



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - UFG
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO - PRPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - CIAMB
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

RICARDO DE FARIA NICOLAU

**DENDROGEOMORFOLOGIA, EROSÃO HÍDRICA E USO DO SOLO
EM UMA ÁREA URBANA DO MUNICIPIO DE GOIÂNIA, GOIÁS,
BRASIL**

Goiânia

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES
ELETRÔNICAS DE TESES**

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPec nº 832/2007, sem resarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

[X] Dissertação [] Tese

2. Nome completo do autor

RICARDO DE FARIA NICOLAU

3. Título do trabalho

DENDROGEOMORFOLOGIA, EROSÃO HÍDRICA E USO DO SOLO EM UMA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA, GOIÁS, BRASIL

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

https://sei.ufg.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=1409757&infra_sistema=10000010... 1/2



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professor do Magistério Superior**, em 01/05/2020, às 09:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO DE FARIA NICOLAU, Discente**, em 04/05/2020, às 16:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1306631 e o código CRC 4B5D9C0C.

RICARDO DE FARIA NICOLAU

**DENDROGEOMORFOLOGIA, EROSÃO HÍDRICA E USO DO SOLO
EM UMA ÁREA URBANA DO MUNICIPIO DE GOIÂNIA, GOIÁS,
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB) vinculado ao Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental

Linha de Pesquisa: Monitoramento e Análise de Recursos Naturais.

Área de Atuação: Solos e Meio Ambiente
Orientador (a): Prof^a Dr^a Karla Maria Silva de Faria

Coorientador (a): Prof^a Dr^a Renata Santos Momoli

Coorientador: Matheus Peres Chagas

Goiânia

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Faria Nicolau, Ricardo de

Dendrogeomorfologia, erosão hídrica e uso do solo em uma área
urbana do município de Goiânia, Goiás, Brasil [manuscrito] / Ricardo
de Faria Nicolau. - 2020.

CLXXX, 180 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Karla Maria Silva de Faria; co-orientadora
Dra. Renata Santos Momoli; co-orientador Dr. Matheus Peres
Chagas.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró
reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Goiânia, 2020.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui siglas, mapas, fotografias, símbolos, gráfico, tabelas, lista
de figuras, lista de tabelas.

1. Erosão hídrica dos solos. 2. Dendrogeomorfologia. 3. Drenagem
urbana. 4. Uso e ocupação das terras. 5. Solos. I. Faria, Karla Maria
Silva de , orient. II. Título.

CDU 502/504



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 02 da sessão de Defesa de Dissertação de **RICARDO DE FARIA NICOLAU**, que confere o título de Mestre(a) em Ciências Ambientais, na área de concentração em Estrutura e Dinâmica Ambiental.

Ao/s **trinta e um dias do mês de março de 2020**, a partir da(s) **14 horas**, no(a) **Instituto de Estudos Socio-Ambientais - IESA**, realizou-se por **videoconferência** a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "**DENDROGEO MORFOLOGIA, EROSÃO HÍDRICA E USO DO SOLO EM UMA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA, GOIÁS, BRASIL**". Os trabalhos foram instalados pelo(a) Orientador(a), Professor(a) Doutor(a) Karla Maria Silva de Faria [IESA/CIAMB]), membro titular interno; Renata Cristina Bovi [ESALQ - USP] membro titular externo e Marcos José da Silva [ICB-I], membro titular interno. A sessão pública de Defesa de Dissertação contou também com a presença dos **co-orientadores** da pesquisa **Renata Santos Momoli e Mateus Peres Chagas**. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Karla Maria Silva de Faria, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao(s) **trinta e um dias do mês de março de 2020**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Marcos José Da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 01/04/2020, às 09:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professor do Magistério Superior**, em 06/04/2020, às 11:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fausto Miziara, Coordenadora de Pós-Graduação**, em 16/04/2020, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenécidade deste documento pode ser conferida no site
https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_verificar&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1235942 e o código CRC **1E731A54**.

