG	1	0,889	0,667	0,667	0,667	0,667	1	0,889	0,667	-	1	0,778	0,714
PLA	0,571	0,444	0,667	0,444	0,286	0	0,6	0,667	0,286	0	-	0,286	0,714
PLI	1	0,444	0,6	0,444	0	0,222	1	0,444	0,222	0,222	1	-	0,714
VER	1	0,286	0,556	0,571	0,333	0,333	1	0,571	0,286	0	1	0,778	-

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Diferente do método ELECTRE I, o método ELECTRE II utiliza duas classificações obtidas por meio da composição das duas ordenações (progressiva e regressiva) formadas pelas matrizes de superioridade para Preferência Fraca (Tabela 14) e para Preferência Forte (Tabela 15) que implicam em duas combinações das certezas e incertezas nas avaliações dos especialistas.

Para a matriz de Preferência Fraca (Tabela 14), foi estabelecido os valores para uma concordância mínima de 0,5 e para uma discordância máxima em 0,45, esses valores representam um relaxamento maior quanto aos graus de certeza e incerteza dos especialistas, uma vez que o método é aplicado a dados subjetivos. De posse dos limites fixados são verificadas quais as ordens de solos por meio das Tabelas 16 e 17, que atendem a ambos os limites, sendo dado o valor 1 para a ordem de solo que atende e 0 para a ordem que não atende.

Tabela 14: Matriz de Preferência Fraca (p = 0,5 e q = 0,45) das ordens de solos.

	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
ARG	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
CAM	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
CHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ESP	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
GLE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
LAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
LUV	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
NEO	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
NIT	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
ORG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLA	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
PLI	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
VER	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

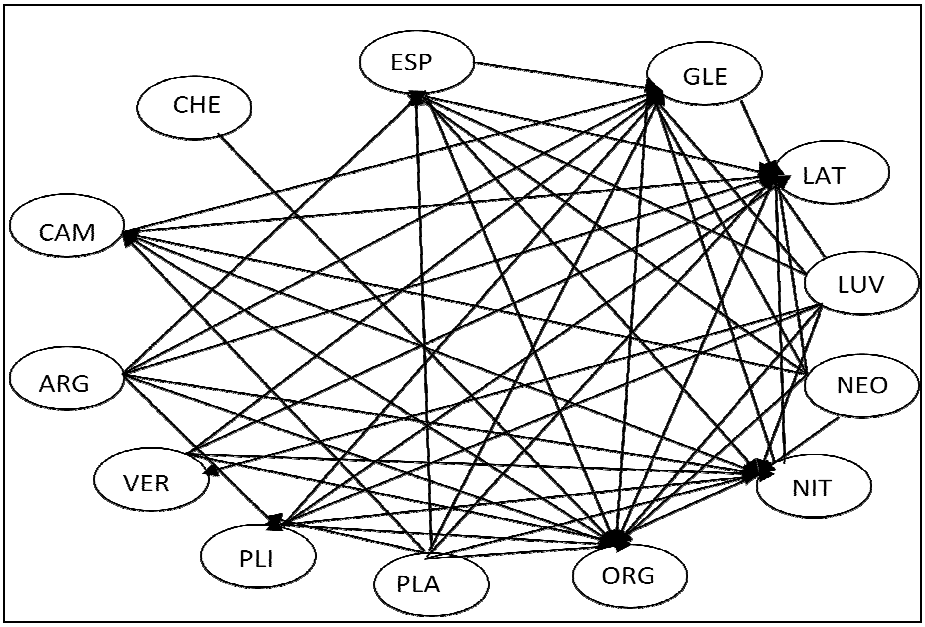
O mesmo ocorre para a matriz de Preferência Forte (Tabela 15), com uma diferença quanto a rigidez dos limites, sendo estabelecido uma concordância mínima de 0,7 e uma discordância máxima em 0,25.

Tabela 15: Matriz de Preferência Forte (p = 0,7 e q = 0,25) das ordens de solos.

	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
ARG	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
CAM	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
CHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESP	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
GLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
LAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
NIT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ORG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
PLI	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
VER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

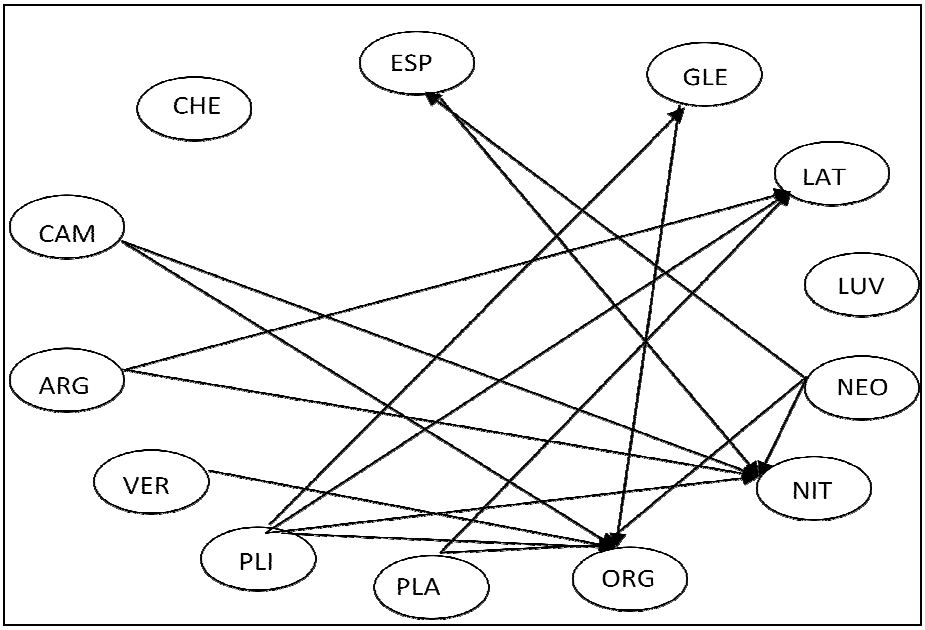
Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Com base nas matrizes de Preferências Fraca e Forte e de acordo com os limites de concordância e discordância, foram estabelecidas as ordens de solos com predominância significativa sobre as demais. As figuras 7 e 8 mostram as iterações resultantes das matrizes de Preferência Fraca e Forte respectivamente. Com essas interações podemos formar dois grupos de ordens de solos, as não-dominadas (sem indicação de setas) e as ordens dominadas (com setas indicadoras). O grupo **C** contém as ordens de solos não dominadas em ambas matrizes de preferência, ou seja, são as ordens mais suscetíveis à erosão comparada as demais, quando avaliados todos os critérios. O grupo **A** representa as ordens de solos dominadas na matriz de Preferência Fraca, ou seja, são as ordens menos suscetíveis à erosão perante as demais. Por meio dessa interação foi aplicada a classificação Progressiva (Figuras 7 e 8).



Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Figura 7: Classificação Progressiva Fraca (p=0,5 e q=0,45) das 13 ordens de solos.



Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Figura 8: Classificação Progressiva Forte (p=0,7 e q=0,25) das 13 ordens de solos.

As classificações apresentadas na Tabela 16 representam à suscetibilidade das ordens de solos à erosão empregando a classificação progressiva. De posse dos conjuntos C e A foi obtida a classificação v' com o objetivo de classificar as ordens de solos em uma ordem decrescente, isto é, da *maior* para a *menor* suscetibilidade à erosão.

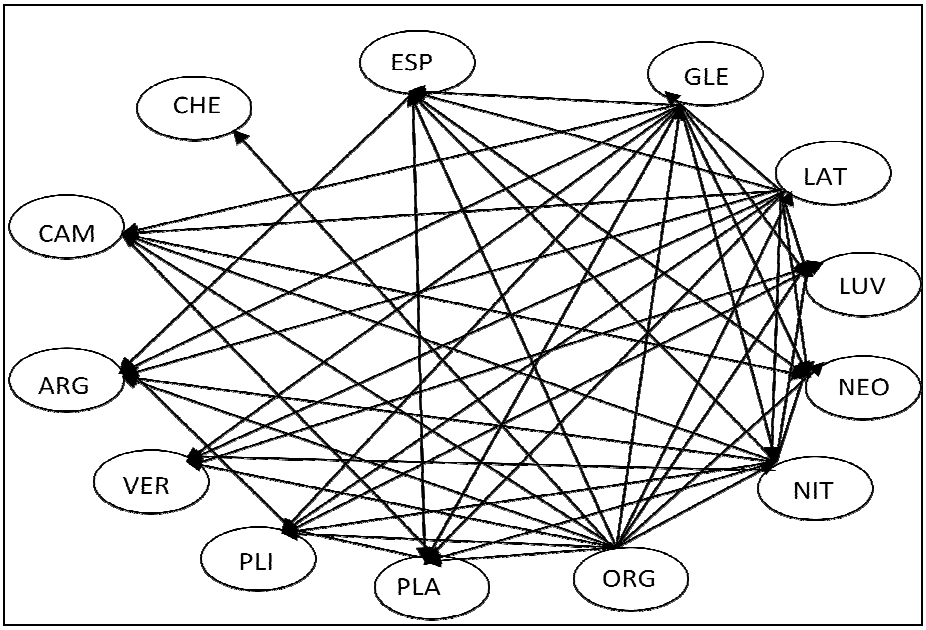
Tabela 16: Sumarização das iterações via classificação progressiva fraca e forte

Iterações	Conjunto C	Conjunto A	Classificação v'
1ª	ARG, CAM,CHE,LUV, NEO,PLA,PLI,VER	ARG,CHE,LUV,NEO, PLA	1º
2ª	CAM,ESP,PLI,VER	CAM,ESP,PLI,VER	2º
3ª	GLE,LAT,NIT	NIT	3º
4ª	GLE, LAT	GLE	4º
5ª	LAT, ORG	LAT	5º
6ª	ORG	ORG	6º

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS

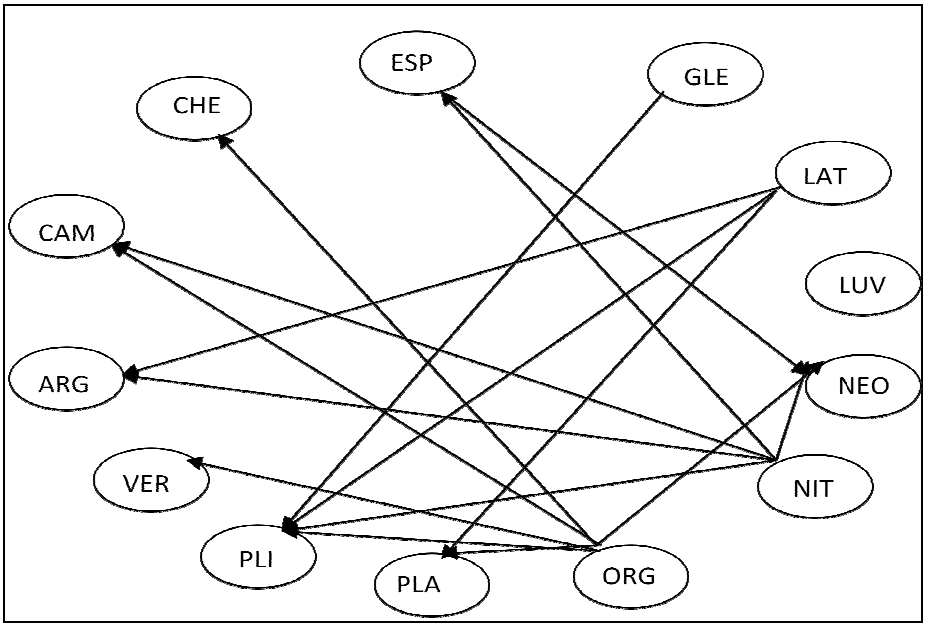
Como o método ELECTRE II é realizado por meio de valores subjetivos é necessário ter um viés mínimo para que seus resultados sejam aplicáveis. Com esse propósito é necessário aplicar outra forma de classificação denominada como *regressiva*, cuja finalidade foi de inverter as interações obtidas na classificação progressiva, sob os mesmos limites de concordância e discordância estabelecidos anteriormente pelas Figuras 9 e 10.

A classificação apresentada na Tabela 17 representa à suscetibilidade das ordens de solos à erosão empregando a classificação regressiva. De posse dos conjuntos C e A foi obtida a classificação v'' com o objetivo de classificar as ordens de solos em uma ordem crescente, isto é, da *menor* para a *maior* suscetibilidade à erosão.



Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Figura 9: Classificação Regressiva Fraca (p=0,5 e q=0,45) das 13 ordens de solos.



Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

Figura 10: Classificação Regressiva Forte (p=0,7 e q=0,25) das 13 ordens de solos.

Tabela 17: Sumarização das iterações via classificação regressiva fraca e forte

Iterações	Conjunto C	Conjunto A	Classificação v''
1ª	GLE,LAT,LUV,NIT, ORG	ORG	6º
2ª	CHE,GLE,LAT,LUV, NIT,VER	CHE,LAT	5º
3ª	GLE,LUV,NIT,PLA, VER	GLE	4º
4ª	LUV,NIT,PLA,VER	NIT	3º
5ª	ARG,CAM,ESP,LUV, PLA,PLI,VER	CAM,ESP,PLI,VER	2º
6ª	ARG,LUV,PLA,NEO, PLA	ARG,LUV,PLA,NEO, PLA	1º

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.

A classificação final do método ELECTRE II foi obtido por meio da média das classificações progressivas e regressivas (v' e v''), bem como a aplicação do método proposto por ZUFFO e SANTOS (2002), apresentados pela Tabela 18.

Aplicando o método ELECTRE II, em sua versão tradicional ou na modificada, obteve-se três classificações diferentes, compostas por cinco (ELECTRE II Tradicional), oito (ELECTRE II modificado pela proposta I) e nove (ELECTRE II modificado pela proposta II) grupos de suscetibilidade.

De acordo com ZUFFO e SANTOS (2002) a vantagem das proposições 1 e 2 é de "penalizar" os solos com maiores discrepâncias (desvios) nas classificações progressiva e regressiva, priorizando os que possuem os menores desvios, obtendo assim um maior número de grupos e proporcionando um método mais sensível nas classificações obtidas.

A classificação final, via método ELECTRE II tradicional, foi influenciada principalmente pelas avaliações dos 4 critérios: Situação do Perfil na Encosta, Declividade do Terreno, Ocorrência de Camada de Impedimento no Perfil e Espessura do Horizonte A, que juntos representaram 22% na ponderação total dos critérios na suscetibilidade dos solos à

erosão. A ordem dos ARGISSOLOS foi classificada como sendo a mais suscetível devido a ter obtido notas máximas em 9 dos 22 critérios avaliados. A classificação final via método ELECTRE II modificado é concordante com a do método tradicional e também posiciona a ordem dos ARGISSOLOS como sendo a mais suscetível à erosão. A maior discrepância entre as classificações pelos métodos tradicional e modificado, refere-se ao posicionamento da ordem dos CHERNOSSOLOS, uma vez que pelo método tradicional ela se posiciona como a 3º ordem mais suscetível à erosão e pelo método modificado se classificou como a menos suscetível, tendo em vista a discordância nas ordenações progressiva e regressiva.

Tabela 18: Classificação final obtida pelas classificações progressivas e regressivas das ordens de Solos pelo Método ELECTRE II

Alternativas	Class. Progr.-v'	Class. Regr.-v''	Média	Class. Final (ROY e BERTIER, 1973)	Proposta 1	Class. Final (ZUFFO e SANTOS, 2002)	Proposta 2	Class. Final (ZUFFO e SANTOS, 2002)
ARG	**1**	**1**	**1**	**1º**	**1**	**1º**	**1**	**1º**
CAM	**2**	**2**	**2**	**2º**	**2**	**2º**	**2**	**2º**
CHE	**1**	**5**	**3**	**3º**	**7**	**7º**	**7,4**	**7º**
ESP	**2**	**2**	**2**	**2º**	**2**	**2º**	**2**	**2º**
GLE	**4**	**4**	**4**	**4º**	**4**	**4º**	**4**	**4º**
LAT	**5**	**5**	**5**	**5º**	**5**	**5º**	**5**	**5º**
LUV	**1**	**1**	**1**	**1º**	**1**	**1º**	**1**	**1º**
NEO	**1**	**1**	**1**	**1º**	**1**	**1º**	**1**	**1º**
NIT	**3**	**3**	**3**	**3º**	**3**	**3º**	**3**	**3º**
ORG	**6**	**6**	**6**	**6º**	**6**	**6º**	**6**	**6º**
PLA	**1**	**1**	**1**	**1º**	**1**	**1º**	**1**	**1º**
PLI	**2**	**2**	**2**	**2º**	**2**	**2º**	**2**	**2º**
VER	**2**	**2**	**2**	**2º**	**2**	**2º**	**2**	**2º**

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS. 1 – Método ELECTRE II (ROY, 1971; ROY e BERTIER, 1973); 2 – Propostas metodológicas para o método ELECTRE II (ZUFFO e SANTOS 2002).

4.2.5. Análise de Sensibilidade e Concordância Entre os Métodos Multicriteriais

As Tabelas 19 a 23 mostram as classificações das ordens de solos quanto à suscetibilidade à erosão empregando respectivamente os métodos CGT (Tabela 19), CP (S=1) (Tabela 20), CP (S=2) (Tabela 21), ELECTRE II (Tabela 22) e ELECTRE II modificado I e modificado II (ZUFFO e SANTOS, 2002) (Tabela 23). Para cada método, são apresentados os resultados da aplicação aos valores obtidos pela parte II do 3º questionário (Apêndice 4) com a aplicação de cinco ponderações: média geométrica, mediana, moda, valor máximo e valor mínimo.

Os resultados das ponderações empregando o método CGT (Tabela 19) apresentam uma alta correlação média no valor de r_S=0,97, isto é as diferentes classificações resultantes dos cinco ponderadores são muito similares, indicando uma robustez interna do método. Em outras palavras, a aplicação de diferentes ponderadores não alterou significativamente as classificações das ordens de solos quanto sua suscetibilidade à erosão.

Tabela 19: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão de acordo com o método CGT com diferentes ponderadores.

Classificação	Média Geométrica	Mediana	Moda	Máximo	Mínimo
1º	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	ARGISSOLOS
2º	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	LUVISSOLOS
3º	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	PLANOSSOLOS
4º	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	NEOSSOLOS
5º	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS
6º	VERTISSOLOS	ESPODOSSOLOS	CAMBISSOLOS	VERTISSOLOS	VERTISSOLOS
7º	ESPODOSSOLOS	CAMBISSOLOS	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS	CAMBISSOLOS
8º	CAMBISSOLOS	VERTISSOLOS	VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS	ESPODOSSOLOS
9º	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS
10º	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS
11º	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS
12º	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS
13º	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS
Correlação externa Média	r_S = 0,88	r_S = 0,89	r_S = 0,88	r_S = 0,88	r_S = 0,87
Correlação interna Média			r_S = 0,97		

r_S : Correlação de Spearman.

Para o método CP, a correlação média entre as classificações obtidas empregando os cinco ponderadores (Tabela 20) foi ainda mais elevada, no valor de r_S=1,00 também indicativa de robustez interna do método.

Tabela 20: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão por meio do método CP com diferentes ponderadores.

Classificação	Média Geométrica	Mediana	Moda	Máximo	Mínimo
1º	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS
2º	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS
3º	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS
4º	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS
5º	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS
6º	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS
7º	CAMBISSOLOS	CAMBISSOLOS	CAMBISSOLOS	CAMBISSOLOS	VERTISSOLOS
8º	VERTISSOLOS	VERTISSOLOS	VERTISSOLOS	VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS
9º	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS
10º	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS
11º	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS
12º	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS
13º	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS
Correlação externa Média	r_S = 0,88	r_S = 0,88	r_S = 0,88	r_S = 0,88	r_S = 0,88
Correlação interna Média			r_S = 1,00		

r_S : Correlação de Spearman.

No caso do método CP com S=2, o teste de sensibilidade, aplicado aos resultados da Tabela 21 indicou a ocorrência de uma correlação média no valor de r_S=0,86, indicativa de robustez interna do método aceitável, uma vez que a aplicação dos diferentes ponderadores influenciou pouco nas classificações das ordens de solos.

Tabela 21: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão por meio do método CP (S=2) com diferentes ponderadores.

Classificação	Média Geométrica	Mediana	Moda	Máximo	Mínimo
1º	PLANOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS	NEOSSOLOS
2º	LUVISSOLOS	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	ARGISSOLOS	PLANOSSOLOS
3º	VERTISSOLOS	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	PLANOSSOLOS	LUVISSOLOS
4º	PLINTOSSOLOS	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	LUVISSOLOS	ARGISSOLOS
5º	ARGISSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS

6º	NEOSSOLOS	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS	ESPODOSSOLOS
7º	NITOSSOLOS	CAMBISSOLOS	CAMBISSOLOS	CAMBISSOLOS	VERTISSOLOS
8º	CHERNOSSOLOS	VERTISSOLOS	VERTISSOLOS	VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS
9º	CAMBISSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS	PLINTOSSOLOS
10º	ESPODOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS
11º	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS
12º	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS
13º	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS
Correlação externa Média	$r_S = 0,71$	$r_S = 0,90$	$r_S = 0,90$	$r_S = 0,90$	$r_S = 0,90$
Correlação interna Média			$r_S = 0,86$		

r_S : Correlação de Spearman.

A partir dos resultados da Tabela 22, o teste de sensibilidade do método ELECTRE II mostrou uma correlação média no valor de r_S=1,00, que indica uma robustez interna ideal, bem como correlações parciais de média a alta na comparação com os demais métodos.