AGRADECIMENTOS

As palavras escritas nesta seção serão a expressão da minha sinceridade, alegria, amizade, gentileza e de todo autoconhecimento e de evolução moral que obtive das pessoas que me ajudaram enormemente de coração e alma neste trabalho. Acredito que a gratidão é um presente inesquecível, que pode ser aberto a qualquer momento, e mesmo nas horas difíceis as memórias vem como um anteparo, dizendo: Não desista, tenha fé! Por isso, gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo ato da criação e porque sem Ele esse momento não seria possível.

Agradeço a minha família por todo o conhecimento moral, que se perpetua por toda a minha vida, pela força, luz, por terem acreditado no meu esforço durante toda minha vida. Ao meu pai Joel Nicolau, sou imensamente grato por ter me ajudado nos trabalhos de campo, que com alegria no rosto e determinação, me ajudou em todas as etapas que eram difíceis de suportar, mesmo dentro da mata, ou seja, no sol quente. Sou grato com a mesma intensidade a minha mãe Maria Valsoni de Faria, que me deu estímulos de coragem, estando sempre do meu lado.

Gostaria de agradecer em especial à professora Dr^a. Renata Santos Momoli, porque teve um momento que pensei em desistir e me lembro de que a senhora me disse: “Não desista, olha só quanto tempo e esforço você teve até chegar aqui!”. A professora Renata me deu forças neste momento, e todas às vezes que eu me lembrava dessas palavras, me sentia motivado a continuar. Toda construção do meu conhecimento que adquiri e pude colocar em prática neste trabalho foi por conta das orientações da professora Renata, desde a orientação na graduação, dos grupos de estudos até o mestrado, além do conhecimento moral que levarei para o resto de minha vida!

Agradeço muito a professora Dr^a. Karla Maria Silva de Faria que possibilitou a experiência e oportunidade de fazer o mestrado, que na verdade eu não acreditava que conseguiria chegar até aqui. Agradeço, a todas as orientações da professora Karla que a todo o momento estava disponível, com alegria e vontade de me ajudar. Por toda preocupação em melhorar o trabalho, que se transfigura na sua dedicação, cuidado e rigor científico, que com seu exemplo me ensinou a evoluir no exercício dos valores humanos.

Ao professor Dr. Matheus Peres Chagas que se tornou um amigo, e que sem a sua parceria neste trabalho eu não teria conseguido terminar, ou feito um trabalho com qualidade, com destaque nas análises mais rigorosas. Sempre demonstrou alegria e satisfação nos trabalhos de campo, que até mesmo no momento do almoço estava me ajudando. Além disso,

cedeu os equipamentos do laboratório de qualidade da madeira e bioenergia (LQMBio) da UFG e por ter passado todo o seu rico conhecimento desde os tempos da graduação. Pela calma e paciência gigantesca, que me faz sentir tranquilo e com confiança. Obrigado!

Fico muito feliz e agradecido por todo o conhecimento que o professor Dr. Marcos José da Silva pode contribuir desde a banca de qualificação até a defesa final. Assim como agradeço a Dr^a. Renata Cristina Bovi pelo aceite do convite para participar da banca da defesa final.

Agradeço muito ao Renato Gomes Silva formado em Sistema de Informações, que colaborou na separação das chuvas erosivas individuais por linguagem de programação *C Sharp*, através do *software* gratuito *Visual studio community 2017*, da *Microsoft*.

Sou grato ao Ariel Godinho Vespúcio, que considero um grande amigo e que me ajudou nos trabalhos de campo do Jardim Botânico de Goiânia.

Agradeço ao Diógenes Aires de Melo por ter cedido seu tempo para me instruir e dar iniciativa nos processos com base em ofícios para conseguir informações e dados na Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável - (SEPLAN) e Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística – (SEINFRA) de Goiânia.

A todo o pessoal da Agência Municipal do Meio Ambiente (AMMA) em especial a gerência de arborização, por ter concedido a autorização para retirada de amostras das árvores. Assim como do Bruno Cardoso Mesquita, por enviar informações sobre as erosões do parque.

Agradeço ao Gabriel Marinho e Silva e Tomás da Rosa Simões e do professor Kleber Teodoro Formiga por disponibilizarem dados de precipitação de pluviógrafo instalado próximo ao Jardim Botânico, que tiveram muito trabalho para monitorar e elaborar.