Tabela 22: Classificação das ordens de solos quanto a suscetibilidade à erosão por meio do método ELECTRE II com diferentes ponderadores.

Classificação	Média Geométrica	Mediana	Moda	Máximo	Mínimo
1º	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, PLANOSSOLOS	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, PLANOSSOLOS	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, PLANOSSOLOS	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, PLANOSSOLOS	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, PLANOSSOLOS
2º	CAMBISSOLOS, ESPODOSSOLOS, PLINTOSSOLOS, VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS, ESPODOSSOLOS, PLINTOSSOLOS, VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS, ESPODOSSOLOS, PLINTOSSOLOS, VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS, ESPODOSSOLOS, PLINTOSSOLOS, VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS, ESPODOSSOLOS, PLINTOSSOLOS, VERTISSOLOS
3º	CHERNOSSOLOS, NITOSSOLOS	CHERNOSSOLOS, NITOSSOLOS	CHERNOSSOLOS, NITOSSOLOS	CHERNOSSOLOS, NITOSSOLOS	CHERNOSSOLOS, NITOSSOLOS
4º	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS
5º	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS
6º	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS
Correlação externa Média	$r_S = 0,84$	$r_S = 0,84$	$r_S = 0,84$	$r_S = 0,84$	$r_S = 0,84$
Correlação interna Média			$r_S = 1,00$		

r_S : Correlação de Spearman.

No teste de sensibilidade do método ELECTRE II modificado I e II, conforme propostos por ZUFFO e SANTOS (2002), a correlação média entre as classificações foi de r_s=0,99, semelhante à obtida pelo método CP (S=2) e indicativo de robustez interna aceitável, pela qual as aplicações dos diferentes ponderadores pouco influenciaram nas classificações das ordens de solos.

Tabela 23: Classificação das ordens de solos quanto à suscetibilidade à erosão de acordo com as propostas de ZUFFO e SANTOS (2002) para o Método ELECTRE II.

Classificação	Proposta 1	Proposta 2
1º	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS,PLANOSSOLOS	ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS,PLANOSSOLOS
2º	CAMBISSOLOS,ESPODOSSOLOS, PLINTOSSOLOS,VERTISSOLOS	CAMBISSOLOS,ESPODOSSOLOS, PLINTOSSOLOS,VERTISSOLOS
3º	NITOSSOLOS	NITOSSOLOS
4º	GLEISSOLOS	GLEISSOLOS
5º	LATOSSOLOS	LATOSSOLOS
6º	ORGANOSSOLOS	ORGANOSSOLOS
7º	CHERNOSSOLOS	CHERNOSSOLOS
Correlação externa Média	r_S = 0,76	r_S = 0,76
Correlação interna Média	r_S = 1,00	

r_S : Correlação de Spearman

Os resultados dos testes de sensibilidade das classificações das ordens de solos quanto à suscetibilidade à erosão obtidas a partir dos métodos multicriteriais utilizados nesse estudo, indicam que sua aplicação é adequada e demonstram que as variações encontradas nas classificações se devem a fatores intrínsecos às alternativas e aos critérios utilizados e não propriamente à estrutura dos métodos propostos.

A Tabela 24 apresenta os resultados do teste de sensibilidade externa ou os valores das correlações entre as classificações obtidas pelos diferentes métodos e ponderadores aplicados, e na Tabela 25 está apresentada a classificação dos métodos que tiveram maior convergência de resultados.

O teste de sensibilidade externa apresentou resultados muito satisfatórios, com correlação média global de 0,87 ao considerar os métodos CGT, CP e ELECTRE II

modificado, que significa um fator de convergência alto. Os métodos da família ELECTRE tiveram as correlações menores quando comparada com os demais métodos, porém todas as correlações estiveram acima de 0,75, o que deixa claro a coerência das classificações obtidas independente dos métodos.

Por meio da Tabela 24, observa-se que as melhores convergências foram obtidas pelos métodos CP c/S=1 para os ponderadores da Média Geométrica, Mediana, Moda, Máximo e CP c/S=2 para os ponderadores da Mediana, Moda e Máximo, cuja classificação das ordens de solos quanto ao seu grau de suscetibilidade está apresentada na Tabela 25.

Tabela 24: Valores da correlação de Spearman entre as classificações obtidas pelos diferentes métodos e ponderadores.

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	M 13	M 14	M 15	M 16	M 17	M 18	M 19	M 20	M 21	M 22
M 1	1.00	0.98	0.98	1.00	0.95	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.76	0.97	0.97	0.97	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 2	0.98	1.00	0.99	0.98	0.93	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.69	0.98	0.98	0.98	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 3	0.98	0.99	1.00	0.98	0.94	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.70	0.98	0.98	0.98	0.97	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 4	1.00	0.98	0.98	1.00	0.95	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.76	0.97	0.97	0.97	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 5	0.95	0.93	0.94	0.95	1.00	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95	0.77	0.94	0.94	0.94	0.93	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 6	0.97	0.98	0.98	0.97	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.64	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 7	0.97	0.98	0.98	0.97	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.64	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 8	0.97	0.98	0.98	0.97	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.64	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 9	0.97	0.98	0.98	0.97	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.64	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 10	0.98	0.98	0.97	0.98	0.95	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.68	0.99	0.99	0.99	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 11	0.76	0.69	0.70	0.76	0.77	0.64	0.64	0.64	0.64	0.68	1.00	0.64	0.64	0.64	0.71	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67
M 12	0.97	0.98	0.98	0.97	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.64	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 13	0.97	0.98	0.98	0.97	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.64	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 14	0.97	0.98	0.98	0.97	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.64	1.00	1.00	1.00	0.98	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 15	0.98	0.98	0.97	0.98	0.93	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.71	0.98	0.98	0.98	1.00	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.69	0.69
M 16	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95
M 17	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83	1.00	1.0	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95
M 18	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	0.95	0.95
M 19	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	0.95	0.95
M 20	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0	0.95	0.95
M 21	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.67	0.69	0.69	0.69	0.69	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00
M 22	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.67	0.69	0.69	0.69	0.69	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00

Sendo: M1: CGT pond. Média Geométrica; M2: CGT pond. Mediana; M3: CGT: pond Moda; M4: CGT pond. Máximo; M5: CGT pond. Mínimo; M6: CP(S=1) pond. Média Geométrica; M7: CP(S=1) pond. Mediana; M8: CP(S=1) pond. Moda; M9: CP(S=1) pond. Máximo; M10: CP(S=1) pond. Mínimo; M11: CP (S=2) pond. Média Geométrica; M12: CP(S=2) pond. Mediana; M13: CP(S=2) pond. Moda; M14: CP(S=2) pond. Máximo; M15: CP(S=2) pond. Mínimo; M16: ELECTRE II pond. Média Geométrica; M17: ELECTRE II pond. Mediana; M18: ELECTRE II pond. Moda; M19: ELECTRE II pond. Máximo; M20: ELECTRE II pond. Mínimo; M21: ELECTRE II com a proposta I; M22: ELECTRE II com a proposta I

Tabela 25: Ranking dos métodos multicriteriais de acordo com a média das correlações.

Ranking	Métodos	Correlações
1º	CP c/ S=1 (Mínimo)	0,905
2º	CP c/ S=2 (Mediana)	0,905
2º	CP c/ S=2 (Moda)	0,905
2º	CP c/ S=2 (Máximo)	0,905
2º	CP c/ S=1 (Média Geométrica)	0,905
2º	CP c/ S=1 (Mediana)	0,905
2º	CP c/ S=1 (Moda)	0,905
2º	CP c/ S=1 (Máximo)	0,905
9º	CGT (Mediana)	0,904
10º	CGT (Média Geométrica)	0,903
11º	CGT (Máximo)	0,903
12º	CP c/ S=2 (Mínimo)	0,902
13º	CGT (Moda)	0,901
14º	CGT (Mínimo)	0,883
15º	ELECTRE II (Média Geométrica)	0,871
15º	ELECTRE II (Mediana)	0,871
15º	ELECTRE II (Moda)	0,871
15º	ELECTRE II (Máximo)	0,871
15º	ELECTRE II (Mínimo)	0,871
20º	ELECTRE II modificado (Proposta I)	0,767
20º	ELECTRE II modificado (Proposta II)	0,767
22º	CP c/ S=2 (Média Geométrica)	0,697

Tabela 26: Classificação final das ordens de solos quanto ao seu grau de suscetibilidade à erosão.

Ranking de Suscetibilidade à Erosão	Ordens de Solos
1º	NEOSSOLOS
2º	LUVISSOLOS
3º	ARGISSOLOS
4º	PLANOSSOLOS
5º	CHERNOSSOLOS
6º	ESPODOSSOLOS
7º	VERTISSOLOS
8º	CAMBISSOLOS

9º	PLINTOSSOLOS
10º	NITOSSOLOS
11º	GLEISSOLOS
12º	LATOSSOLOS
13º	ORGANOSSOLOS

No cômputo global das classificações obtidas pelos diferentes métodos e ponderadores, a ordem dos NEOSSOLOS aparece como sendo a mais suscetível à erosão (Tabela 26). Na avaliação dos especialistas essa ordem obteve a nota máxima em 12 dos 22 critérios avaliados, caracterizando assim uma alta sensibilidade perante os seguintes critérios: Situação do Perfil na Encosta, Declividade do Terreno, Classe de Drenagem do Solo, Ocorrência de Camada de Impedimento no Perfil, Classe Textural do Horizonte Superficial, Estrutura do Horizonte Superficial, Espessura do Horizonte A, Tipo de Horizonte Subsuperficial, Classe Textural do Horizonte Subsuperficial e Estrutura do Horizonte Subsuperficial, que representam 49% dos pesos totais aplicados aos critérios. Os quatro primeiros critérios são de especial significado no caso dos NEOSSOLOS LITÓLICOS, solos rasos com contato lítico, normalmente ocorrendo em relevos movimentados, forte ondulados a montanhosos. Os demais critérios são de especial significado para as subclasses dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS E NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, tendo em vista a granulometria arenosa ou média arenosa, que condiciona fraca agregação e estabilidade estrutural dessas classes de solo.

No caso dos ARGISSOLOS e PLANOSSOLOS, a ocorrência de Relação Textural B/A inclusive abrúptico condiciona permeabilidade deficiente e baixas taxas de infiltração, aumentando a suscetibilidade ao processo erosivo. Os LUVISSOLOS podendo também apresentar Relação Textural B/A no perfil sofrem de limitações semelhantes aos ARGISSOLOS e PLANOSSOLOS. As classes menos suscetíveis incluem os GLEISSOLOS, LATOSSOLOS e ORGANOSSOLOS. Os LATOSSOLOS são solos muito desenvolvidos, profundos, sem Relação Textural B/A e ocupam normalmente as posições mais estáveis e pouco movimentadas da paisagem. No caso dos GLEISSOLOS e ORGANOSSOLOS, as posições que ocupam na paisagem, no final da encosta ou em terraços e planícies aluviais, definem uma predominância de processos de deposição de sedimentos e não de erosão. Assim, embora a drenagem seja deficiente ou imperfeita por lençol freático elevado, tal característica não promove erosão em virtude da posição de acumulação.

De uma maneira geral, a classificação final é coerente como que se conhece acerca da suscetibilidade à erosão das ordens de solo.

4.2.6. Método da Teoria de Valor Multiatributo (MAVT: *Multiattribute Value Theory Method*): Funções de Valor

A Tabela 27 relaciona os valores padronizados das notas atribuídas pelos especialistas ao critério Profundidade do Solo e a Figura 11 ilustra o ajuste da função de valor para esse critério. Observa-se pela curva da Figura 11 que a influência da Profundidade do Solo na suscetibilidade à erosão é maior nos solos rasos, diminuindo significativamente quando a profundidade do solo é maior do que 300 cm. Analisado isoladamente, esse resultado é coerente com o fato de que com o aumento da profundidade, diminui a influência do contato com o material parental, que se constitui em uma camada de impedimento à livre circulação de água em profundidade, comprometendo a permeabilidade do solo e predispondo-o à erosão.

Tabela 27: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Profundidades do Solo

Especialistas/Classes	Raso (<50cm)	Pouco Profundo (>50cm e ≤100cm)	Profundo (>100 cm e ≤200cm)	Muito Profundo (>200cm)
1	0,9	0,7	0,5	0,3
2	0,6	0,3	0,2	0,2
3	0,7	0,6	0,4	0,3
4	0,7	0,7	0,5	0,4
5	1	0,8	0,3	0
6	0,9	0,7	0,2	0,2
7	0,8	0,6	0,1	0
8	0,9	0,6	0,3	0,3
9	0,9	0,8	0,4	0,2
10	1	0,6	0,3	0,1

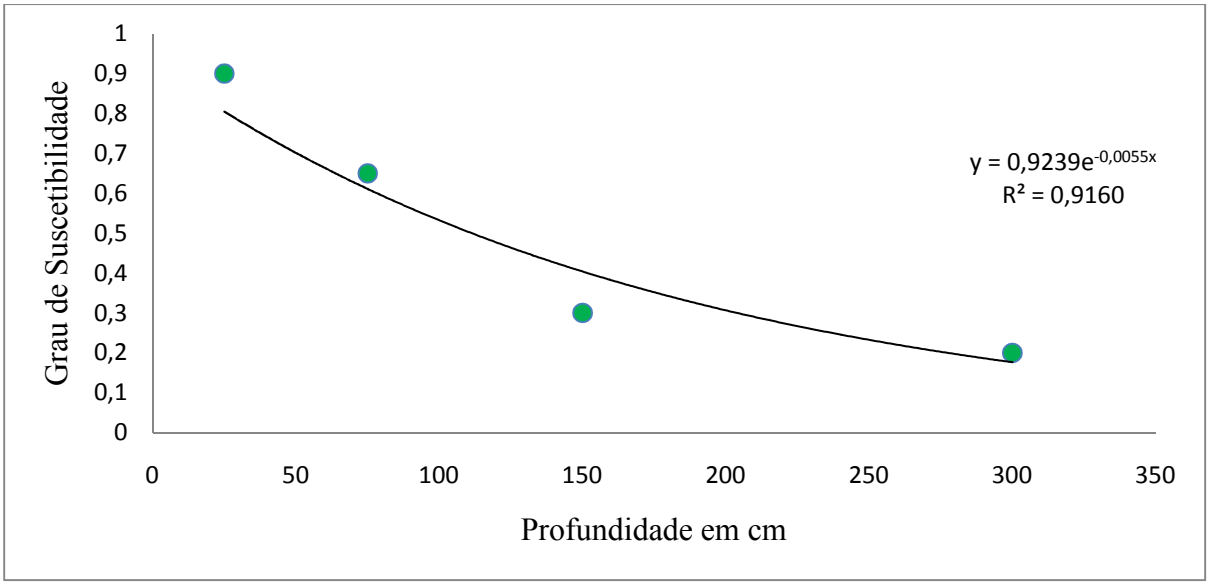


Figura 11: Função de valor ajustada para as classes de Profundidade do Solo

A Tabela 28 relaciona os valores padronizados das notas atribuídas pelos especialistas ao critério Posição do Perfil na Encosta, diferenciando as posições de planície aluvial, terraço, terço inferior, terço médio, terço superior e topo, e a Figura 12 ilustra a mediana dos valores para cada item avaliado. A observação do gráfico de barra da Figura 12 mostra que a ocorrência nas posições terço inferior, terço médio e terço superior são as que mais influenciam a suscetibilidade do solo à erosão. Em situação intermediária, seguem as posições de topo e de terraço, sendo que a menor influência está associada à posição de planície aluvial. Analisando-se de modo isolado, há coerência nesse resultado uma vez que as posições de ao longo da encosta são as que abrigam as maiores declividades em dada paisagem, sabidamente um fator que promove erosão, ao contrário das posições de topo, terraço e planície aluvial, que tendem a apresentar menor declividade. No caso da planície aluvial e do terraço, a posição de baixada caracteriza região de acumulação no relevo e não de erosão.

A Tabela 29 relaciona os valores padronizados das notas atribuídas pelos especialistas ao critério Declividade do Terreno, a partir da diferenciação nas classes de relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado, conforme EMBRAPA (2006).

Tabela 28: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Perfis na Encosta

Especialistas/Classes	Planicie Aluvial	Terraço	Terço Inferior	Terço Médio	Terço Superior	Topo
1	0,1	0,2	0,5	0,7	0,8	0,4
2	0,5	0,5	1	0,9	0,8	0,3
3	0,3	0,3	0,7	0,5	0,4	0,3
4	0	0,1	0,8	0,6	0,5	0,4
5	0	0,3	1	0,9	0,8	0,5
6	0	0,6	0,5	0,8	0,8	0,7
7	0,1	0,1	0,8	0,9	0,9	0,3
8	0,9	0,7	1	0,7	0,6	0,2
9	0	0,2	0,7	0,7	0,5	0,5
10	0	0,1	0,5	0,6	0,7	0,4

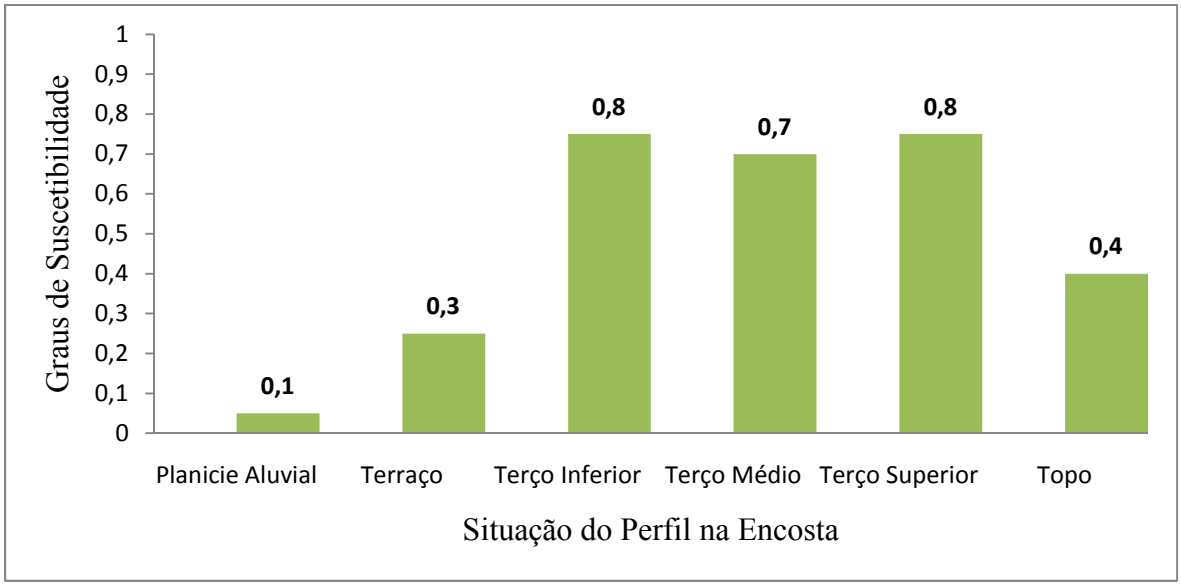


Figura 12: Gráfico de barras para as classes de Perfis na Encosta

A Figura 13 ilustra o ajuste da função de valor para esse critério. A observação da curva da Figura 13 mostra que a influência da declividade na suscetibilidade à erosão dos solos aumenta gradualmente do relevo plano para o relevo escarpado, atingindo o grau

máximo nessa última classe. É esperado que com o aumento da declividade se dê o aumento da suscetibilidade à erosão, uma vez que declividades elevadas contribuem positivamente para o deflúvio das águas superficiais, em detrimento da infiltração, aumentando o poder erosivo das enxurradas. De modo inverso, terrenos planos promovem a infiltração de água no solo, condicionando menores excedentes hídricos em superfície.

Tabela 29: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Declividade do Terreno

Especialistas/Classes	0-3% (Plano)	3-8% (Suave ondulado)	8-20% (Ondulado)	20-45% (Forte ondulado)	45-75% (Montanhoso)	>75% (Escarpado)
1	0,1	0,4	0,7	0,9	1	1
2	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
3	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1
4	0,1	0,3	0,6	0,8	1	1
5	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1
6	0,2	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9
7	0,2	0,4	0,7	0,9	0,9	0,9
8	0,1	0,3	0,8	0,9	1	1
9	0,1	0,4	0,8	1	1	1
10	0,1	0,3	0,6	0,8	0,9	1

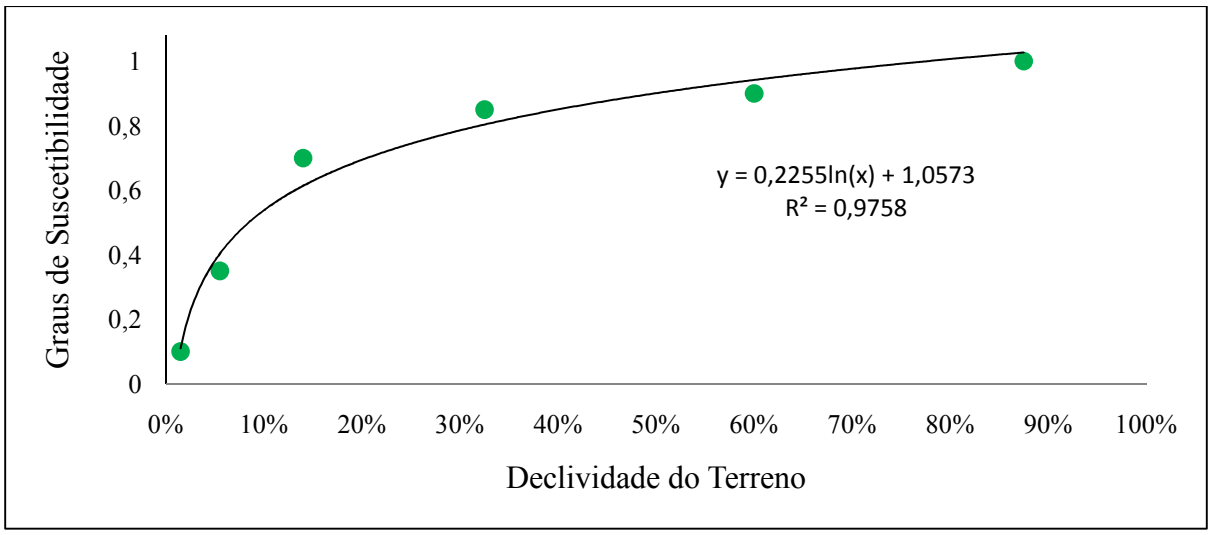


Figura 13: Função de valor ajustada para as classes de Declividade do Terreno

Tabela 30: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Drenagem do Solo

Especialistas/ Classes	Excessiva/e Drenado	Forte/e Drenado	Acentuada/e Drenado	Bem Drenado	Moderada/e Drenado	Imperfeita/e Drenado	Mal Drenado	Muito Mal Drenado
1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,6	0,5
2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	0,9
3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,3	0,1
5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	0	0
6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8
7	0	0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7	0,8
8	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	0,6	0,5
9	0	0	0,2	0,2	0,6	0,7	0,9	1
10	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	1

A Tabela 31 relaciona os valores padronizados das notas dos especialistas ao critério Presença de Camada de Impedimento no perfil, considerando-se apenas duas possibilidades: a presença ou a ausência. A Figura 15 ilustra o gráfico de barras para esse critério, cujo ponto máximo indica que a influência da presença de camada de impedimento no perfil atinge um valor alto, ao redor de 0,9. A diferença entre ausência e presença de camada de impedimento é de 0,8, indicando que o critério possui um papel importante na suscetibilidade à erosão.

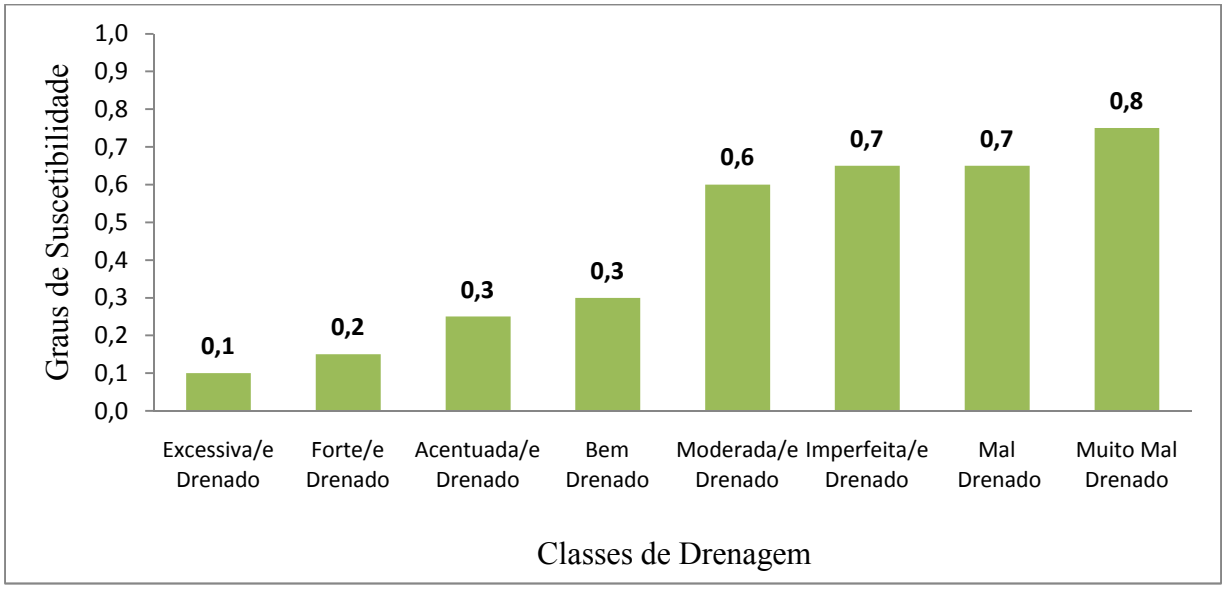


Figura 14: Gráfico de barras para as classes de Drenagem do Solo

Tabela 31: Valores padronizados das notas dos especialistas para a Ocorrência da Camada de Impedimento.

Especialistas/Níveis	Não	Sim
1	0,4	0,7
2	0	1
3	0,3	0,8
4	0,2	1
5	0	0,8
6	-	0,8
7	0	0,9
8	0,2	0,9
9	0	1
10	0,1	1

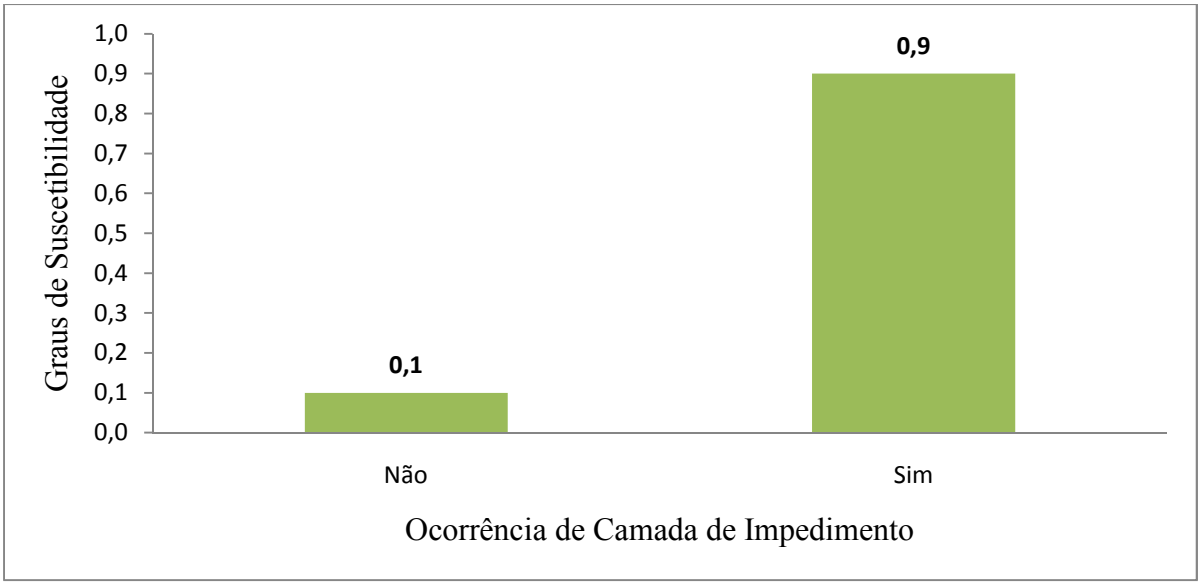


Figura 15: Gráfico de barras para a Ocorrência de Camada de Impedimento no perfil de solo

A Tabela 32 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério Mudança Textural Abrúpta e na Figura 16 o respectivo gráfico de barra para esse critério. Pode ser observado na Figura 16 que, de modo semelhante ao obtido para o critério Ocorrência de Camada de Impedimento, a Presença de Mudança Textural Abrupta no perfil é determinante de elevada suscetibilidade do solo à erosão. A diferença entre a ausência e a presença de mudança textural abrúpta no perfil, de 0,7 pontos na escala de suscetibilidade, é indicativa de que quando há ocorrência desse atributo, o solo é muito suscetível à erosão, de acordo com o método MAVT.

Tabela 32: Valores padronizados das notas dos especialistas para a Presença de Mudança Textural Abrupta

Especialistas/Classes	Não	Sim
1	0,4	0,8
2	0	1
3	0,3	0,8
4	0,3	0,8
5	0	1
6	-	0,7

7	0	0,9
8	0,2	0,7
9	-	1
10	0,1	1

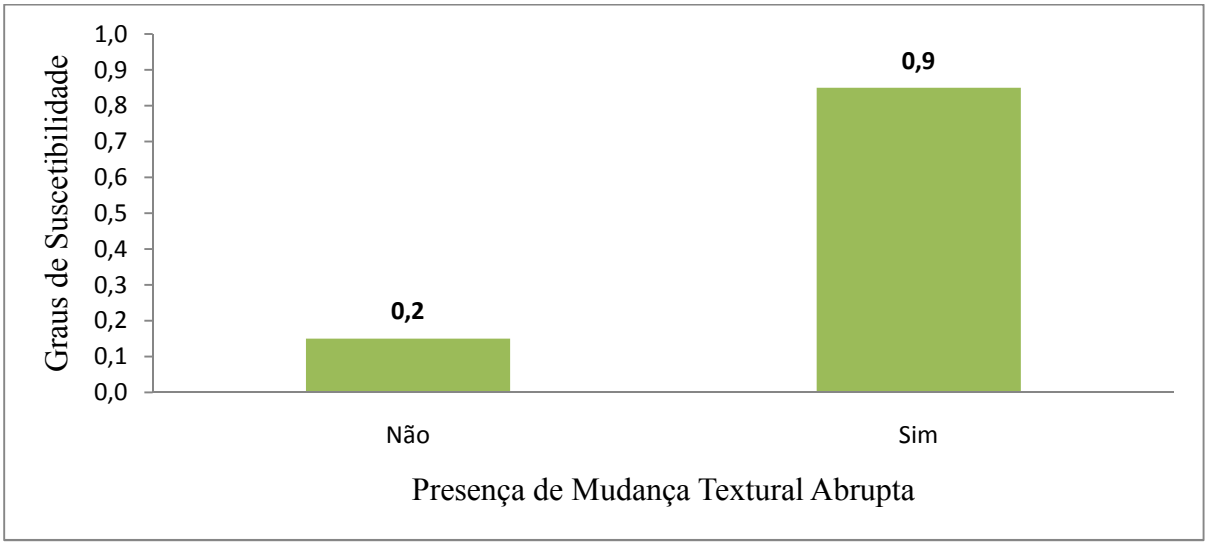


Figura 16: Gráfico de barras para o critério Presença de Mudança Textural Abrúpta no perfil de solo

A Tabela 33 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério Relação Textural B/A no perfil. Na sequência, a Figura 17 mostra o ajuste da função de valor para esse critério, sendo indicativa de que com o aumento da Relação Textural B/A, ou em outras palavras, aumentando a razão entre o teor de argila do horizonte B e o teor de argila do horizonte A ou E, maior é a suscetibilidade do solo à erosão.

Os resultados obtidos para os critérios presença de camada de impedimento no perfil, presença de mudaça textural abrúpta e de Relação Textural B/A no perfil são semelhantes no sentido de que na compreensão dos especialistas, os dois atributos quando presentes tornam o solo muito suscetível à erosão por reduzir a permeabilidade do solo, diminuindo a taxa de infiltração de água no perfil e promovendo o acúmulo de água em superfície e o consequente deflúvio ou escoamento superficial.

Tabela 33: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Relação Textural B/A passíveis de ocorrência nos perfis de solos

Especialistas/Classes	≤ 1,5	1,5-1,7	1,7-1,8	> 1,8
1	0,4	0,6	0,7	0,8
2	0,4	0,6	0,8	1
3	0,3	0,5	0,6	0,7
4	0,2	0,4	0,6	0,8
5	0,3	0,5	0,7	0,9
6	0,3	0,4	0,7	0,8
7	0,2	0,4	0,6	0,8
8	0,2	0,5	0,6	0,8
9	0,7	0,6	0,5	0,4
10	0,1	0,4	0,7	0,9

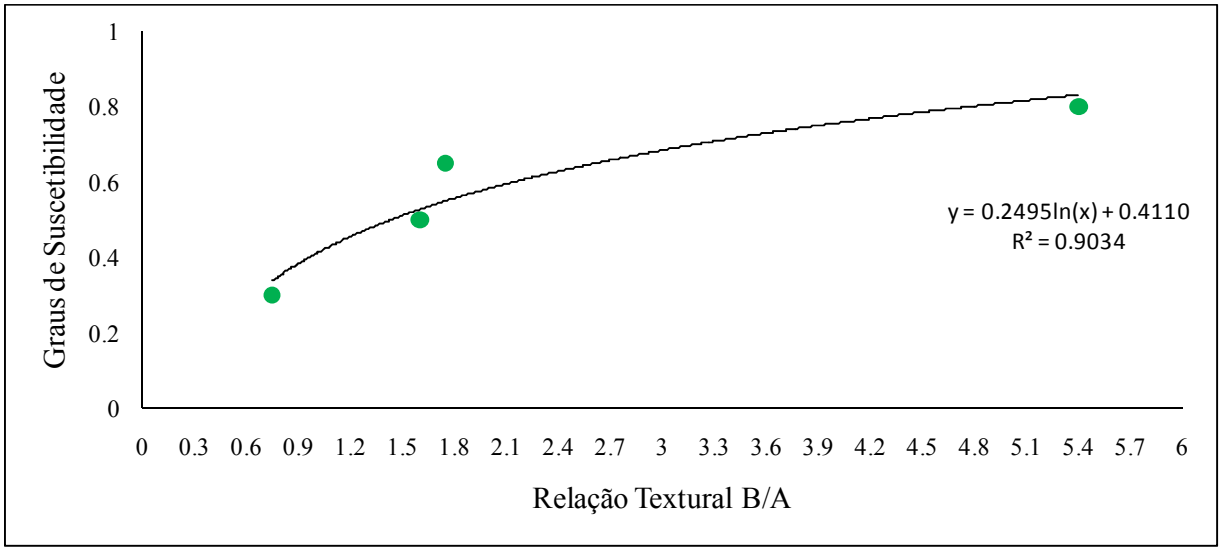


Figura 17: Função de valor ajustada para as classes de Relação Textural B/A no perfil do solo.

A Tabela 34 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para os diferentes tipos de horizonte diagnóstico de superfície.

Observa-se na Figura 18 que, na compreensão dos especialistas, os horizontes diagnósticos se caracterizam por serem orgânicos ou minerais com alto teor de matéria

orgânica, caso dos horizontes A Húmico, Hístico, A Proeminente e A Chernozêmico, são os que condicionam baixa suscetibilidade do solo à erosão, em virtude da matéria orgânica ser um importante agente cimentante do solo, favorecendo a agregação das partículas e estabilizando a estrutura do solo.

Tabela 34: Valores padronizados das notas dos especialistas para os diferentes Tipos de Horizonte Superficial.

Especialistas/Classes	A Húmico	Hístico	A Proeminente	A Chernozêmico	A Antrópico	A Moderado	A Fraco
1	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,7	0,8
2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7
3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7
4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,6	0,8	0,8
5	0,2	0	0,4	0,4	0,2	0,7	1
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	0,9
7	0,2	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1
8	0,1	0,4	0,3	0,5	0,2	0,7	0,8
9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	0,9
10	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6	0,7	0,9

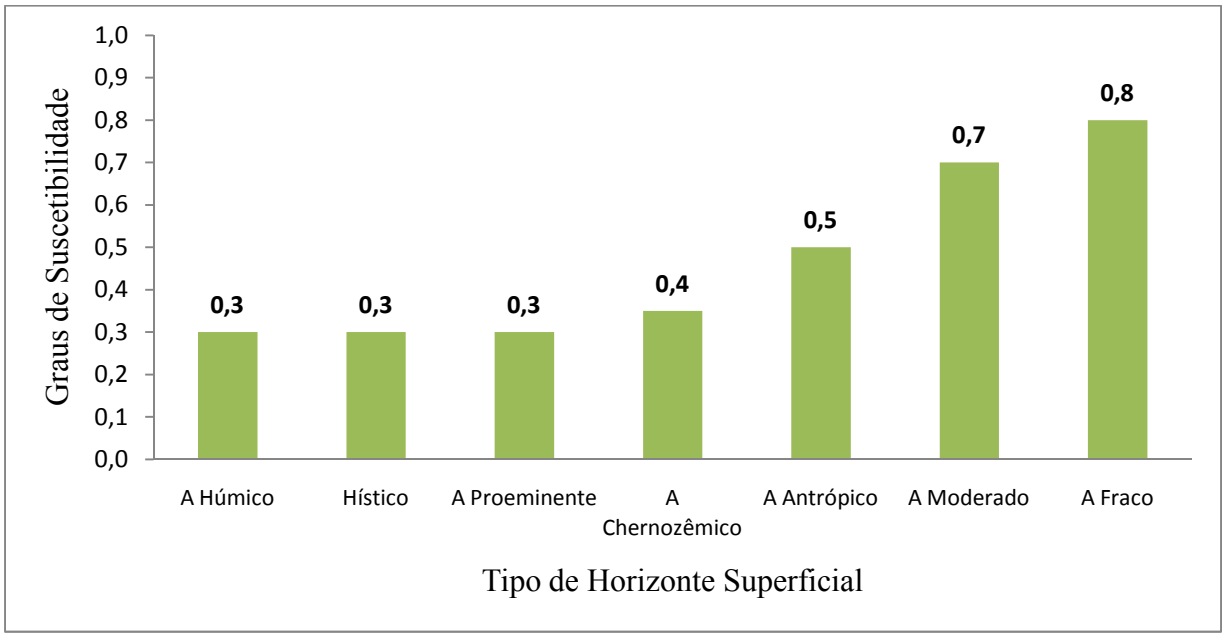


Figura 18: Gráfico de barras para os Tipos de Horizonte Superficial

A Tabela 35 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para os diferentes horizontes diagnósticos de subsuperfície e a Figura 19 mostra o gráfico de barras que descreve a classe de suscetibilidade do solo à erosão em função do tipo de horizonte diagnóstico de sub-superfície presente no perfil. Os resultados indicam que a presença de horizonte B latossólico, diagnóstico para a ordem dos LATOSSOLOS, condiciona a menor suscetibilidade à erosão, o que está coerente com o fato da estrutura desse horizonte ser muito estável devido a microagregação das partículas, determinando boa permeabilidade ao perfil desse tipo de solo. Além disso, a ausência de Relação Textural B/A no perfil também auxilia na boa permeabilidade, não raro condicionando classe de drenagem muito acentuada, mesmo em Latossolos de textura muito argilosa. O horizonte de sub-superfície classificado como condicionante da mais elevada suscetibilidade à erosão foi o duripã, o que também é bastante aceitável, uma vez que a estrutura desse horizonte é muito deficiente, extremamente adensada, condicionando muito baixa permeabilidade ao perfil. A presença de tal horizonte pode mesmo funcionar como uma camada de impedimento no solo, ficando mais crítica quanto mais próxima ocorrer da superfície. No entanto, a partir do horizonte "Orstein", a versão contínua e cimentada do horizonte B espódico, todos os demais são determinantes de impedimentos no perfil de solo em maior ou menor grau, principalmente em função da profundidade em que ocorrem.

Tabela 35: Valores padronizados das notas dos especialistas para os diferentes Tipos de Horizonte de Subsuperficie.

Especialistas/ Classes	B Latossólico	B Nítico	Glei	B Espódico	Sulfúrico	E Álbico	Cálcico	B Incipiente	Vértico	Orstein	Plíntico	B Plânico	Fragipã	B Textural	Petro-cálcico	Lito-plíntico	Duripã
1	0,3	0,4	0,3	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,5	0,8	0,6	0,8	0,6
2	0,1	0,2	0,8	0,1	0,8	1	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1	0,9	1	1	1
3	0,4	0,7	0,2	0,3	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8
4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,5	0,8	0,4	0,6	0,3	0,4	0,3	0,7	0,7	0,7	0,4	0,3	0,7
5	0,1	0,5	0	0,3	0	0,8	0,8	0,8	0	1	0,9	1	0,6	0,7	1	0,9	0,8
6	0,3	0	0	0	0	0	0	0,5	0,8	0	0,5	0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
7	0,1	0,3	0,6	0,3	0,4	0,2	0,6	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9
8	0,2	0,2	0,5	0,7	0,4	0,1	0,6	0,3	1	1	0,8	0,8	0,8	0,7	1	0,9	1
9	0,4	0,6	0,3	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8
10	0,2	0,1	0,7	0,7	0,5	0,2	0,6	0,7	0,7	1	0,8	1	0,8	0,8	0,7	0,9	0,9

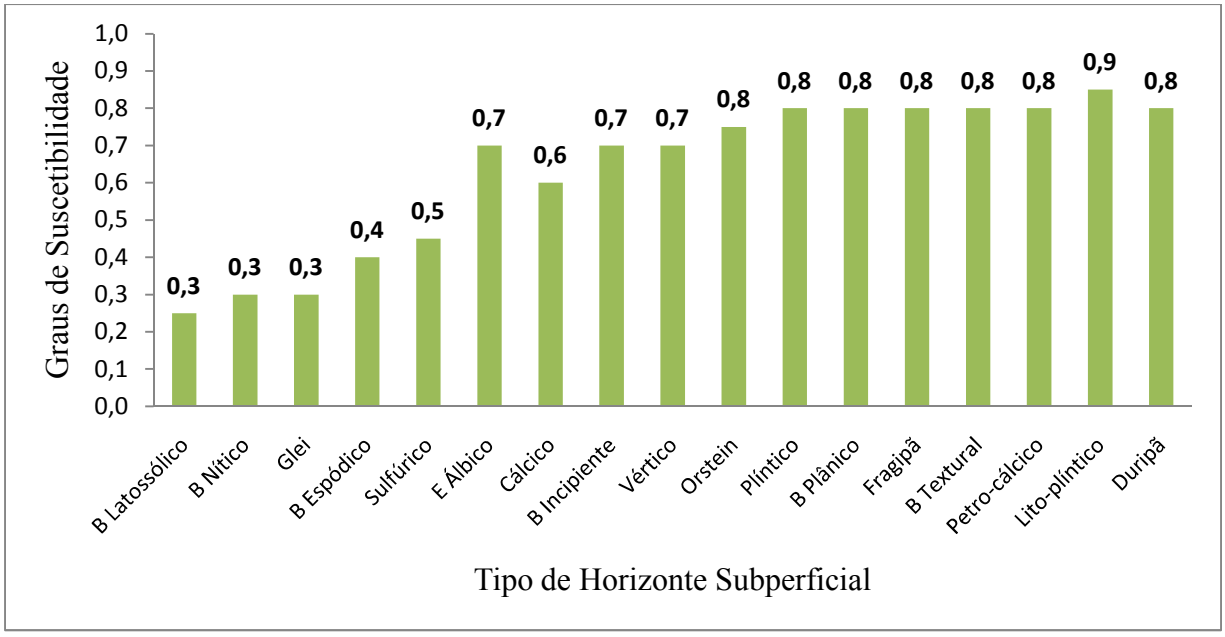


Figura 19: Gráfico de barras para os Tipos de Horizonte Subsuperficial.