Sou enormemente grato à Geórgia Silveira de Sant'ana por ter me estruturado com aporte teórico para confirmação das espécies e disponibilizado material biológico para fotografar, presente no herbário do Jardim Botânico. Sou também muito agradecido ao Sebastião de Souza (Sabá), por ter fornecido seu conhecimento para identificação das espécies arbóreas do parque à bióloga Juliana Martins Silva por ter passado seu conhecimento sobre o Jardim Botânico e incentivo moral. Assim como sou grato pela companhia e proteção disponibilizada pela Guarda Civil Metropolitana (GCM) que atua disponibilizando guardas para a unidade de conservação de Goiânia.

Sou grato a todos que trabalham ou que trabalharam no Jardim Botânico, a exemplo do antigo gerente Edgar Barbosa Caldas, e do atual Flavio Costa Pereira que me ajudou ao autorizar e formalizar a pesquisa na unidade de conservação Jardim Botânico de Goiânia.

Agradeço ao incentivo financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradeço ao Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI) e o Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal de Goiás (UFG) de Goiânia, pela colaboração na aquisição de imagens das raízes realizadas nos equipamentos destes departamentos.

Sinto-me gratificado pela ajuda obtida nas análises de solos, realizadas pelos técnicos do Laboratório de Análise Foliar e de Fertilizantes (LAFF) e Laboratório de Física de solo (LFS), ambos da Escola de Agronomia (EA) e Engenharia de Alimentos da UFG.

Enfim, a todas as pessoas pela ajuda, colaboração e empenho disponibilizado para a concretização desta pesquisa!

“A ciência não pode resolver o mistério final da natureza. E isso é porque, em última análise, nós mesmos somos parte da natureza e, portanto, parte do mistério que estamos tentando resolver”.

Max Planck.

Isto sabemos, todas as coisas estão ligadas como o sangue que une uma família. Tudo que acontece com a terra, acontece com os filhos e filhas da terra. O homem não tece a teia da vida, ele é apenas um fio. Tudo o que faz à teia, ele faz a si mesmo.

TED PERRY

(Inspirado na Carta do Cacique Seattle).

RESUMO

A erosão hídrica acelerada por ação antrópica é considerada como o maior impacto aos solos, principalmente quando está inserida em ambientes urbanos. Contudo, métodos que possuem longevidade o suficiente para a distinção de eventos de erosão natural e acelerada, ainda são pouco explorados na literatura. Neste contexto, a dendrogeomorfologia se insere como importante metodologia, para datar e estimar a magnitude dos processos de erosão e sedimentação, com elevada precisão espaço-temporal. Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho foi avaliar a intensidade dos processos erosivos no Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JBAHT), utilizando indicadores dendrogeomorfológicos do lenho das raízes expostas e das taxas de perdas de solos e sedimentação anuais. Os procedimentos metodológicos consistiram em realizar análises da influência histórica de uso e ocupação dos solos do entorno, da análise da drenagem urbana e da textura e fertilidade dos solos. Para averiguar a influência antrópica no crescimento dos indivíduos do fragmento florestal do Jardim Botânico, foram escolhidas duas espécies, a *Anadenanthera macrocarpa* e *Schefflera morototoni*. As análises do histórico da ocupação e uso das terras revelaram alterações intensas de impermeabilização dos solos de 1988 a 1992 e as análises da eficiência do sistema de microgrenagem urbana foi caracterizado, predominantemente como comprometida, o que permitiu inferir associação com as elevadas taxas de movimentação de solos no fragmento florestal. Os resultados dendrocronológicos indicaram que as espécies estudadas apresentaram elevada sensibilidade ao ambiente externo e formação de anéis de crescimento anuais. As análises dendrogeomorfológicas revelaram que as maiores taxas verticais de perda de solos vão de 7 a 500 milímetros por ano, enquanto as perdas horizontais são de 110 a 665 milímetros. As taxas de sedimentação foram de 6,4 a 18,6 milímetros por ano e as datas das exposições radiculares possuem maior frequência nos anos de 2006, 2008, 2010 e 2013. A comparação cronológica dos anos prováveis de ocorrência de erosão hídrica, pelas raízes expostas com as chuvas intensas e erosivas determinou que as datas de ocorrência dos processos erosivos ocorreram nos anos de 2006, 2008, 2010, 2012, 2013 e 2016. As chuvas individuais erosivas com mais de 10 milímetros em intervalo de 15 minutos, correlacionadas com o número das evidências de erosão, registradas pelo lenho das raízes expostas, apresentaram correlação significativa com nível de confiança de 90%. Enquanto, as chuvas erosivas definidas para as regiões tropicais, maiores que 25 mm.h^{-1} , apresentaram correlação relativamente elevada de 70%. Considerando isso, as chuvas intensas e erosivas podem ter importância significativa no carreamento de solos. Assim como da textura dos solos que apresentaram elevado teor de areia, acima de 50% em 65% das amostras. A análise de fertilidade dos solos para o elemento Potássio (K^+) apresentou valores de 2 a 27 vezes acima do nível normal. Esses resultados indicam que os teores elevados de Potássio (K^+) podem ser advindos da urbanização pelo transporte pelas tubulações de água pluvial ou por descarte de resíduos químicos. Conclui-se que, as alterações antrópicas de impermeabilização, o elevado gradiente do relevo associados à frequente ocorrência de chuvas intensas podem estar afetando o surgimento dos processos erosivos. A erosão hídrica dos solos afetou o crescimento das árvores, como por exemplo, o crescimento maior dos grupos amostrais das árvores com raízes expostas e soterradas em relação ao grupo das árvores sem alterações do nível do solo.

Palavras-chave: Erosão hídrica dos solos; Dendrogeomorfologia; Drenagem urbana; Uso e ocupação das terras; Solos.

ABSTRACT

Water erosion accelerated by anthropic action is considered to have the greatest impact on soils, especially when it is inserted in urban environments. However, methods that have enough longevity to distinguish natural and accelerated erosion events are still poorly explored in the literature. In this context, dendrogeomorphology is an important methodology to date and estimate the magnitude of erosion and sedimentation processes, with high spatiotemporal precision. In this perspective, the objective of this work was to evaluate the intensity of the erosive processes in the Botanical Garden Amália Hermano Teixeira (JBAHT), using dendrogeomorphological indicators of the exposed roots wood and the rates of soil loss and annual sedimentation. The methodological procedures consisted of carrying out analyzes of the historical influence of use and occupation of the surrounding soils, the analysis of urban drainage and the texture and fertility of the soils. To determine the anthropic influence on the growth of individuals in the forest fragment of the Botanical Garden, two species were chosen, *Anadenanthera macrocarpa* and *Schefflera morototoni*. The analysis of the history of land occupation and use revealed intense changes in soil waterproofing from 1988 to 1992 and the analysis of the efficiency of the urban microgeneration system was characterized, predominantly as compromised, which allowed to infer association with the high rates of movement of land. soils in the forest fragment. The dendrochronological results indicated that the studied species showed high sensitivity to the external environment and formation of annual growth rings. Dendrogeomorphological analyzes revealed that the highest vertical rates of soil loss range from 7 to 500 millimeters per year, while horizontal losses are 110 to 665 millimeters. Sedimentation rates were 6.4 to 18.6 millimeters per year and the dates of root exposures are more frequent in the years 2006, 2008, 2010 and 2013. The chronological comparison of the probable years of occurrence of water erosion by the roots exposed with the intense and erosive rains determined that the dates of occurrence of the erosive processes occurred in the years 2006, 2008, 2010, 2012, 2013 and 2016. The individual erosive rains with more than 10 millimeters in interval of 15 minutes, correlated with the number of evidence of erosion, recorded by the exposed roots wood, showed a significant correlation with a 90% confidence level. Meanwhile, the erosive rainfall defined for tropical regions, greater than 25 mm.h⁻¹, showed a relatively high correlation of 70%. Considering this, intense and erosive rains can have significant importance in carrying soil. As well as the texture of the soils that presented high sand content, above 50% in 65% of the samples. The analysis of soil fertility for the element Potassium (K +) showed values from 2 to 27 times above the normal level. These results indicate that the high levels of Potassium (K +) may be due to urbanization by transport through rainwater pipes or by disposal of chemical waste. It is concluded that, the anthropic waterproofing alterations, the high gradient of the relief associated with the frequent occurrence of intense rains may be affecting the appearance of the erosive processes. Soil water erosion affected the growth of the trees, such as, for example, the greater growth of the sampling groups of trees with exposed roots and buried in relation to the group of trees without changes in soil level.