A Tabela 36 mostra os valores padronizados das notas dos especialistas para os tipos de estrutura do horizonte superficial, compreendendo oito classes: grumosa, granular, blocos subangulares, blocos angulares, prismática, laminar, colunar, maciça e grãos simples. A Figura 20 ilustra o ajuste da função de valor para esse critério de avaliação da suscetibilidade à erosão

Os resultados da modelagem da opinião dos especialistas indicam que a presença no horizonte superficial de estrutura grumosa, um subtipo da estrutura esférica, condiciona cinco vezes menos suscetibilidade do solo à erosão do que a presença de estrutura maciça (ausência de agregados) ou em grãos simples. De fato, a estrutura esférica e seus subtipos, granular e grumosa, representam a classe de estrutura típica do horizonte superficial, em virtude de que o teor de matéria orgânica, um dos principais condicionantes de estrutura esférica, é maior no horizonte superficial. À exceção de estrutura em grãos simples, que é típica de solos arenosos e condicionada pelo material de origem, a presença dos outros tipos de estrutura em superfície no solo é indicativa de degradação da qualidade do mesmo, ou por efeito do uso e manejo antrópico incorretos ou por exposição do horizonte de sub-superfície, por erosão anterior, ambos fatores de risco e de maior suscetibilidade do solo à erosão.

Tabela 36: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Estrutura do Horizonte Superficial.

Especialistas/ Classes	Grumosa	Granular	Bloco Subangular	Bloco Angular	Prismática	Laminar	Colunar	Maciça ou Grão Simples
1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	1
2	0,3	0,2	0,4	0,6	0,9	0,8	0,8	1
3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,6	0,7	1
4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	0,6	1
5	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1
6	0,2	0,2	0,4	0,4	0,9	0,8	0,9	1
7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	0,6	1
8	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,6	0,8	1
9	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5	1
10	0,1	0,2	0,5	0,5	0,7	0,9	1	1

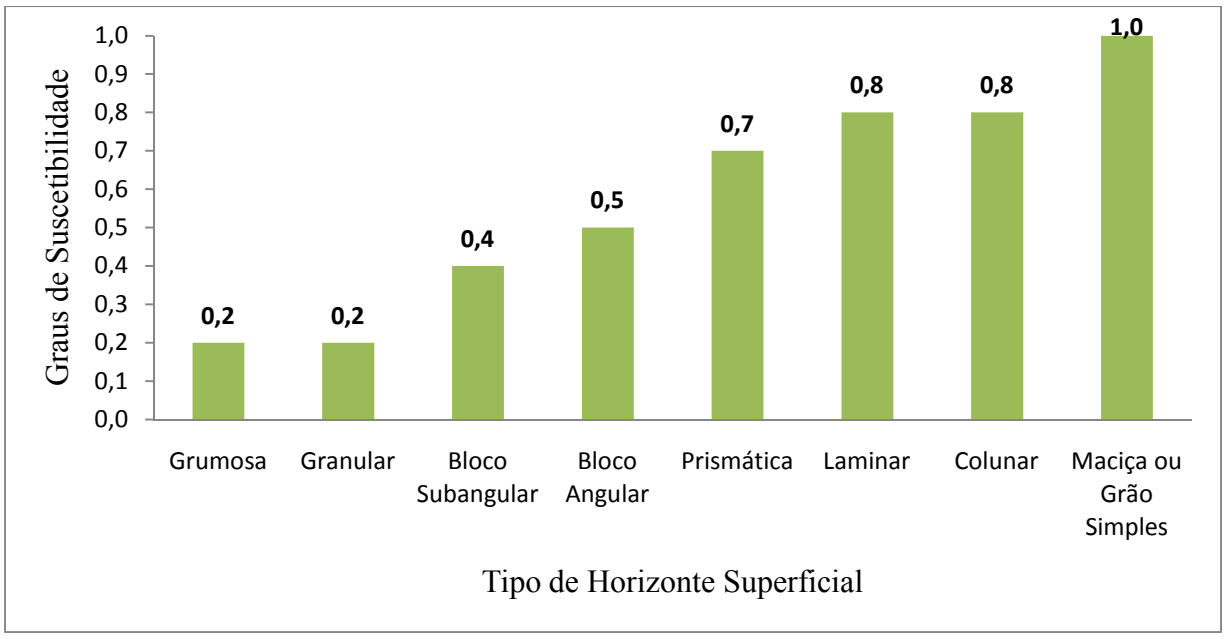


Figura 20: Gráfico de barras para as classes de Estrutura do Horizonte Superficial.

A Tabela 37 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para os diferentes tipos de estrutura do horizonte subsuperficial.

Tabela 37: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Estrutura do Horizonte Subsuperficial

Especialistas/ Classes	Granular	Grumosa	Bloco Subangular	Bloco Angular	Prismática	Laminar	Colunar	Maciça ou Grão Simples
1	0,3	0,3	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1
2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	0,8	0,8	1
3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,6	0,7	1
4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	0,6	1
5	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1
6	0,2	0,2	0,4	0,4	0,9	0,8	0,9	1
7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	0,6	1
8	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,6	0,8	1
9	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	1
10	0,2	0,1	0,5	0,5	0,7	0,9	1	1

A Figura 21 mostra o gráfico de barras para esse critério, guardando muita similaridade com o resultado obtido para o critério anterior. As estruturas típicas de horizonte de sub-superfície incluem a estrutura em blocos, a prismática e a colunar. Estrutura granular ocorre no horizonte subsuperficial dos LATOSSOLOS (B latossólico) e estrutura em grãos simples ocorre em subsuperfície nos solos arenosos, como no caso dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS. A estrutura laminar é característica do horizonte C, de transição para o R (rocha). Tal tipo de estrutura quando ocorre em subsuperfície no perfil é indicativa de compactação, reconhecidamente um fator de suscetibilidade à erosão, por diminuir a permeabilidade do perfil. Uma estrutura em blocos pode ser considerada menos suscetível do que a prismática ou colunar porque os blocos são agregados menores, condicionando maior fragmentação da estrutura e maiores possibilidades de caminhos preferenciais para a água. A estrutura colunar é indicativa de presença de sódio em excesso no perfil, o que condiciona degradação da qualidade estrutural porque o sódio é um íon dispersante, que estraga a estrutura e diminui muito a permeabilidade do perfil de solo.

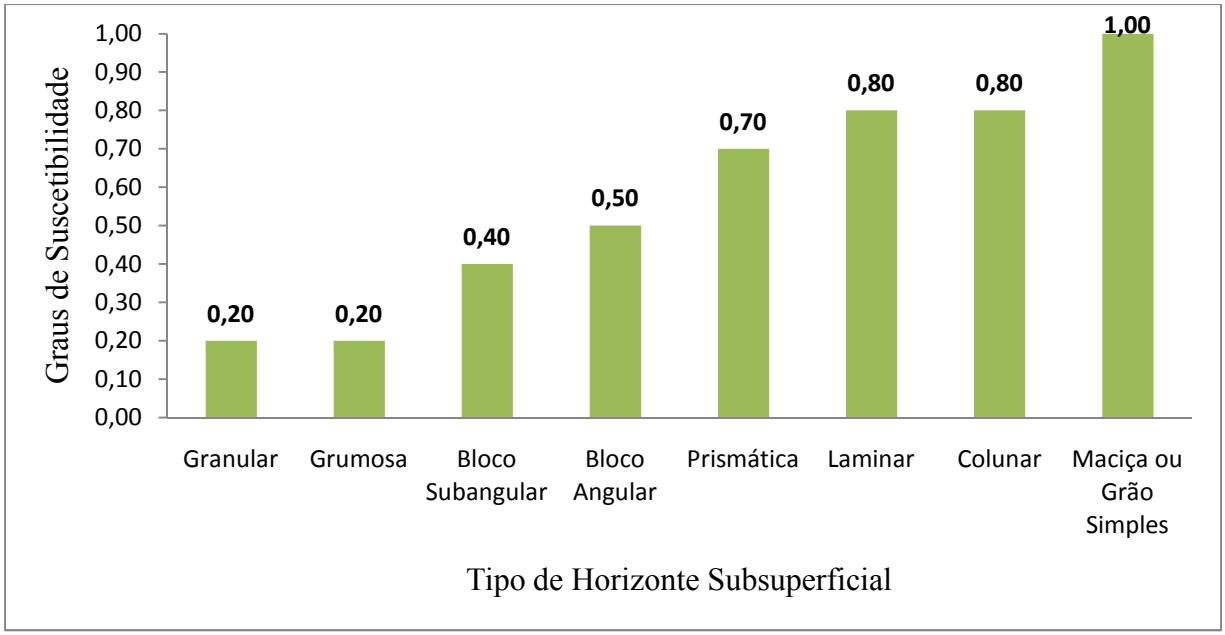


Figura 21: Gráfico de barras para as classes de Estrutura do Horizonte Subsuperficial

A Tabela 38 mostra os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério Textura do Horizonte Superficial e a Figura 22 ilustra o gráfico de barras desse critério quanto à escala de suscetibilidade à erosão. Os resultados mostram que a menor suscetibilidade está associada com a classe de textura média, pouco se diferenciando das classes de textura argilosa e muito argilosa, e a maior suscetibilidade se associa à classe textural siltosa, seguida da classe textural arenosa. É conhecido que o tamanho da partícula da fração silte condiciona elevada suscetibilidade à erosão por duas razões: a partícula é suficientemente grande para condicionar média atividade superficial (baixa coesão e adesão), o que promove fraca agregação, mas é pequena o suficiente para ser desagregada e transportada com facilidade. No caso da classe textural arenosa, é sabido que a falta de agentes cimentantes como argila e matéria orgânica condicionam baixa estabilidade de agregação, o que explica a estrutura em grãos simples comumente associada ao solo de textura arenosa. De maneira similar ao relatado para a classe textural do horizonte superficial, os resultados da Tabela 39 e Figura 23 mostram pequena influência da classe textural do horizonte subsuperficial na escala de suscetibilidade à erosão do solo. Assim como na curva da função de valor ajustada para Textura do Horizonte Superficial, para o critério Textura do Horizonte Subsuperficial, a variação entre o maior e menor valor foi pequena e da ordem de 0,2 (Figura 23). Os resultados da modelagem da preferência dos especialistas indicam que o tipo de estrutura ou de arranjo das partículas tem

maior influência na suscetibilidade à erosão do que propriamente a classe dominante de tamanho das partículas

Tabela 38: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Textura do Horizonte Superficial

Especialistas/Classes	Textura Média	Textura Argilosa	Textura Muito Argilosa	Textura Siltosa	Textura Arenosa
1	0,6	0,5	0,4	0,9	0,7
2	0,7	0,6	0,5	0,7	0,9
3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,5
4	0,6	0,3	0,2	0,5	0,9
5	0,5	0,3	0,2	0,7	0,8
6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9
7	0,3	0,6	0,6	0,6	0,3
8	0,2	0,7	0,9	0,6	0,1
9	0,7	0,5	0,4	0,7	0,8
10	0,3	0,7	0,8	0,9	0,5

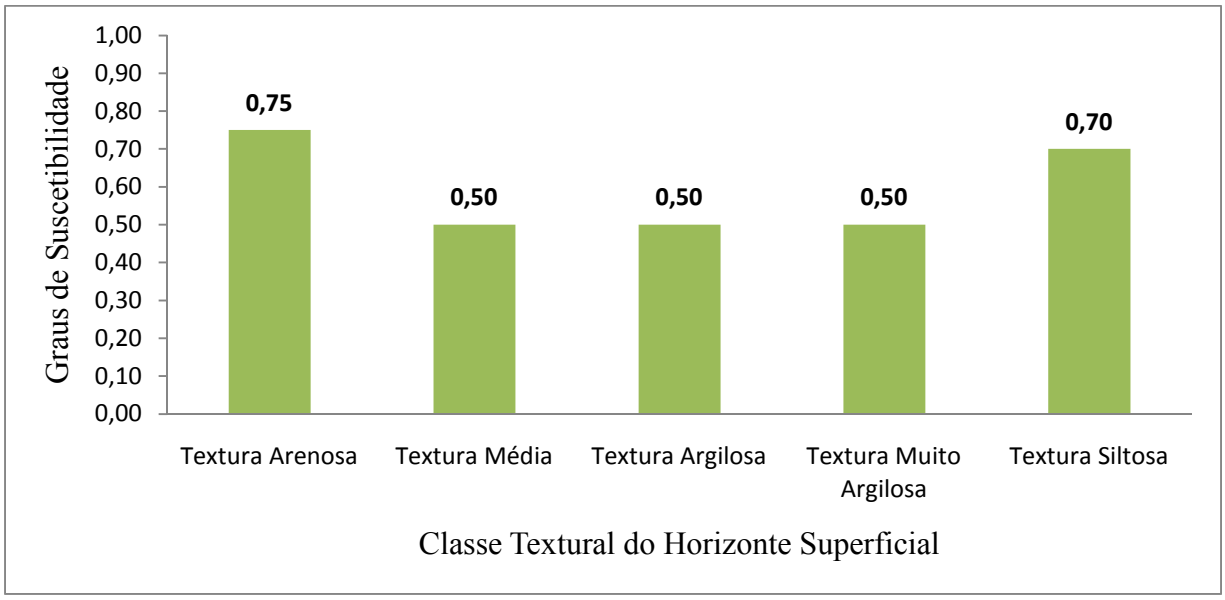


Figura 22: Gráfico de barras para as classes de Textura do Horizonte Superficial

Tabela 39: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Textura do Horizonte Subsuperficial.

Especialistas/Classes	Textura Média	Textura Argilosa	Textura Muito Argilosa	Textura Siltosa	Textura Arenosa
1	0,5	0,6	0,7	0,6	0,4
2	0,7	0,6	0,5	0,7	0,9
3	0,3	0,4	0,6	0,8	0,5
4	0,6	0,3	0,2	0,5	0,9
5	0,2	0,4	0,5	0,7	0
6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
7	0,4	0,6	0,7	0,5	0,2
8	0,2	0,7	0,9	0,6	0,1
9	0,7	0,6	0,5	0,7	0,9
10	0,3	0,7	0,8	0,9	0,5

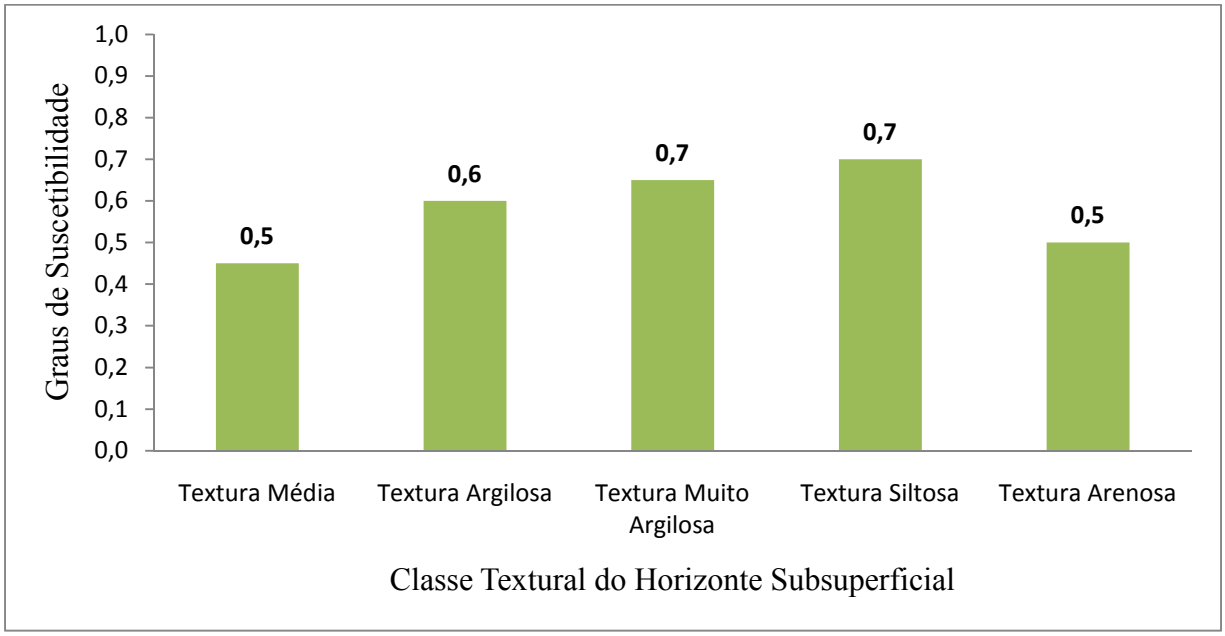


Figura 23: Gráfico de barras para as classes de Textura do Horizonte Subsuperficial.

A Tabela 40 relaciona os valores padronizados das notas dos especialistas com relação à influência da Espessura do Horizonte A na suscetibilidade e a Figura 24 mostra a respectiva

função de valor ajustada. A curva da Figura 24 mostra que a suscetibilidade diminui com o aumento da espessura, sendo que os solos com horizonte A mais espessos (>25cm) são 2 vezes menos suscetíveis à erosão em relação aos solos com horizonte A menos espessos (≤10cm). Tal resultado é coerente com o fato de que quanto mais espesso o horizonte superficial, mais profundo estará o contato com o horizonte subsuperficial, em geral menos permeável, ou com uma camada de impedimento, ou mesmo com a rocha.

Tabela 40: Notas dos especialistas para as diferentes classes de Espessura do Horizonte A

Especialistas/Classes	≤10cm	Entre 10 e 25 cm	>25cm
1	0,9	0,6	0,4
2	1	0,6	0,4
3	0,8	0,6	0,3
4	0,9	0,7	0,5
5	1	0,6	0,2
6	0,9	0,4	0,3
7	0,5	0,3	0,3
8	0,7	0,4	0,3
9	0,9	0,7	0,4
10	0,9	0,6	0,2

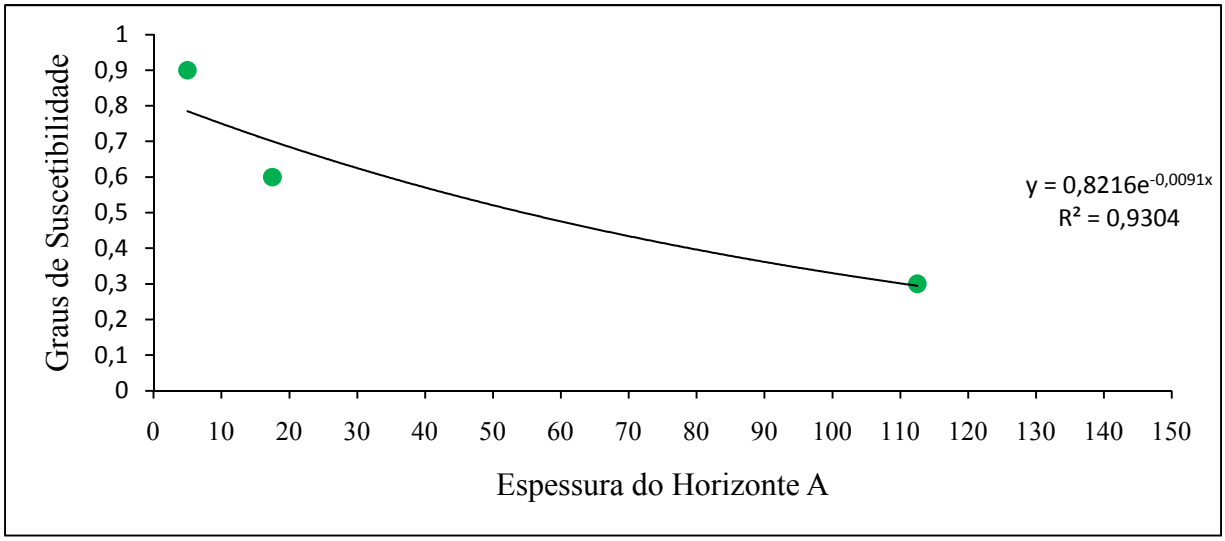


Figura 24: Função de valor ajustada para as classes de Espessura do Horizonte A.