Keywords: Water erosion of soils; Dendrogeomorphology; Urban drainage; Land use and occupation; Soils.

Sumário

ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABELAS	19
ÍNDICE DE QUADROS	19
INTRODUÇÃO GERAL	20
CAPÍTULO I. Erosão hídrica dos solos: Avaliação interdisciplinar da Dendrogeomorfologia no contexto de ambientes urbanos.....	24
1. Erosão e Impactos.....	24
1.1 Custos associados à erosão hídrica.....	25
1.2 Dendrogeomorfologia na avaliação de processos erosivos hídricos	26
CAPÍTULO II. Solos e impactos da erosão hídrica: Uma análise integrada da evolução do uso e cobertura das terras, relevo e eficiência e condição da microdrenagem da área de contribuição do Jardim Botânico de Goiânia	32
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAIS E MÉTODOS	35
2.1 Localização e caracterização geoambiental da área de estudo	35
2.2 Procedimentos metodológicos	39
2.2.1 Etapa 1. Uso das terras e relevo.....	39
2.2.2 Etapa 2. Análise da microdrenagem	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1 Uso e cobertura das terras.....	46
3.2 Relevo da área de estudo	54
3.3 Avaliação da Microdrenagem.....	58
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
CAPÍTULO III. Dendrogeomorfologia na avaliação da intensidade dos processos erosivos em Unidade de Conservação urbana	65
1. INTRODUÇÃO	65
3. MATERIAIS E MÉTODOS	66
3.1 Seleção das áreas críticas no Jardim Botânico	66
3.2 Seleção das espécies arbóreas.....	67
3.3 Caracterização das espécies arbóreas	71
3.4 Procedimentos de coleta das amostras do tronco	73
3.5 Procedimentos de coleta de amostras das raízes expostas.....	73
3.6 Identificação da espessura de sedimentos acumulados no tronco	77
3.7 Estimativa da perda de solos	77

3.8 Procedimentos laboratoriais	80
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
4.1 Caracterização macroscópica do lenho do caule	84
4.2 Caracterização macroscópica do lenho das raízes expostas	87
4.3 Dimensões e intensidade do processo erosivo.....	91
4.4 Datação da erosão hídrica pelo caule	96
4.5 Datação e estimativa da erosão hídrica pelas raízes	99
4.6 Tendência de crescimento do caule	105
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
CAPÍTULO IV. Dendrogeomorfologia e fatores de surgimento da erosão hídrica dos solos: Relação da exposição radicular, chuvas intensas e atributos dos solos	113
1. INTRODUÇÃO	113
2. MATERIAIS E MÉTODOS	115
2.1 Caracterização climática.....	115
2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	116
2.2.1 Chuvas intensas e erosivas	116
2.2.2 Datação das perdas de solos	118
2.2.3 Atributos dos solos	120
2.2.3.1 Descrição morfológica.....	121
2.2.4 Atributo físico - Granulometria	122
2.2.5 Atributo químico - Fertilidade do solo	122
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	124
3.1 Dendrogeomorfologia.....	124
3.2 Chuvas erosivas e exposição radicular	128
3.3 Descrição morfológica.....	133
3.4 Granulometria dos solos	137
3.5 Fertilidade	140
3.6 Classificação dos solos	145
3.7 Análise integrada	147
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	154
CONCLUSÃO.....	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
Apêndice I: Ficha de descrição morfológica do perfil de solo P1N.....	172
Apêndice II: Ficha de descrição morfológica do perfil de solo P1F.....	173
Apêndice III: Concentração dos micronutrientes biodisponíveis no solo e matéria orgânica	174