A Tabela 41 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério atividade da argila, considerando duas possibilidades: atividade alta e atividade baixa. A Figura 25 mostra que a evolução da escala de suscetibilidade à erosão para a Atividade de Argila se dá com uma variação muito pequena entre as duas classes possibilidades, de apenas 0,2.

Tabela 41: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Atividade de Argila

Especialistas/Classes	Baixa (< 27cmol$_c$ kg^{-1})	Alta (≥ 27cmol$_c$ kg^{-1})
1	0,5	0,7
2	0,2	0,8
3	0,3	0,5
4	0,7	0,3
5	0,3	0,6
6	0,7	0,3
7	0,3	0,6
8	0,3	0,8
9	0,8	0,6
10	0,5	0,8

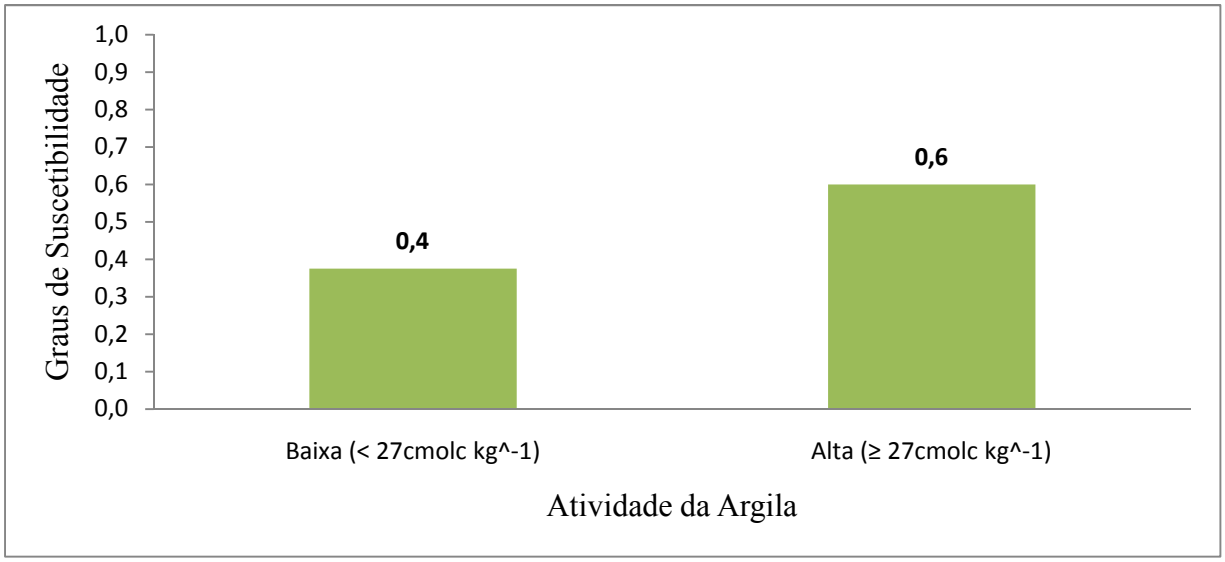


Figura 25: Gráfico de barras para as classes de Atividade de Argila.

A Tabela 42 mostra os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério Grau de Floculação da argila e a Figura 26 ilustra a respectiva função de valor ajustada. Na sequência, a Tabela 43 mostra os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério Teor de Argila Disperso em Água e, na Figura 27 se observa a respectiva função de valor ajustada. Como se esperava, os dois critérios, que estão relacionados com a estabilidade da estrutura e agregação do solo, possuem comportamento inverso na escala de suscetibilidade à erosão, isto é, quanto maior o grau de floculação menor a suscetibilidade e, inversamente, quanto maior o teor de argila dispersa em água, maior a suscetibilidade.

Tabela 42: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes do Grau de Floculação

Especialistas/Classes	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
1	0,8	0,7	0,5	0,4
2	0,9	0,7	0,3	0,1
3	0,7	0,6	0,4	0,2
4	0,3	0,5	0,7	0,9
5	0,9	0,7	0,4	0,1
6	0,9	0,7	0,3	0,1
7	0,7	0,6	0,4	0,1
8	0,8	0,6	0,3	0,1
9	0,9	0,8	0,5	0,3
10	1	0,7	0,5	0,1

O caso do teor de argila disperso em água, a Figura 27 mostra uma evolução linear da influência desse critério na suscetibilidade do solo à erosão, à medida que o teor de argila natural aumenta, sendo que teor superior a 500 g Kg-1 condiciona uma suscetibilidade 2,5 vezes superior àquela definida para teores de até 250 g kg-1 de argila dispersa em água.

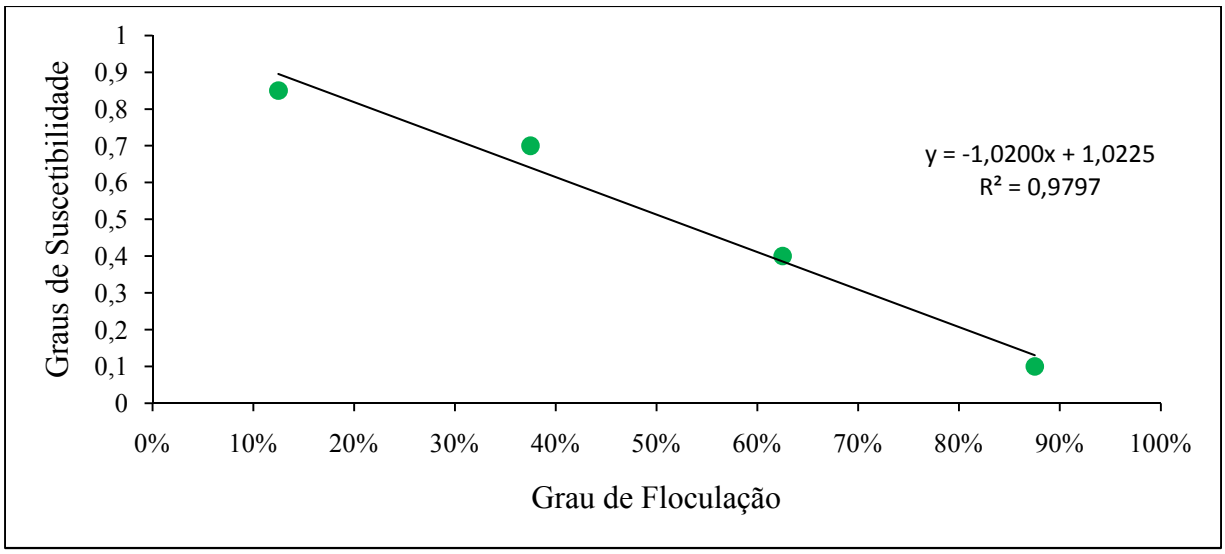


Figura 26: Função de valor ajustada para as classes do Grau de Floculação.

Tabela 43: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Teor de Argila Dispersa em Água

Especialistas/Classes	até 250 g kg (Baixo)	250 a 500 g kg^{-1} (Médio)	> 500 g Kg (Alto)
1	0,4	0,6	0,8
2	0,2	0,5	0,9
3	0,2	0,6	0,8
4	0,3	0,5	0,7
5	0,2	0,6	1
6	0,3	0,6	0,9
7	0,2	0,4	0,7
8	0,1	0,3	0,8
9	0,9	0,7	0,4
10	0,3	0,7	0,9

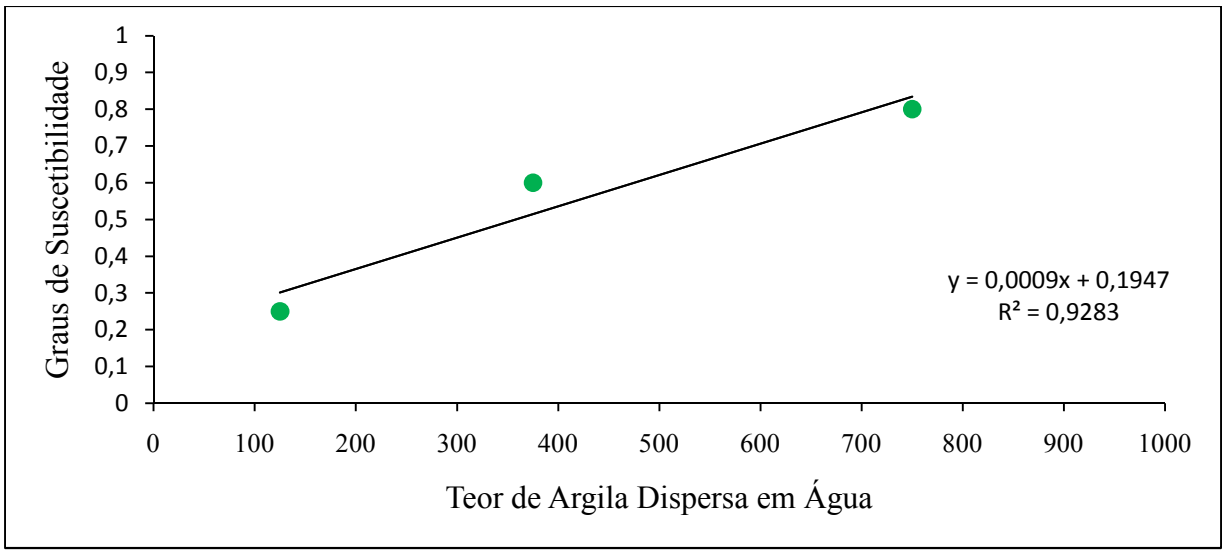


Figura 27: Função de valor ajustada para as classes de Teor de Argila Dispersa em Água.

O delta pH, ou diferença entre o valor do pH determinado em uma solução salina e o valor do pH determinado em água, foi apontado pelos especialistas como um atributo condicionante da suscetibilidade à erosão. No entanto, os valores padronizados das notas dos especialistas para esse critério (Tabela 44) e o posterior ajuste da função de valor (Figura 28) mostra pequena influência do mesmo na escala de suscetibilidade. Outra maneira de interpretar é que tal critério apresenta pequeno poder de distinção entre as diferentes classes de solos. Tal fato poderia ser esperado, uma vez que o delta pH não constitui critério diagnóstico entre classes de solos, mas apenas é empregado juntamente com outros critérios na diferenciação de LATOSSOLOS ácricos.

A Tabela 45 relaciona os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério Teor de Matéria Orgânica e a Figura 29 ilustra a respectiva função de valor.

Os resultados mostram uma grande influência do teor de matéria orgânica na escala de suscetibilidade, com queda linear do grau de suscetibilidade à erosão à medida que o teor aumenta, chegando a ser 3 vezes menor para alto teor (> 25 g dm^{-3}) em relação a baixo teor (< 15 g.dm^{-3}). A influência positiva da matéria orgânica já foi anteriormente comentada para o critério Tipo de Horizonte Superficial.

Tabela 44: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Delta pH

Especialistas/Classes	-1 a -0,5	-0,5 a 0,0	0,0 a 0,5	0,5 a 1,0
1	0,2	0,3	0,5	0,5
2	0,1	0,5	0,5	0,1
3	0,3	0,4	0,5	0,8
4	0,3	0,5	0,6	0,9
5	0,7	0,3	0	0
6	0	0	0	0
7	0,7	0,6	0,4	0,1
8	0,5	0	0	0,2
9	0	0	0	0
10	0,9	0,6	0,6	0,9

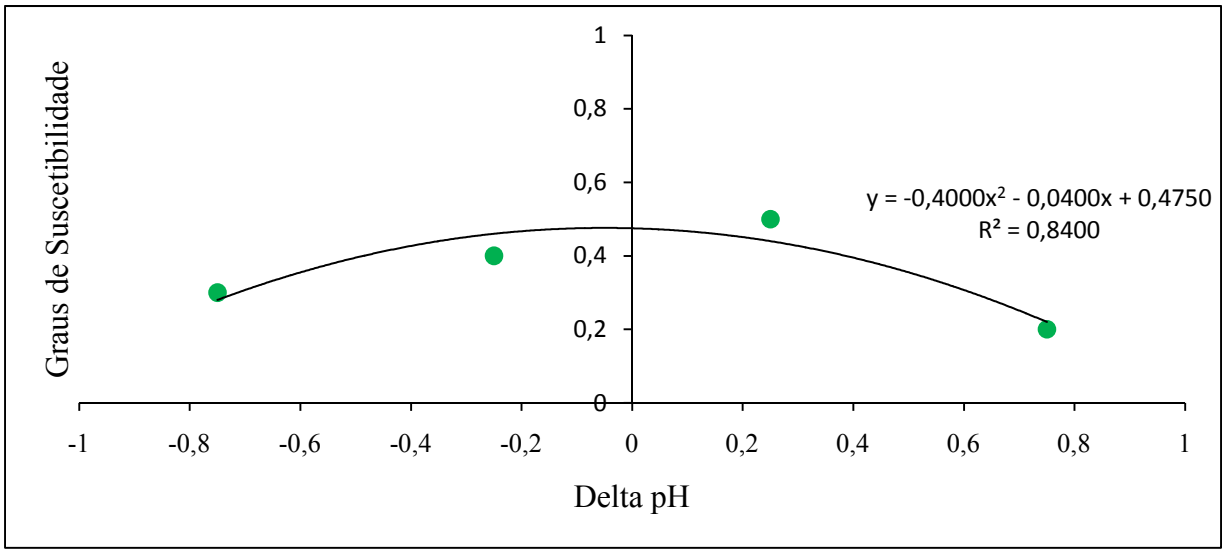


Figura 28: Função de valor ajustada para as classes de Delta pH.

A Tabela 46 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para os critérios Saturação por Bases. A Figura 30 mostra a reta ajustada da respectiva função de valor, podendo-se observar que de modo semelhante ao critério Delta pH, a saturação por bases pouco ajuda na distinção entre as classes de solos quanto à suscetibilidade à erosão.

Tabela 45: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Teor de Matéria Orgânica

Especialistas/Classes	Baixo (<15 g dm^{-3})	Médio (25-15 g dm^{-3})	Alto (>25 g dm^{-3})
1	0,8	0,5	0,3
2	0,7	0,3	0,1
3	0,5	0,3	0,2
4	0,8	0,5	0,2
5	0,8	0,5	0,2
6	0,9	0,6	0,2
7	0,7	0,6	0,5
8	0,7	0,4	0,2
9	0,8	0,7	0,4
10	0,8	0,4	0,2

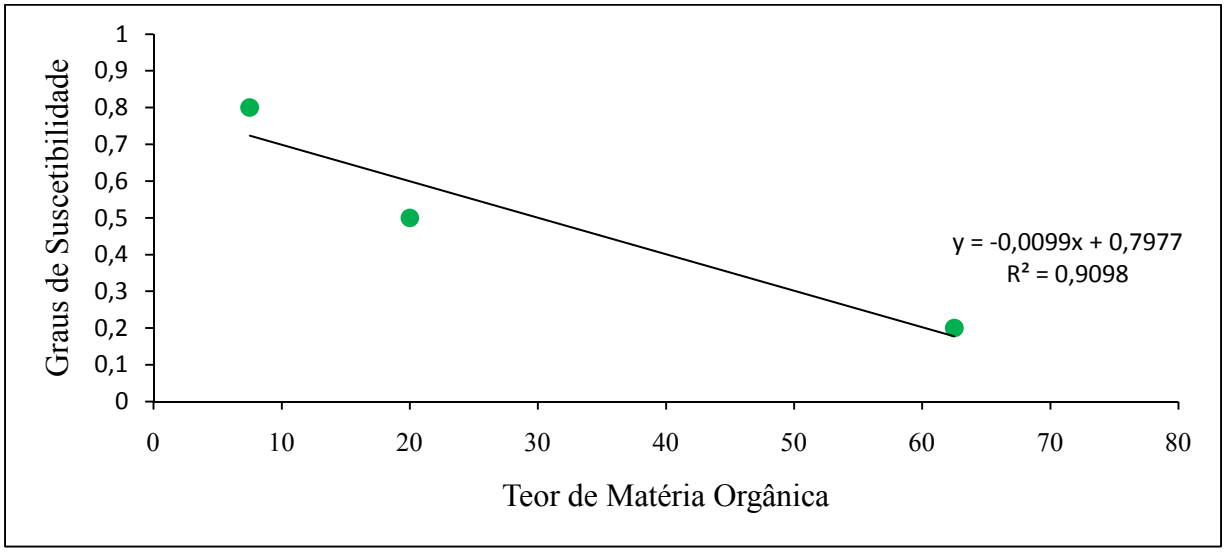


Figura 29: Função de valor ajustada para as classes de Teor de Matéria Orgânica.

A Tabela 47 ilustra os valores padronizados das notas dos especialistas para o critério Densidade do Solo e a Figura 31 mostra a respectiva função de valor ajustada aos dados. Observa-se na Figura 31 uma evolução linear do grau de suscetibilidade à erosão em função do aumento da Densidade do Solo, com uma diferença na escala de suscetibilidade 5 vezes

maior entre o menor valor de densidade (<1000 kg m-3) e o maior valor (>1800 kg m-3). O aumento da densidade é crítico porque condiciona queda na permeabilidade do solo e diminuição da taxa de infiltração de água no solo.

Tabela 46: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Saturação por Bases.

Especialistas/Classes	Hipodistrófico (< 35%)	Mesodistrófico (≥35% e < 50%)	Mesoeutrófico (≥50% e <75%)	Hiper-eutrófico (≥ 75%)
1	0,7	0,6	0,5	0,4
2	0,1	0,2	0,3	0,4
3	0,6	0,5	0,5	0,6
4	0,8	0,6	0,4	0,2
5	0,8	0,6	0,4	0,2
6	0	0	0	0
7	0,6	0,5	0,3	0,3
8	0,5	0	0	0,5
9	0,8	0,8	0,4	0,3
10	0,5	0,6	0,7	0,8

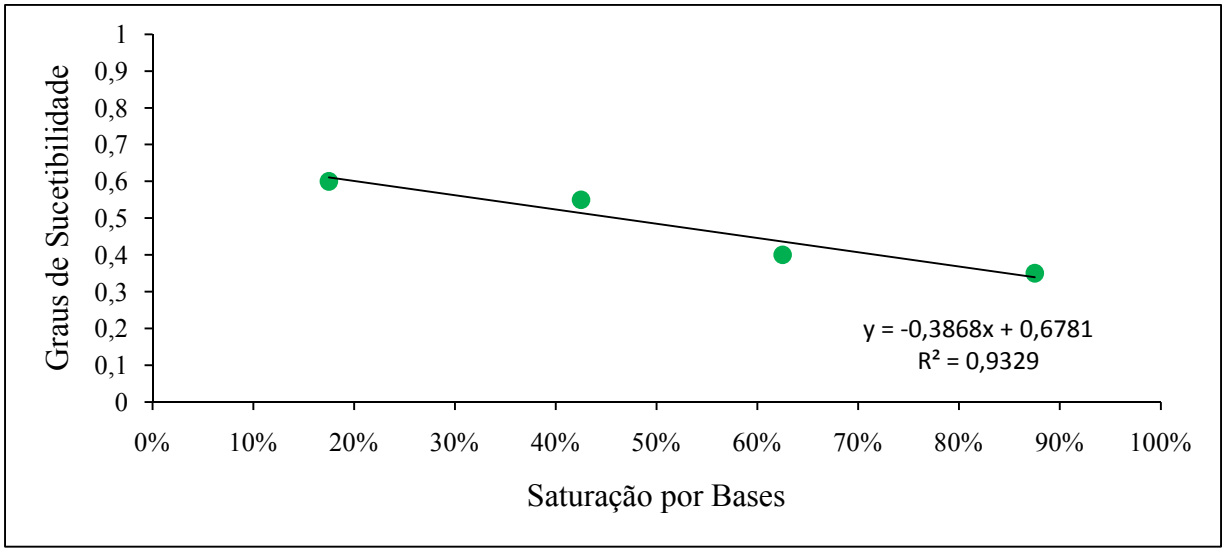


Figura 30: Função de valor ajustada para as classes de Saturação por Bases.

Tabela 47: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Densidade do Solo.

Especialistas/Classes	<1000	1000-1250	1250-1400	1400-1800	>1800
1	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
2	0	0,1	0,3	0,5	0,9
3	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8
4	0,2	0,4	0,5	0,8	1
5	0,1	0,3	0,5	0,7	1
6	0,2	0,3	0,7	0,8	0,9
7	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8
8	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8
9	0,3	0,3	0,7	0,9	1
10	0,1	0,3	0,5	0,8	1

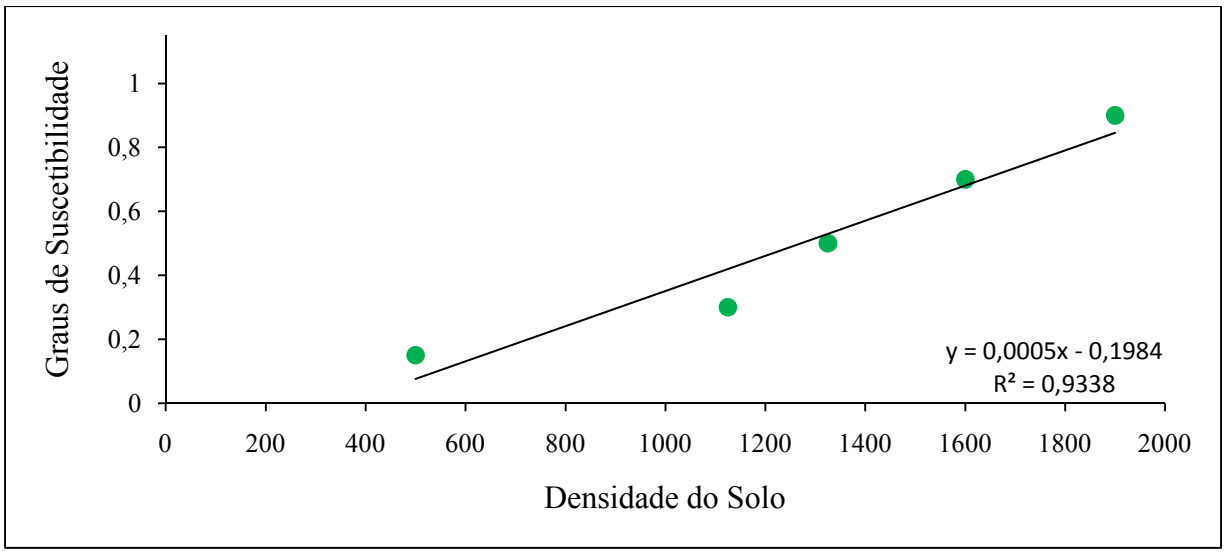


Figura 31: Função de valor ajustada para as classes de Densidade do Solo.

A Tabela 48 mostra os valores padronizados das notas dos especialistas para diferentes classes de Teor de Óxido de Ferro e a Figura 32 ilustra a respectiva função de valor ajustada aos dados.

A Figura 32 ilustra uma queda linear e grande influência na suscetibilidade à erosão do Teor de Óxido de Ferro presente no solo, com a diferença entre classes podendo ser de até cinco vezes mais suscetível com a diminuição do teor. A grande influência desse critério se deve a seu papel de agente cimentante de maneira similar à matéria orgânica, condicionando alta estabilidade de agregados e resistência à desagregação.

Tabela 48: Valores padronizados das notas dos especialistas para as diferentes classes de Teor de Óxido de Ferro.

Especialistas/Classes	Hipoférrico (< 80 g.Kg^-1)	Mesoférrico (>= 80 e < 180)	Férrico (>=180 e < 360)	Perférrico (>=360)
1	0,8	0,6	0,4	0,2
2	0,7	0,5	0,3	0,1
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-

A Tabela 49 sumariza as funções de valores ajustadas, bem como o seu contorno (valores mínimos e máximos que auxiliaram no ajuste), aplicação (valores mínimos e máximos recomendados para se aplicar a função de valor) e a restrição (valores extremos ao modelo, cuja recomendação se dá de acordo com a tendência da função) para os 11 critérios quantitativos a partir da padronização das notas dos especialistas.

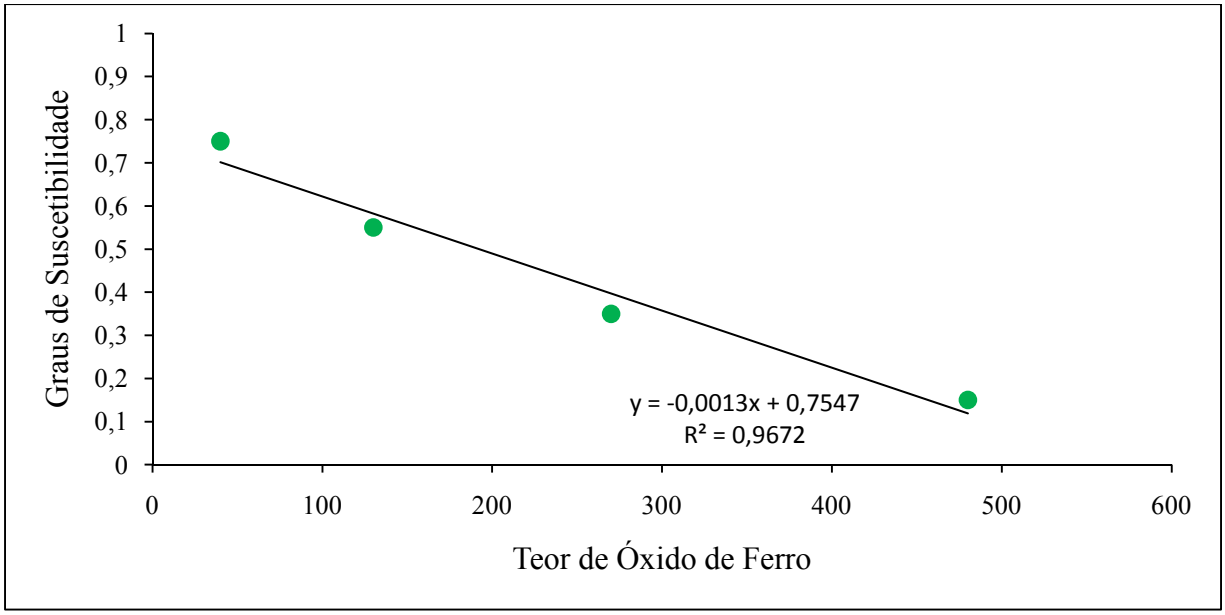


Figura 32: Função de valor ajustada para as classes de Teor de Óxido de Ferro.

Tabela 49: Sumário com as funções de valores para os 11 critérios quantitativos.

Critérios	Função de Valor	R^2	Contorno	Aplicação	Restrição
Espessura do solum (cm)	$y = 0,9239e^{-0,006x}$	0,92	0 a 400	O modelo é válido para toda faixa de variação da espessura do *solum*	-
Declividade do terreno	y = 0,2255ln(x) + 1,0573	0,98	1,5% a 87,5%	1% a 77%	abaixo de 1% = 0; acima de 78% = 1
Relação Textural B/A	y = 0,2495ln(x) + 0,411	0,9	0 a 9	0,2 a 10,5	abaixo de 0,2 = 0; acima de 10,5 = 1
Densidade do solo	y = 0,0005x - 0,1984	0,93	500 a 1.900	400 a 2.400	Abaixo de 400 = 0; acima de 2.400 = 1

Teor de matéria orgânica ($g\ dm^{-3}$)	$y = -0,0099x + 0,7977$	0,91	7,5 a 100	0 a 100	Acima de 80 = 0
Espessura do horizonte A (cm)	$y = 0,8216e^{-0,0091x}$	0,93	5 a 200	O modelo é válido para toda faixa de variação da espessura do Horizonte A	-
Grau de floculação	$y = -1,02x + 1,0225$	0,98	12,5% a 87,5%	0% a 100%	-
Teor de argila dispersa em água ($g\ kg^{-1}$)	$y = 0,0009x + 0,1947$	0,93	125 a 1.000	0 a 1.000	Acima de 900 = 1
Teor de óxidos de ferro ($g\ Kg^{-1}$)	$y = -0,0013x + 0,7547$	0,97	40 a 600	0 a 580	Acima de 580 = 0
Delta pH	$y = -0,4x^2 - 0,04x + 0,475$	0,84	-0,75 a 0,75	-1 a 1	-
Saturação por bases	$y = - 0,3868x + 0,6781$	0,93	17,5% a 87,5%	0% a 100%	-

Tabela 50: Sumário com os valores referentes a cada classe para os 11 critérios qualitativos.

Critérios	Classes	Valores
Situação do Perfil na Encosta	Planície Aluvial	0,05
	Terraço	0,25
	Terço Inferior	0,75
	Terço Médio	0,7
	Terço Superior	0,75
	Topo	0,4
Classes de Drenagens	Excessivamente Drenado	0,1
	Fortemente Drenado	0,15
	Acentuadamente Drenado	0,25
	Bem Drenado	0,3
	Moderadamente Drenado	0,6
	Imperfeitamente Drenado	0,65
	Mal Drenado	0,65

	Muito Mal Drenado	0,75
Ocorrência de Camada de Impedimento	Não	0,1
	Sim	0,9
Presença de Mudança Textural Abrupta	Não	0,15
	Sim	0,85
Tipo de Horizonte Superficial	A Húmico	0,3
	Hístico	0,3
	A Proeminente	0,3
	A Chernozêmico	0,35
	A Antrópico	0,5
	A Moderado	0,7
	A Fraco	0,8
Tipo de Horizonte Superficial	B Latossólico	0,25
	B Nítico	0,3
	Glei	0,3
	B Espódico	0,4
	Sulfúrico	0,45
	E Álbico	0,7
	Cálcico	0,6
	B Incipiente	0,7
	Vértico	0,7
	Orstein	0,75
	Plíntico	0,8
	B Plânico	0,8
	Fragipã	0,8
	B Textural	0,8
	Petro-cálcico	0,8
	Lito-plíntico	0,85
	Duripã	0,8
Estrutura do Horizonte Superficial	Grumosa	0,2
	Granular	0,2

	Bloco Subangular	0,4
	Bloco Angular	0,5
	Prismática	0,7
	Laminar	0,8
	Colunar	0,8
	Maciça ou Grão Simples	1
Estrutura do Horizonte Subsuperficial	Grumosa	0,2
	Granular	0,2
	Bloco Subangular	0,4
	Bloco Angular	0,5
	Prismática	0,7
	Laminar	0,8
	Colunar	0,8
	Maciça ou Grão Simples	1
Classe Textural do Horizonte Superficial	Textura Arenosa	0,75
	Textura Média	0,5
	Textura Argilosa	0,5
	Textura Muito Argilosa	0,5
	Textura Siltosa	0,7
Classe Textural do Horizonte Subsuperficial	Textura Arenosa	0,45
	Textura Média	0,6
	Textura Argilosa	0,65
	Textura Muito Argilosa	0,7
	Textura Siltosa	0,5
Atividade da Argila	Baixa (< 27 $cmol_c$ kg^{-1})	Baixa (≥ 27 $cmol_c$ kg^{-1})

4.2.7. Aplicação das Funções de Valor

As funções de valor e a atribuição das medianas para as classes de cada critério qualitativo foram aplicados aos dados de 22 perfis de solos do Estado de São Paulo e de Pernambuco. A Tabela 51 mostra os valores obtidos após a aplicação das funções de valor.

Tabela 51: Valores obtidos pela aplicação das funções de valor aos valores codificados anteriormente para os 22 perfis de solos.

Critérios	Pesos[1]	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
Classe de drenagem do solo	5,77	0,10	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,65	0,65	0,75	0,30	0,30	0,30	0,60	0,65	0,10	0,30	0,30	0,75	0,65	0,65	0,65	0,65
Classe textural do horizonte subsuperficial	7,53	0,45	0,60	0,60	0,45	0,45	0,60	0,50	0,45	0,60	0,60	0,65	0,60	0,45	-	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,65	0,65
Classe textural do horizonte superficial	6,84	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75	0,50	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75	0,50	0,50
Declividade do terreno	8,97	0,38	0,63	0,63	0,90	0,42	0,91	0,11	0,11	0,11	0,33	0,46	0,38	0,63	0,49	0,27	0,33	0,54	0,11	0,18	0,61	0,07	0,11
Delta pH	3,58	0,12	0,26	0,19	0,40	0,19	0,00	0,19	-	0,40	0,12	0,31	0,43	0,04	0,26	0,31	0,19	0,12	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
Densidade do solo	7,34	0,55	0,49	0,39	0,22	0,50	-	0,39	0,30	0,12	0,30	0,35	0,50	0,52	0,53	0,54	0,34	0,45	0,00	0,46	-	0,53	0,34
Espessura do horizonte A (cm)	6,17	0,69	0,75	0,76	0,71	0,72	0,72	0,75	0,63	0,72	0,81	0,66	0,66	0,72	0,69	0,63	0,72	0,69	0,75	0,67	0,75	0,72	0,72
Espessura do solum (cm)	6,70	0,41	0,49	0,44	0,31	0,56	0,46	0,52	0,45	0,30	0,21	0,45	0,28	0,28	0,82	0,28	0,21	0,46	0,41	0,40	0,80	0,38	0,36
Estrutura do horizonte subsuperficial	6,23	0,40	0,40	0,40	0,70	0,40	0,70	0,20	1,00	1,00	0,40	0,40	0,20	0,40	-	0,40	0,40	0,40	0,20	0,70	1,00	0,80	0,70
Estrutura do horizonte superficial	6,28	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	0,40	0,20
Relação Textural B/A	8,30	0,95	0,62	0,54	0,48	0,45	0,45	0,52	0,45	0,30	0,46	0,45	0,45	0,82	-	0,48	0,50	0,52	0,42	0,58	0,73	0,44	0,46
Grau de floculação	6,55	0,34	0,88	0,51	0,07	-	0,81	0,00	0,00	0,19	0,00	0,10	0,63	0,00	0,47	0,69	0,76	0,75	0,00	0,55	0,00	0,80	0,76
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	8,43	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,90	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,90	0,90	0,90
Presença de mudança textural abrúpta	8,57	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,85	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,85	0,85	0,85
Saturação por bases	4,43	0,58	0,55	0,46	0,67	0,38	0,34	0,59	0,38	0,65	0,57	0,53	0,29	0,43	0,22	0,65	0,54	0,61	0,54	0,55	0,53	0,25	0,33
Situação do perfil na encosta	8,34	0,75	0,75	0,75	0,70	-	0,75	0,25	0,05	0,05	0,70	0,75	0,75	0,75	0,70	0,40	0,70	0,75	0,05	0,05	0,40	0,05	0,05
Teor de argila dispersa em água (g kg-1)	7,56	0,20	0,30	0,33	0,20	-	0,50	0,19	0,19	0,31	0,19	0,24	0,43	0,19	0,35	0,23	0,43	0,34	0,19	0,31	0,19	0,62	0,57
Teor de matéria organic	4,09	0,75	0,62	0,34	0,00	0,57	0,43	0,25	0,00	0,07	0,00	0,65	0,37	0,72	0,51	0,73	0,42	0,55	0,00	0,60	0,70	0,77	0,76
Teor de óxidos de ferro e alumínio (g kg-1)	5,34	0,75	0,71	0,69	0,67	0,73	0,48	0,75	-	0,73	0,72	0,43	0,71	0,74	0,71	0,75	0,65	0,73	-	0,71	0,51	0,75	0,75
Tipo de horizonte subsuperficial	5,71	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,80	0,40	0,30	0,30	0,25	0,25	0,25	0,80	-	-	0,30	0,30	-	0,80	0,85	-	-
Tipo de horizonte superficial	5,74	0,70	0,70	0,70	0,30	0,70	0,35	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,35	0,80	0,70	0,70	0,30	0,30	0,70	0,70	0,70
Tipo e atividade da argila	5,52	0,38	0,38	0,38	0,60	0,38	0,38	0,60	0,60	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,60	0,60

[1]Média geométrica extraída da Tabela 4. Sendo: P1: ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média; P2: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; P3: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa; P4: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico; P5: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média; P6: CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa; P7: ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico; P8: GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico; P9: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática; P10: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa; P11: LATOSSOLO VERMELHO Aciférrico típico; P12: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa; P13: LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média; P14: NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico; P15: NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco; P16: NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa; P17: NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; P18: ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico; P19: PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa; P20: PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta; P21: Vertissolo Cromado Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa; P22: Vertissolo Cromado Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa.

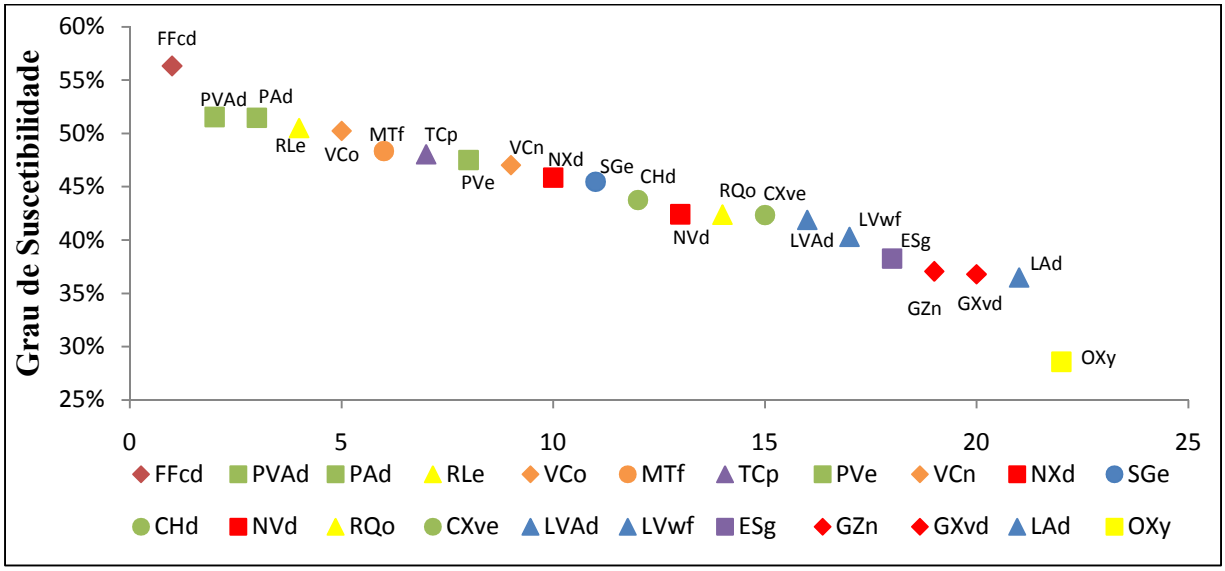
A Tabela 52 ilustra a classificação dos perfis de solos de acordo com os graus de suscetibilidade á erosão pelo método indicativo. Os resultados revelam que em uma escala de 0 a 100% de suscetibilidade os solos avaliados se enquadram no intervalo com I_{es} = 28,6% (menos suscetível) e I_{es}= 56,3% (mais suscetível) representados respectivamente pelos solos ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico e pelo PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta.

Tabela 52: Classificação dos perfis de solos de acordo com os graus de suscetibilidade à erosão após a aplicação da função agregativa.

PERFIS DE SOLOS	SÍMBOLO	I_{es} (Índice de Suscetibilidade à Erosão)
PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta	FFcd	56,3%
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVAd	51,5%
ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média	PAd	51,5%
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico	RLe	50,5%
VERTISSOLO CROMADO Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa	VCo	50,2%
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa	MTf	48,3%
VERTISSOLO CROMADO Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa	VCn	48,1%
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVe	47,5%
LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média	TCp	47,0%
NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	NXd	45,9%
PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa	SGe	45,5%
CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico	CHd	43,7%
NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa	NVd	42,4%
NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco	RQo	42,4%
CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média	CXve	42,3%
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa	LVAd	41,9%
LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico	LVwf	40,3%
ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico	ESg	38,3%

GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico	GZn	37,1%
GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática	GXvd	36,8%
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa	LAd	36,5%
ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico	OXy	28,6%

Os resultados da Tabela 52 foram dispostos graficamente conforme a Figura 33, que mostra graficamente a posição dos diferentes tipos de solos em uma escala de suscetibilidade à erosão.



Sendo: FFcd: PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta; PVAd: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; PAd: ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média; RLe: NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico; VCo: VERTISSOLO CROMADO Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa; MTf: CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa; TCp: LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média; PVe: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa; VCn: VERTISSOLO CROMADO Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa; NXd: NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; SGe:PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa; CHd: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico; NVd: NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa; RQo:NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco; CXve: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média; LVAd: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico; ESg: ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico; GZn: GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico; GXvd: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática; LAd: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa; OXy: ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico.

Figura 33: Grau de suscetibilidade à Erosão dos tipos de solos.

Com base nos quartis dos Índices de Suscetibilidade, resultados da Tabela 52 e na disposição dos solos na Figura 33, fez-se a reclassificação dos perfis de solos em três grupos de suscetibilidade: ALTA, compreendendo um I_{es} acima dos 48,2%; MÉDIA, com I_{es} entre

40% e 48,2%; e, BAIXA, com I_{es} abaixo dos 40%. A Tabela 53 mostra os resultados dessa reclassificação.

Na classe de ALTA suscetibilidade se enquadraram 6 solos distintos representantes das ordens dos PLINTOSSOLOS, NEOSSOLOS, VERTISSOLOS, ARGISSOLOS e CHERNOSSOLO; na classe MÉDIA houve a maior concentração, com 11 tipos de solos; na classe BAIXA se enquadraram 5 solos distintos representantes das classes dos LATOSSOLOS, GLEISSOLOS, ESPODOSSOLOS e ORGANOSSOLOS. O que explica a inclusão de uma mesma ordem em duas categorias é o conjunto dos atributos do perfil do solo em questão. Por exemplo, a ordem dos ARGISSOLOS foi enquadrada nas categorias ALTA e MÉDIA. Observando os dados dos tipos de solos em cada caso (Tabela 1), observa-se que os perfis enquadrados na categoria ALTA suscetibilidade possuem caráter arênico e abrúptico, Relação Textural B/A elevado e menores teores de matéria orgânica quando comparados aos atributos do perfil enquadrado na categoria de MÉDIA suscetibilidade.

Tabela 53: Grupos de suscetibilidade após a aplicação da função agregativa.

PERFIS DE SOLOS	SÍMBOLO	CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE
PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta	FFcd	ALTA
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVAd	ALTA
ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média	PAd	ALTA
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico	RLe	ALTA
VERTISSOLO CROMADO Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa	VCo	ALTA
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa	MTf	ALTA
VERTISSOLO CROMADO Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa	VCn	MÉDIA
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVe	MÉDIA
LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média	TCp	MÉDIA
NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	NXd	MÉDIA
PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa	SGe	MÉDIA
CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico	CHd	MÉDIA
NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura	NVd	MÉDIA

argilosa/muito argilosa		
NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco	RQo	MÉDIA
CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média	CXve	MÉDIA
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa	LVAd	MÉDIA
LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico	LVwf	MÉDIA
ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico	ESg	BAIXA
GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico	GZn	BAIXA
GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática	GXvd	BAIXA
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa	LAd	BAIXA
ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico	OXy	BAIXA

O solo mais suscetível a erosão foi um representante da ordem dos PLINTOSSOLOS, cujos atributos estão relacionados na Tabela 54. Observa-se a ocorrência de uma camada de impedimento devido a um horizonte Litoplíntico de elevada densidade, ocorrendo muito próximo da superfície, em um solo imperfeitamente drenado, em um relevo ondulado. Tais atributos ocorrendo em conjunto podem explicar a elevada suscetibilidade.