Apêndice IV: Granulometria com percentagens de areia silte e argila do perfil P1N e P1F da unidade de conservação Jardim Botânico de Goiânia/GO	176
Anexo I: Autorização da utilização e disponibilização de imagens aéreas (ortofotos).....	177
Anexo II: Autorização concedida pela Gerência de Arborização Urbana-GERARB.....	178
Anexo III: Autorização 007/2018 da Diretoria de áreas Verdes e Unidades de Conservação e da Gerência do Jardim Botânico de Goiânia	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Anéis de crescimento da espécie Quercus robur L. (Carvalho).....	29
Figura 2: Raiz sem alterações anatômicas em condições normais do nível do solo (A). Crescimento anormal da raiz em determinado ano de exposição radicular (B).	30
Figura 3: Localização da área de estudo..	35
Figura 4: Feições erosivas e feições notáveis situadas dentro do parque municipal Jardim Botânico de Goiânia/GO.....	37
Figura 5: Tubulação de água pluvial com 0,70 metros de diâmetro a 10 metros da cabeceira da voçoroca da área I. Lançamento de água pluvial na área I e incisão de processo erosivo na nascente	38
Figura 6: Horizonte dos solos da área II, com propriedades de bastante matéria orgânica no segundo horizonte e saprolito no último horizonte	38
Figura 7: Encosta da Erodida Área I com 11 metros de profundidade (a) e (b) e 16 metros de largura (c)	39
Figura 8: Ortofoto de 2016 com 10 centímetros de resolução espacial, mostrando os detalhes do contorno dos polígonos de uso e cobertura das terras	40
Figura 9: Fluxograma exemplificando a metodologia utilizada para a delimitação da Área de contribuição do parque Jardim Botânico e do uso e cobertura das terras de 1964 a 2016.....	41
Figura 10: Elementos da microdrenagem avaliados <i>in loco</i>	44
Figura 11: Distribuição da frequência do tamanho (área em cm ³) das bocas de lobo da área de contribuição do Jardim Botânico/GO	45
Figura 12: Distribuição da frequência do diâmetro (cm) das tubulações de água pluvial da área de contribuição do Jardim Botânico/GO	45
Figura 13: Fluxograma de correlação das variáveis que influenciam na condição/eficiência da microdrenagem urbana	46
Figura 14: Uso e cobertura das terras do ano de 1964 a 2016 da área de estudo.....	49
Figura 15: Vias não asfaltadas e invasão de moradores com loteamentos e casas construídas dentro do parque, próximo à borda da vegetação da área I do Jardim Botânico, representadas em imagem do ano de 1980 disponibilizada pelos arquivos da biblioteca da SEPLAN.....	51
Figura 16: Porcentagem do uso e cobertura das terras do ano de 1964 a 2016 da área de estudo.....	52
Figura 17: Hipsometria, declividade e forma da vertente (curvatura) da área de estudo.....	55
Figura 18: Hipsometria com perfis topográficos (P1) – localizado na região norte da área 1 e perfil (P2) localizado na região norte da área 2.....	57
Figura 19: Funcionalidade das bocas de lobo e conservação das guias e sarjetas da área de contribuição do Parque Jardim Botânico de Goiânia/GO	59
Figura 20: Diâmetro das tubulações de água pluvial e área da entrada de água nas bocas de lobo em cm ² da área de contribuição do parque Jardim Botânico de Goiânia/GO	60