A mesma análise poderia ser feita para todos os demais solos, mas o exemplo mostra a coerência dos resultados do método aplicado.

Tabela 54: Características do Perfil do PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta.

Critérios	Características
Espessura do *solum* (até a camada de impedimento em cm)	25
Situação do perfil na encosta	Topo
Declividade do terreno	8%-20%
Classe de drenagem do solo	Imperfeitamente drenado
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	Sim
Presença de mudança textural abrupta	Sim
Relação Textural B/A	3,57
Densidade do solo horizonte A (Kg m^{-3})	-
Tipo de horizonte superficial	A moderado
Classe textural do horizonte superficial	Areia Franca
Teor de matéria orgânica do horizonte A (g dm^{-3})	10,0

Estrutura do horizonte superficial	moderada pequena média bloco subangulares desfazendo em fraca muito pequena granular
Espessura do horizonte A (cm)	10
Tipo de horizonte subsuperficial	Litoplíntico
Classe textural do horizonte subsuperficial	textura media
Estrutura do horizonte subsuperficial	Maciça
Grau de floculação do horizonte A	100%
Teor de argila dispersa em água do horizonte Superficial (g kg^{-1})	0
Tipo e atividade da argila do horizonte Superficial	3,5
Teor de óxidos de ferro (g Kg^{-1}) do Horizonte A	185
Delta pH horizonte A	-1,2
Saturação por bases horizonte A	46%

4.2.8. Aplicação das Funções de Valor com um Conjunto Mínimo de Dados

A Tabela 55, mostra os resultados obtidos após a aplicação das funções de valor e da mediana atribuída aos pontos médios para os 6 critérios pré-selecionados.

A Tabela 56 ilustra a classificação dos perfis de solos de acordo com os graus de suscetibilidade á erosão pelo método indicativo. Os resultados revelam que em uma escala de 0 a 100% de suscetibilidade os solos avaliados se enquadram no intervalo com I_{es} = 16,2% (menos suscetível) e I_{es}= 71,2% (mais suscetível) representados respectivamente pelos solos GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática e pelo NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico.

Tabela 55: Valores obtidos pela aplicação das funções de valor aos valores codificados anteriormente para os 22 perfis de solos.

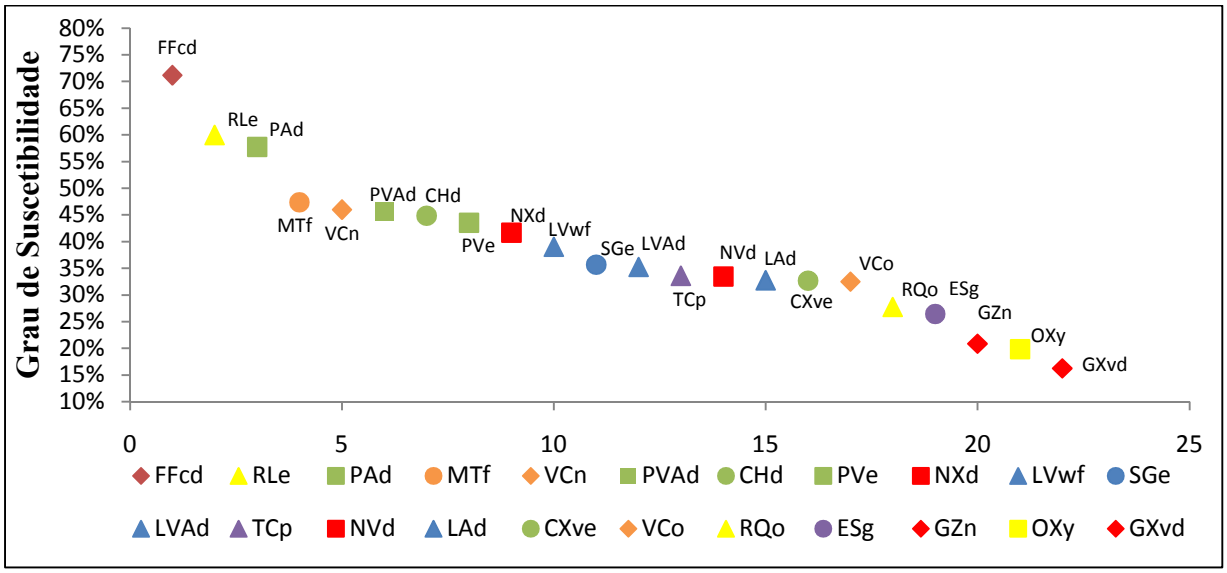
Critérios	Pesos[1]	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
Declividade do terreno	8,97	0,38	0,63	0,63	0,90	0,42	0,91	0,11	0,11	0,11	0,33	0,46	0,38	0,63	0,49	0,27	0,33	0,54	0,11	0,18	0,61	0,07	0,11
Espessura do solum (cm)	6,70	0,41	0,49	0,44	0,31	0,56	0,46	0,52	0,45	0,30	0,21	0,45	0,28	0,28	0,82	0,28	0,21	0,46	0,41	0,40	0,80	0,38	0,36
Relação Textural B/A	8,30	0,95	0,62	0,54	0,48	0,45	0,45	0,52	0,45	0,30	0,46	0,45	0,45	0,82	-	0,48	0,50	0,52	0,42	0,58	0,73	0,44	0,46
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	8,43	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,90	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,90	0,90	0,90
Presença de mudança textural abrúpta	8,57	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,85	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,85	0,85	0,85
Situação do perfil na encosta	8,34	0,75	0,75	0,75	0,70	-	0,75	0,25	0,05	0,05	0,70	0,75	0,75	0,75	0,70	0,40	0,70	0,75	0,05	0,05	0,40	0,05	0,05

[1]Média geométrica extraída da Tabela 4. Sendo: P1: ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média; P2: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; P3: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa; P4: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico; P5: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média; P6: CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa; P7: ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico; P8: GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico; P9: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática; P10: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa; P11: LATOSSOLO VERMELHO Aciférrico típico; P12: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa; P13: LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média; P14: NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico; P15: NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco; P16: NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa; P17: NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; P18: ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico; P19: PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa; P20: PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta; P21: Vertissolo Cromado Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa; P22: Vertissolo Cromado Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa

Tabela 56: Classificação dos perfis de solos de acordo com os graus de suscetibilidade à erosão após a aplicação da função agregativa.

PERFIS DE SOLOS	SÍMBOLO	I_{es} (Índice de Suscetibilidade à Erosão)
PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta	FFcd	71,2%
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico	RLe	59,9%
ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média	PAd	57,7%
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa	MTf	47,3%
LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média	TCp	46,0%
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVAd	45,6%
CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico	CHd	44,9%
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVe	43,5%
NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	NXd	41,7%
LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico	LVwf	39,0%
PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa	SGe	35,7%
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa	LVAd	35,3%
VERTISSOLO CROMADO Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa	VCn	33,5%
NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa	NVd	33,5%
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa	LAd	32,7%
CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média	CXve	32,7%
VERTISSOLO CROMADO Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa	VCo	32,5%
NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco	RQo	27,8%
ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico	ESg	26,4%
GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico	GZn	20,9%
ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico	OXy	19,9%
GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática	GXvd	16,2%

Os resultados da Tabela 56 foram dispostos graficamente conforme a Figura 34, que mostra graficamente a posição dos diferentes tipos de solos em uma escala de suscetibilidade à erosão.



Sendo: FFcd: PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta; RLe: NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico; PAd: ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média; MTf: CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa; VCn: VERTISSOLO CROMADO Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa; PVAd: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; CHd: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico; PVe: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa; NXd: NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; LVwf: LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico; SGe:PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa; LVAd: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa; TCp: LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média; NVd: NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa; LAd: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa; CXve: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média; VCo: VERTISSOLO CROMADO Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa; RQo:NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco; ESg: ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico; GZn: GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico; OXy: ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico; GXvd: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática;

Figura 34: Grau de suscetibilidade à Erosão dos tipos de solos.

Com base nos quartis dos Índices de Suscetibilidade, resultados da Tabela 55 e na disposição dos solos na Figura 34, fez-se a a reclassificação dos perfis de solos em três grupos de suscetibilidade: ALTA, compreendendo um I_{es} acima dos 45,4%; MÉDIA, com I_{es} entre 32,6% e 45,4%; e, BAIXA, com I_{es} abaixo dos 32,6%. A Tabela 57 mostra os resultados dessa reclassificação.

Na classe de ALTA suscetibilidade se enquadraram 6 ordens de solos distintos representantes das ordens dos PLINTOSSOLOS, NEOSSOLOS, ARGISSOLOS, CHERNOSSOLOS, LUVISSOLOS e ARGISSOLOS; na classe MÉDIA houve a maior concentração, com 10 tipos de solos; na classe BAIXA se enquadraram 6 solos distintos

representantes das classes dos VERTISSOLOS, NEOSSOLOS, ESPODOSSOLOS, GLEISSOLOS e ORGANOSSOLOS. O que explica a inclusão de uma mesma ordem em duas categorias é o conjunto dos atributos do perfil do solo em questão. Por exemplo, a ordem dos ARGISSOLOS foi enquadrada nas categorias ALTA e MÉDIA. Observando os dados dos tipos de solos em cada caso (Tabela 1), observa-se que os perfis enquadrados na categoria ALTA suscetibilidade possuem caráter arênico e abrúptico, Relação Textural B/A elevado e menores teores de matéria orgânica quando comparados aos atributos do perfil enquadrado na categoria de MÉDIA suscetibilidade.

Tabela 57: Grupos de suscetibilidade após a aplicação da função agregativa.

PERFIS DE SOLOS	SÍMBOLO	CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE
PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta	FFcd	ALTA
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico	RLe	ALTA
ARGISSOLO AMARELO Ditrófico arênico A moderado, textura arenosa/média	PAd	ALTA
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura argilosa	MTf	ALTA
LUVISSOLO CRÔMICO Pálico arênico A moderado textura arenosa/média	TCp	ALTA
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVAd	ALTA
CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico	CHd	MÉDIA
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico A moderado textura média/argilosa	PVe	MÉDIA
NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa	NXd	MÉDIA
LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico	LVwf	MÉDIA
PLANOSSOLO HIDROMÓRFICO Eutrófico típico A proeminente textura média/argilosa	SGe	MÉDIA
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa	LVAd	MÉDIA
VERTISSOLO CROMADO Sódico gleico, A moderado, textura muito argilosa	VCn	MÉDIA
NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A moderado textura argilosa/muito argilosa	NVd	MÉDIA
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa	LAd	MÉDIA
CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico A moderado textura média	CXve	MÉDIA
VERTISSOLO CROMADO Órdico Solódico, A moderado, textura muito argilosa	VCo	BAIXA
NEOSSOLO QUARTZARENICO Órtico típico A fraco	RQo	BAIXA

ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico	ESg	BAIXA
GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico	GZn	BAIXA
ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico	OXy	BAIXA
GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado textura errática	GXvd	BAIXA

Assim como nas funções de valores para todos os critérios, ao utilizar o conjunto mínimo de dados com 6 critérios (Declividade do Terreno, Espessura do *Solum*, Relação Textural B/A, Ocorrência de Camada de Impedimento no Perfil, Presença de Mudança Textural Abrúpta e Situação do Perfil na Encosta) o solo mais suscetível à erosão foi novamente o PLINTOSSOLO Pétrico Concrecionário Distrófico A moderado textura arenosa/média muito cascalhenta.

As funções de valor ajustadas por meio do conjunto mínimo de dados, mostrou-se coerente na classificação dos tipos de solos mais suscetíveis à erosão em comparação a aplicação das funções de valor para todos os critérios. A coerência entre as classificações se deu por meio do coeficiente de Spearman (r_S = 0,79), bem como na composição dos índices com coeficiente de Pearson (r = 0,83). O que demonstra que a redução de 22 para 6 critérios é uma alternativa viável quando não se tem todos os critérios para caracterizar a suscetibilidade à erosão dos tipos de solos estudados.

4.2.9. Análise integrada das classificações

Em resumo, as duas abordagem (classificatória e indicativa com todos os critérios e com o conjunto mínimo de dados) se mostraram adequadas para a avaliação da suscetibilidade do solo à erosão com diferentes pontos de vista, seja por meios classificatórios ou indicativos com um conjunto completo ou reduzido de dados. Considerando como sendo válida a modelagem realizada das preferências dos especialistas, a obtenção das funções de valor dos atributos intervenientes na suscetibilidade à erosão permite seu emprego na avaliação de outros tipos de solos cujos dados estejam disponíveis nos levantamentos pedológicos já publicados.

5. CONCLUSÃO

1- A integração da pesquisa Ad-Hoc e dos métodos de análise multicriterial se mostrou adequada para a avaliação da suscetibilidade dos solos à erosão no nível categórico de ordem taxonômica.

2- A modelagem das preferências dos especialistas permitiu o ajuste de funções de valor para os diferentes atributos intervenientes na suscetibilidade à erosão.

3- A partir das funções de valores, os dados de perfis de solos disponíveis em levantamentos pedológicos já publicados podem ser utilizados na avaliação da suscetibilidade à erosão em qualquer nível de generalização taxonômica.

4 – A aplicação dos métodos multicriteriais classificatórios e indicativos mostrou-se adequados para o estudo em questão, indicando uma classificação de prioridades adequada para o estudo em questão

5 – A aplicação dos métodos multicriteriais proporcionaram a utilização de indicadores relacionados ao problema erosivo em diferentes escalas (ordem e tipo de solos) auxiliando aos tomadores de decisão o uso de práticas de manejo sustentável

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ADLER, M., E ZIGLIO, E. **Gazing into the oracle**. Jessica Kingsley Publishers: Bristol, PA. 1996.

ALVES, F.V. **Seleção de Sítio e Tecnologia para Estação de Tratamento de Esgoto por meio de SIG e Métodos Multicriteriais: Estudo de Caso: Paulínia – SP**. 200p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. 2003.

BAKKES, J.A.; VAN DER BORN, G.J.; HELDER, J.C.; SWART, R.J.; HOPE, C.W.; PARKER, J.D.E. **An overview of environmental indicators: state of the art and perspectives**. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP)/Dutch National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), 1994.

BANA E COSTA, C.A. "A methodology for sensitivity analysis in three-criteria problems: a case study in municipal management". **EJOR**, 33, p.159-173. 1988

BANA e COSTA, C.A.; VANSNICK, J. C. MACBETH: a interactive path towards the construction of cardinal value functions. **International Transactions in Operational Research**. v. 1, n. 4, p. 489-500, 1994.

BANA E COSTA, C.A.; FERREIRA, J.A.A.; CORREA, E.C. **Metodologia multicritério de apoio à avaliação de propostas em concursos públicos**. In: ANTUNES, C.H., TAVARES, L.V. (Eds.) Casos de Aplicação da Investigação Operacional, Amadora: McGraw Hill, p.336-363.2000.

BEINAT, E. **Value Functions for Environmental Management**. Kluwer Academic Press, 241 p. 1997.

BELTON, V. e STEWART, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis: an Integrated Approach**. Boston: Kluwer Academic Press, 2002.

BENAYOUN, R.; ROY, B.; SUSSMAN, B. ELECTRE: **Une methode pour guider le choix en presence de points de vue multiples**. Paris: SEMA, Direction Scientifique, Note de Travail n. 49, 1966.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba, SP: Livroceres, 392 p. 1985.

_____. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 355p. 1990.

_____. **Conservação do Solo**. 4ª. Ed. São Paulo: Ícone, 1999. (Coleção Brasil Agrícola)

BOUYSSOU, D. "**Building Criteria: A Prerequisite for MCDA**". In: Readings in Multiple Criteria Decision Aid. C.A. Bana e Costa (ed), Springer-Verlag, p. 58-80. 1990.

BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T. H.; PIRLOT, M.; TSOUKINÀS, A.; VINCKE, P. **Evaluation and decision models: Stepping stones for the analyst**. Springer, New York, 2006

BÜYÜKYAZICI, M.; SUCU, M. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Process. **Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics**. v.32, p. 65-73. 2003.

CHAVES, H.M.L. Aplicação de modelos na previsão de erosão. *In.* 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE/UNESP. Bauru-SP. v2. p. 49-54. 1995

CORDEIRO NETTO, O. M.; PARENT, É; DUCKSTEIN, L. **Métodos multicritério aplicados ao planejamento de recursos hídricos. O caso da escolha de um sítio de**

barragem de regularização no sudoeste da França. Parte 1 – discussão teórica. In: Anais do Congresso da ABRH, Gramado- RS, 1993.

DREGNE, H. E. **Historical perspective of accelerated erosion and effect on world civilization**. In: SCHMIDT, B. L.; ALLMARAS, R. R.; MANNERING, J. V.; PAPENDICK, R. I., ed *Determinants of soil loss tolerance*. Madison: ASA/SSSA, 1982.

DYER, J. S. **Multiattribute utility and Value Theories: MAUT – Multiattribute Value Theory, em Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Survey**. Boston: Spring Science e Business Media, Inc., Parte IV, cap. 7, 2005

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (2ª. edição). Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS (EMBRAPA SOLOS), 2006. 306 p.

FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia**. Lavras, 82p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. 1992.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. Springer´s International Series, 1045 p., 2005.

FISCHER, G.W. **Convergent validation of decomposed multi-attribute utility assessment produces for risky and riskless decisions. Organizational Behaviour and Human Performances**, 18: 295-315.1977.

FONTES, S.B. **Mapeamento Geológico com Ênfase em Erosão**. Seminários Gerais em Geotecnia - SGS- 833 EES/USP. São Carlos – SP.1998.

FOSTER, G. R. **Modeling the erosion process**. *In*: HAAN, C. T. Hydrologic modeling of small watersheds. Madison. American Society of Agricultural Engenneering. p.297-380. 1982

FOWLES, J. **Handbook of futures research**. Greenwood Press : Connecticut.1978.

FREIRE, O.; PESSOTI, J. E. S. Erodibilidade dos solos de Piracicaba. **Revista da Agricultura**, v.51, p.195-202, 1976

GENERINO, R.C.M.; CORDEIRO,N.O.M. **Auditoria ambiental: Uma proposta metodológica**. In: Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu – PR. 1997.

GERSHON, M.; DUCKSTEIN, L.; MCANIFF, R. Multiobjective river basin planning with quantitative criteria. **Water Resources Research**. v. 18 n. 2, pag. 193-202, 1982.

GOMES, L.F.A.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. **Tomada de Decisão Gerencial: O Enfoque Multicritério**. Rio de Janeiro. Ed. Atlas. Vol.1. 2002.

GOODMAN, C.M. Delphi technique: a critique. **J. Adv. Nurs**., v.12, p.729-734, 1987.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995

HARADA, A.L. **Metodologias para a seleção de soluções para coleta, tratamento e disposição de esgotos em condomínios do Distrito Federal**. Brasília, 186p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental de recursos hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 1999.

HENKLAIN, J. C.; J. C. FREIRE, O. Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.7, n.2, p.191-195, 1983.

HERWIJNEN, M. van.; RIETVELD, P.; THEVENET, K.; TOL, R. Sensitivity analysis with interdependency criteria for multi criteria decision making. **Multi Criteria Decision Making**, 4:57-70.

HOTELLING, H. PABST, M. R. Rank Correlation and Tests of Significance Involving no Assumption of Normality. **Ann. Math. Stat**. Vol. 7. p.29-43. 1936.

HUDSON, N. A field technique to directly measure river bank erosion. **Canadian Journal Earth Science**, v.19, p. 381-383. 1981.

HWANG, C.L.; YON, K. **Multiple attribute decision making: Methods and applications: a state-of-the-art survey**. Springer-Verlag, 259 p. 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2ºed. Rio de Janeiro, IBGE, p.35-53 e p. 68-81, 2005. (Manual Técnico em Geociências número 4).

JARDIM, S. B. **Aplicabilidade de algumas técnicas de análise multiobjetivo ao processo decisório no âmbito de comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica**. Porto Alegre, 172p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.

KAYO, E.K.; SECURATO, J.R., Método Delphi: Fundamentos, Críticas e Vieses. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v.1, n.4, p. 51-61, 1º Sem/1997

KEENEY, R., RAIFFA, H. **Decisions with Mutiple Objectives - Preferences and Value Trade-offs**. John Wiley & Sons, 1976

_____. **Decisions with Mutiple Objectives - Preferences and Value** Trade-offs. Cambridge University Press, 569 p. 1993.

KIEHL, J. E. Manual de edafologia. São Paulo, SP. **Agronômica Ceres**, 262 p.1979.

KOOPMANS, T. C. **An analysis of production as an combination of activities**. In KOOPMANS, T. C (Eds.). Activity analysis of production and allocation. New York : Wiley, 1951

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America Special Publication Number 35, p.37-51. 1994.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, R. Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I-Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:1033-1044, 2004.

LIKERT, R. **A Technique for the Measurement of Attitudes**. *Archives of Psychology,* 140, p. 1-55, 1932.

LINSTONE, H; TUROFF, M. **The Delphi Method: Techniques and Applications**, Addison Wesley, Reading, Mass. 1975.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas: **Instituto Agronômico**, 12 p. (Boletim Técnico, 27), 1975.

MARQUES, F.A.**Caracterização e Classificação de Solos da Ilha de Fernando de Noronha (PE)**. Pernambuco, 101p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2004.

MARTINS, FILHO, M. V.; SILVA J. R. C. Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade em Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.175-177, 1985.

MEIRELLES, C.L.A.; GOMES, L.F.A.M. O apoio multicritério à decisão como instrumento de gestão do conhecimento: uma aplicação à indústria de refino de petróleo. **Pesquisa Operacional**. v.29, n.2. p.451-470, 2009.

MOREIRA, I. V. D. **Origem e síntese dos principais métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA)**. In: JUCHEM, Peno Ari, coord. MAIA: manual de avaliação de impactos ambientais. 1.ed. Convênio de Cooperação Técnica Brasil -Alemanha, Governo do Estado do Paraná. Secretaria Especial do Meio Ambiente. Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SUREHMA)/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Curitiba, p.1-35. 1992.

MORICOCHI, L.; PINO, F.A.; VEGRO, C.L.R. Método Delphi como Alternativa para Previsão de Safras: O Exemplo do Café. **Informações Econômicas**, v.25. n.12, dez. 1995.

OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. **Instituto Agronômico**, Campinas, SP, 108p. (Boletim Científico nº45), 1999.

RED, N. **The Delphi tecnique: its contribution to the evaluation of professional practice**. In: ELLIS. R. Professional competence and quality assurance in the earling professions. London. Crom Helm. 2p. 230-262. 1988

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, v.11, n.128, p27-37, 1985.

RIOS INSUA, D. **Sensitivity Analysis in Multiobjective Decision Making**, Springer. 1990.

RIOS INSUA, D.; FRENCH, S. A framework for sensitivity analysis in discrete multi-objective decision-making, **European Journal of Operational Research** 54, p. 176-190, 1991.

RODRIGUES, M.S. **Dicionário Brasileiro de Estatística**. 2º Ed. IBGE. 350 p. 1970.

ROESCH, S. M. A. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999

RÖMKENS, M.J.M. **The soil erodibility factor: a perspective**. In: HARLIN, J.M. & BERARDI, G.M., eds., Agricultural soil loss: processes, policies and prospects. Boulder, Westview, p.125-149. 1987.

ROY, B. Problems and methods with multiple objectives functions. **Mathematical Programming**, v. 1, p. 239-266, 1971.

ROY, B; BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: méthodes et cãs**. Paris: Economica, 1993.

ROY, B; BERTIER, P. **La methode ELECTRE II**. Note de Travail 142, SEMETRA Metra International, 1971.

_____. La méthode ELECTRE II: une application au média-planning. In: ROSS, M. (ed.). OR' 72. **North-Holland Publishing Company**, p. 291-302, 1973.

SAATY. T. L. A Scaling Method For Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n 3, p. 234-281, 1977.

_____. An exposition of the AHP in reply to the paper "Remarks on the Analytic Hierarchy Process". **Management Science**, v.36, n.3, p.259-268, 1990.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soil the tropics**. New York, J. Willey, 1976.

SANTOS, A.; VIDOTTO, L.S.;GIUBLIN, C.R. A utilização do método Delphi em pesquisas na área da gestão da construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.2, p. 51-59 abr/jun. 2005.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica**. Rio de Janeiro: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

SPÍNOLA, A.W. de P. **Delfos: proposta tecnológica alternativa**. São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, cia USP, 1984.

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba, Livraria e Editora Agropecuária Ltda., 1997, p. 89-163.

VICHAS, R.P. **Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques**. Englewood Cliffs, Pretence-Hall, Inc, 432 p. 1982.

VLADIA, C. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do "Fallout" do ^{137}Cs**. Piracicaba, 99p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2003.

VON NEUMANN, J.; MORGERNSTERN, O. **Theory of games and economic behavior**. 3 ed. New York, Wiley, 1953. 625p.

VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. **Decision analysis and behavioral research**. Cambridge, Cambridge University Press, 1986, 624p.

ZACHAR, D. **Soil erosion: developments in soil science**. New York, Elsevier Scientific, 547p. 1982.

ZELENY, M. **Decision Making: Mathematical Models**. McGraw-Hill. 563p. 1982.

ZUFFO, A. C. **Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos**. São Carlos-SP, 286p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1998.

ZUFFO, A. C.; SANTOS, R. F. **Método ELECTRE II aplicado ao planejamento de recursos hídricos: Uma proposta para melhorar a performance do método**. In: XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 2002, Habana - Cuba. Proceedings - Cd-rom. HABANA : IAHR - International Association of Hydraulic Research, 2002.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. **Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos**. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Brasil: v.7, n.1, p.81 - 102, 2002.

WALTZ, R. Development of environmental indicator systems experiences from Germany. **Environmental Management**, v. 25, n. 1, p. 613-623, 2000.

WEILL, M.A.. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba-SP) através do índice do tempo de vida**. Piracicaba, 100p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1999.

WEILL, M.A.M; PIRES NETO, A.G. **Erosão e assoreamento**. In: SANTOS, R.F. Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?. Brasília: MMA, 2007, 40-58.

WEILL, M.A.M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I- Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:801-814, 2008

WINOGRAD. M. **Conceptual framework to develop and use environmental and sustainability indicators for policy-making in Latin America and the Caribbean**. Discussion paper, Project UNEP-CIAT, CIAT, Cali, Columbia, 1995.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relation to soil loss. **Tran. Amer. Union**. 34:2. p.285-291.1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**. Agric. Research Service, Agricultural Handbook, 282. U.S. Goc. Print. Office, Washington, DC. 47 p. 1965.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.W. A soil erodibility namograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**. V.26, n.5, p.189-193, 1971

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning. U.S.: Department of Agriculture**. Agricultural Handbook, 537p. 1978.

WRIGHT, J.T.C. **A Técnica Delphi: Uma ferramenta útil ao planejamento do Brasil?. In: III Encontro Brasileiro de Planejamento Empresarial – "Como Planejar 86"**, III, 28-29, nov. 1985. Anais. São Paulo. SPE – Sociedade Brasileira de Planejamento Empresarial, p. 199-207. 1986.

WRIGHT, J.T.C.; GIOVINAZZO, R.A. **DELPHI – Uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo**. Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo, v.01, nº12, 2ºtrim./2000.

APÊNDICE I
CARTA DE APRESENTAÇÃO AOS ESPECIALISTAS

Campinas,_____de_____de 2009.

Prezado Especialista,

Estamos desenvolvendo um projeto de pesquisa em nível de doutorado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP denominado "Proposição metodológica para uso conjugado da análise multicriterial e do método Delphi na classificação da suscetibilidade do solo a erosão". Sou o responsável pelo desenvolvimento do projeto, Leonardo Sene de Lourenço, sob orientação da professora Dra. Mara de Andrade Marinho Weill.

O objetivo central do trabalho é desenvolver uma abordagem metodológica, com uso integrado da análise multicriterial e do método Delphi, para desenvolvimento de um indicador da susceptibilidade do solo à erosão, empregando atributos disponíveis nos relatórios dos levantamentos de solos. Pretende-se, por meio da metodologia proposta, criar uma ferramenta de gestão do uso do solo para auxílio na tomada de decisão no processo de planejamento em bases sustentáveis.

Parte da metodologia de trabalho envolve a participação voluntária de especialistas para definição dos atributos edáficos e da importância relativa de cada um na composição do indicador de susceptibilidade à erosão que se pretende desenvolver.

Caso concorde em participar da pesquisa, o que será de inestimável valia para o projeto, estimamos que o processo como um todo leve cerca de três meses, durante os quais você será solicitado a responder algumas mensagens eletrônicas, contendo perguntas específicas ou um pequeno questionário.

Comprometemo-nos a guardar sigilo quanto ao seu nome e informamos que estão sendo contatados especialistas de todas as regiões brasileiras, que possuem em comum a atuação em Ciência do Solo, mais especificamente em Manejo e Conservação do Solo, Física do Solo e Gênese, Morfologia e Classificação de Solos. Comprometemo-nos também, ao término da pesquisa, enviar um relatório acerca dos resultados obtidos.

Caso aceite participar da pesquisa, pedimos a gentileza de responder afirmativamente a esse email. Desde já agradecemos sua atenção, esperando tê-lo como colaborador neste trabalho.

Atenciosamente.

Leonardo Sene de Lourenço
Doutorando em Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP

Mara de Andrade Marinho Weill
Prof. Dra. Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP

APÊNDICE II
1º QUESTIONÁRIO APLICADO VIA MÉTODO DELPHI

1º Questionário: Indicação dos atributos para avaliação da suscetibilidade do solo à erosão

Cite 5 (cinco) atributos do solo encontrados em levantamento de solos que julgue os mais influentes na estimativa da suscetibilidade de um solo à erosão.

Informe, se aplicável, a posição no perfil (horizonte de ocorrência) em que o atributo deve ser avaliado.

Atributo 1:_____
Atributo 2:_____
Atributo 3:_____
Atributo 4:_____
Atributo 5:_____

Obs: Toda a informação pesquisada será tratada com sigilo, com resultados apresentados somente em formato de sumário (resumo)

APÊNDICE III
2º QUESTIONÁRIO APLICADO VIA MÉTODO DELPHI

2º Questionário: Seleção dos atributos citados

1-) Dada a lista de 22 atributos selecionados dentre os apontados pelo conjunto de especialistas pesquisados na primeira fase, assinale com um "X" a expressão que melhor expressa sua opinião a respeito da afirmação abaixo:

"O atributo X (X = 1 a 22) possui influência na suscetibilidade / resistência do solo à erosão"

DESCRIÇÃO		Concordo Totalmente	Concordo	Não Concordo, Nem Discordo	Discordo	Discordo Totalmente
Id.	**ATRIBUTOS**					
1	**Classe de drenagem do solo**					
2	**Cor do solo**					
3	**Classe textural do horizonte superficial**					
4	**Classe textural do horizonte subsuperficial**					
5	**Declividade do terreno**					
6	**Densidade do solo**					
7	**Densidade das partículas**					
8	**Espessura do horizonte A**					
9	**Espessura do *solum***					
10	**Estrutura do horizonte superficial**					
11	**Estrutura do horizonte subsuperficial**					
12	**Relação Textural B/A**					
13	**Grau de floculação**					
14	**Ocorrência de camada de impedimento no perfil**					
15	**Presença de mudança textural abrupta**					
16	**Situação do perfil (posição na paisagem)**					
17	**Teor de argila dispersa em água nos horizontes A e B.**					
18	**Teor de matéria orgânica**					
19	**Teor de óxidos de ferro e alumínio**					
20	**Tipo de horizonte superficial**					
21	**Tipo de horizonte subsuperficial**					
22	**Tipo de solo (classe taxonômica)**					

2-) Há algum atributo não contemplado na listagem acima que considere especial?

APÊNDICE IV
3º QUESTIONÁRIO APLICADO VIA MÉTODO DELPHI

3º Questionário: Atribuição de valores para cada classe dos atributos selecionados

PARTE I

Para cada atributo, preencher com os valores indicativos do grau de influência na suscetibilidade do solo à erosão, sendo:
0 (nenhuma influência) – 1,2 e 3 (Influência alta "positiva": condiciona baixa suscetibilidade à erosão) – 4,5,6 e 7 (Influência moderada) – 8,9 e 10 (Influência alta negativa: condiciona alta suscetibilidade à erosão)

Atributo	**Conceito**	**Níveis**				
Espessura do *solum*	Solum: Parte superior e pressupostamente mais intemperizada do perfil do solo, compreendendo somente os horizontes A e B (excluído o BC)	Raso (<50cm)	Pouco Profundo (> 50cm e ≤ 100cm)	Profundo (>100 cm e ≤200cm)	Muito Profundo (>200cm)	
Valores	-					
Ocorrência de camada de impedimento no perfil		Sim	Não			
Valores	-					
Presença de mudança textural abrúpta	Consiste em um considerável aumento no teor de argila dentro de uma pequena distância na zona de transição entre o horizonte A ou E e o horizonte	Sim	Não			

	subjacente B					
Valores	-					
Relação textural B/A	Representa a quantificação do incremento de argila, do horizonte superficial A para o horizonte B dos solos (gradiente textural).	< = 1,5	1,5 – 1,7	1,7-1,8	>1,8	
Valores	-					
Classe textural do horizonte superficial	Refere-se à proporção relativa das frações granulométricas que compõem a massa do solo	Textura Siltosa	Textura Muito Argilosa	Textura Argilosa	Textura Média	Textura Arenosa
Valores	-					
Classe textural do horizonte subsuperficial		Textura Siltosa	Textura Muito Argilosa	Textura Argilosa	Textura Média	Textura Arenosa
Valores	-					
Espessura do horizonte A		≥10	Entre 10 e 25 cm	>25 cm		
Valores	-					
Atividade da argila	Refere-se à capacidade de troca de cátions (valor T) correspondente à fração argila, calculada pela expressão: T.1000/teor de argila em g.kg-1.	Baixa (< 27cmolc kg-1)	Alta (≥ 27cmolc kg-1)			
Valores	-					
Grau de floculação	((Argila total-Argila dispersa em	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%	

	água)/Argila total)*100. Alto grau de floculação indica que a maioria da argila do solo está agregada com uma estabilidade tal que não é afetada somente por agitação em água. Fator positivo na resiliência do solo à erosão.					
Valores	-					
Teor de argila dispersa em água	Também referida por argila natural, é determinada por meio da análise granulométrica, mas sem uso de dispersante químico. Grau de dispersão (GD%)=(Argila dispersa em água/Argila total)*100 ou GD= 100-GF. Alto grau de dispersão significa que a maior parte da argila do solo está fracamente agregada. Fator negativo para a resiliência do solo à	até 250 g kg (Baixo)	250 a 500 g kg-1 (Médio)	> 500 g Kg (Alto)		

	erosão.					
Valores	-					
Delta pH	É a diferença entre o pH determinado em solução salina (KCL ou CACL2) e o pH determinado em H2O. O valor do delta pH expressa o balanço das cargas elétricas dos colóides do solo, podendo ser positivo, negativo ou nulo, este último referido por ponto de carga zero ou PCZ do solo.	-1,0 a -0,5	-0,5 a 0,0	0,0 a 0,5	0,5 a 1,0	
Valores	-					
Teor de matéria orgânica		Alto (>25 g dm^{-3})	Médio (25-15 g dm^{-3})	Baixo (<15 g dm^{-3})		
Valores						
Saturação por bases	Refere-se à proporção (percentagem) de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca de cátions, determinada a pH 7. É empregada para distinguir condições de eutrofia e distrofia no 3º nível	Hipodistrófico (< 35%)	Mesodistrófico (≥35% e < 50%)	Mesoeutrófico ≥50% e <75%	Hiper-eutrófico (≥ 75%)	

	categórico do SiBCS.					
Valores	-					
Densidade do solo (kg m-^{3})	Massa de solo seco/ volume ocupado pela massa de solo. Determinada a partir de amostras indeformadas ou com estrutura preservada do solo.	< 1000	1000 - 1250	1250 - 1400	1400 - 1800	> 1800
Valores	-					

Atributos	Conceito	Classe								
Situação do perfil na encosta		Topo	Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior	Terraço	Planice Aluvial			
Valores	-									
declividade do terreno/ Fase de relevo		0-3% (Plano)	3-8% (Suave ondulado)	8-20% (Ondulado)	20-45% (Forte ondulado)	45-75% (Montanhoso)	>75% (Escarpado)			
Valores	-									
Classe de drenagem do solo	A drenagem do solo refere-se à rapidez e à facilidade com que a água recebida escoa por infiltração e/ou escorrimento, afetando suas condições hídricas, refletidas nos períodos em	Muito Mal Drenado	Mal Drenado	Imperfeitamente/ Drenado	Moderadamente/ Drenado	Bem Drenado	Acentuadamente/ Drenado	Fortemente/ Drenado	Excessivamente/ Drenado	

	que permanece úmido, molhado ou encharcado									
Valores	-									
Tipo de horizonte superficial		Hístico	A Chernozêmico	A Proeminente	A Húmico	A Antrópico	A Fraco	A Moderado		
Valores	-									
Tipo de horizonte subsuperficial		B Textural	B Latossólico	B Incipiente	B Espódico	Orstein	Plíntico	Lito-plíntico	Glei	
Valores	-									
Tipo de horizonte subsuperficial		E Álbico	Fragipã	Duripã	Cálcico	Petro-cálcico	Sulfúrico	Vértico	B Plânico	B Nítico
Valores	-									
Estrutura do horizonte superficial		Laminar	Prismática	Colunar	Bloco Angular	Bloco Subangular	Granular	Grumosa		
Valores	-									
Estrutura do horizonte subsuperficial		Laminar	Prismática	Colunar	Bloco Angular	Bloco Subangular	Granular	Grumosa		
Valores	-									

PARTE II: Atribuição de valores para cada critério

Para cada atributo, preencher com os valores indicativos do grau de influência na suscetibilidade do solo à erosão, sendo:
0 (nenhuma influência) – 1,2 e 3 (Influência alta "positiva": condiciona baixa suscetibilidade à erosão) – 4,5,6 e 7 (Influência moderada) – 8,9 e 10 (Influência alta negativa: condiciona alta suscetibilidade à erosão)

Critérios	**Valores**
Classe de drenagem do solo	
Classe textural do horizonte subsuperficial	
Classe textural do horizonte superficial	
Declividade do terreno	
Delta pH	
Densidade do solo	
Espessura do horizonte A	
Espessura do *solum*	
Estrutura do horizonte subsuperficial	
Estrutura do horizonte superficial	
Relação Textural B/A	
Grau de floculação	
Ocorrência de camada de impedimento no perfil	
Presença de mudança textural abrúpta	
Saturação por bases	
Situação do perfil na encosta	
Teor de argila dispersa em água	
Teor de matéria orgânica	
Teor de óxidos de ferro e alumínio	
Tipo de horizonte subsuperficial	
Tipo de horizonte superficial	
Tipo e atividade da argila	

APÊNDICE V
4º QUESTIONÁRIO APLICADO VIA MÉTODO DELPHI

4º Questionário: Avaliar a suscetibilidade do solo à erosão

Qual a importância do critério (A) na suscetibilidade à erosão de uma alternativa (B=ordem de solo)?

Preencher o quadro com os pesos abaixo dos critérios (A) em relação aos demais critérios para cada uma das alternativas (B):

Pesos	Definição	Explicação
0	Comparação não efetuada	Análise dos critérios (A e B) foge ao escopo da área de atuação do especialista
1	Igual Influência	Os critérios A e B afetam igualmente o objetivo para a alternativa correspondente
3	Influência pequena de um sobre o outro	O critério A influência ligeiramente mais o objetivo em relação ao critério B para a alternativa correspondente
5	Influência grande ou essencial	A experiência ou juízo favorecem fortemente o critério A em relação ao critério B para a alternativa correspondente
7	Influência muito grande ou demonstrada	O critério A é muito fortemente favorecido em relação ao critério B para a alternativa correspondente.
9	Influência absoluta	Indubitavelmente o critério A influencia fortemente o objetivo em relação ao critério B para a alternativa correspondente
2,4,6 e 8	Valores Intermediários	Quando se julgar mais apropriado atribuir pesos intermediários para o critério A em relação ao critério B para a alternativa correspondente
1/3	Influência pequena de um sobre o outro	A experiência e o juízo favorecem ligeiramente o critério B em relação ao critério A para a alternativa correspondente
1/5	Influência grande ou essencial	A experiência ou juízo favorecem fortemente o critério B em relação ao critério A para a alternativa correspondente
1/7	Influência muito grande ou demonstrada	O critério B é muito fortemente favorecido em relação ao critério A para a alternativa correspondente.
1/9	Influência absoluta	A evidência favorece o critério B em relação ao critério A, com o mais alto grau de segurança para a alternativa correspondente
1/2, 1/4, 1/6 e 1/8	Valores Intermediários	Quando se julgar mais apropriado atribuir pesos intermediários para o critério B em relação ao critério A para a alternativa correspondente

Critérios (A) / Alternativas (B)	ARG	CAM	CHE	ESP	GLE	LAT	LUV	NEO	NIT	ORG	PLA	PLI	VER
Espessura do *solum*													
Situação do perfil na encosta													
Declividade do terreno													
Classe de drenagem do solo													
Ocorrência de camada de impedimento no perfil													
Presença de mudança textural abrupta													
Relação Textural B/A													
Densidade do solo													
Tipo de horizonte superficial													
Classe textural do horizonte superficial													
Teor de matéria orgânica													
Estrutura do horizonte superficial													
Espessura do horizonte A													
Tipo de horizonte subsuperficial													
Classe textural do horizonte subsuperficial													
Estrutura do horizonte subsuperficial													
Grau de floculação													
Teor de argila dispersa em água													
Tipo e atividade da argila													
Teor de óxidos de ferro													
Delta pH													
Saturação por bases													

Sendo: ARG: ARGISSOLOS; CAM:CAMBISSOLOS; CHE:CHERNOSSOLOS; ESP:ESPODOSSOLOS; GLE:GLEISSOLOS; LAT:LATOSSOLOS; LUV:LUVISSOLOS; NEO:NEOSSOLOS; NIT:NITOSSOLOS; ORG:ORGANOSSOLOS; PLA:PLANOSSOLOS; PLI:PLINTOSSOLOS; VER:VERTISSOLOS.