Figura 21: Eficiência e condição da microdrenagem da área de contribuição do Jardim Botânico de Goiânia/GO	61
Figura 22: Percentagem dos elementos e da eficiência e condição da microdrenagem.....	62
Figura 23: Anéis de crescimento da espécie <i>Quercus robur</i> L. (Carvalho).....	67
Figura 24: Raiz sem alterações anatômicas em condições normais do nível do solo e crescimento anormal da raiz em determinado ano de exposição radicular	69
Figura 25: Seleção de sítios com base nas áreas críticas do entorno do fragmento conforme a direção dos Arruamentos, da condição e eficiência da microdrenagem e da direção do fluxo hídrico	70
Figura 26: Localização dos indivíduos arbóreos dentro do Sitio I e Sitio II conforme a direção dos Arruamentos, da condição e eficiência da microdrenagem e da direção do fluxo hídrico.....	71
Figura 27: Bloco diagrama em 3D com a hipsometria, representando a área de contribuição do Jardim Botânico de Goiânia/GO	73
Figura 28: Identificação botânica das espécies arbóreas escolhidas para análise dendrogeomorfológica na área de estudos de acordo com material disponível no Herbário e coleta de material em <i>in loco</i> no Jardim Botânico de Goiânia-GO	74
Figura 29: Procedimentos de coleta do tronco	76
Figura 30: Procedimento de campo e amostragem das raízes expostas e enterradas dos indivíduos arbóreos selecionados	77
Figura 31: Procedimentos de coleta e amostragem.....	78
Figura 32: Escavação no sentido vertical do caule das espécies estudadas para identificação do colo da planta e medição em centímetros (cm) até o nível atual o nível dos solos	79
Figura 33: Procedimentos de coleta e medição	81
Figura 34: Medição da taxa de erosão vertical e longitudinal.....	82
Figura 35: Procedimentos laboratoriais	83
Figura 36: Procedimento de marcação dos anéis de crescimento nas raízes	85
Figura 37: Delimitação dos anéis de crescimento em raiz de exposta de <i>Annadanthera peregrina</i> – ID: (ANG 50), no software <i>Image Pro Plus</i> , para maior veracidade na delimitação dos anéis de crescimento e exclusão de anéis falsos.....	86
Figura 38: Formação de anéis de crescimento distintos.....	88
Figura 39: Seção transversal de amostra do caule da espécie de <i>Guarea guidonea</i> do Jardim Botânico de Goiânia/GO. Zonas fibrosas com formato irregular, dificultando a identificação e comprovação de anéis de crescimento.....	89
Figura 40: Formação de anéis de crescimento distintos em raízes expostas do Jardim Botânico de Goiânia/GO	90
Figura 41: Exemplos de raízes expostas com cicatrizes no lenho	91
Figura 42: Deformações na casca e cicatrizes no lenho das raízes expostas	92
Figura 43: Raízes expostas de <i>Guarea guidonea</i> no Jardim Botânico de Goiânia (JBAHT) .	95

Figura 44: Quadrantes das áreas amostrais previamente escolhidas em função do relevo e mostrando a espessura de sedimento acumulado e erodida em centímetros (cm) na base do tronco dos indivíduos arbóreos do Jardim Botânico de Goiânia/GO	96
Figura 45: Percentagem do número amostral e relação do relevo com os dos indivíduos arbóreos	97
Figura 46: Variações na largura dos anéis de crescimento da espécie de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> considerando as espécies nas condições de Testemunhas (sem alterações do nível dos solos), Enterradas e Expostas.....	100
Figura 47: Variações na largura dos anéis de crescimento da espécie de <i>Scheffera morototoni</i> considerando as espécies nas condições de Testemunhas (sem alterações do nível dos solos), Enterradas e Expostas.....	101
Figura 48: Série Máster das raízes expostas e testemunhas da <i>Anadenanthera macrocarpa</i> , com indicação das linhas pontilhadas que demostram as prováveis datas das perdas de solos, nas raízes que foram expostas pela erosão hídrica (A) Número de amostras (raios) das raízes expostas e testemunhas no mesmo intervalo temporal que as Séries Másters (B).	106
Figura 49: Série Máster das raízes expostas e testemunhas da <i>Scheffera morototoni</i> , com indicação das linhas pontilhadas, que demostram as prováveis datas das perdas de solos nas raízes que foram expostas pela erosão hídrica (A). Número de amostras (raios) das raízes expostas e testemunhas no mesmo intervalo temporal que as Séries Másters (B).	107
Figura 50: Incremento médio acumulado (IMA) com a representação da tendência de crescimento dos indivíduos arbóreos de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> . Testemunhas (A); Raízes expostas – Encosta das feições erosivas (B); Soterradas (C).....	109
Figura 51: Incremento médio acumulado (IMA) com a representação da tendência de crescimento dos indivíduos arbóreos de <i>Scheffera morototoni</i> . Testemunhas (A); Raízes expostas – Encosta das feições erosivas (B); Soterradas (C).	110
Figura 52: Série história (1964-2018) de precipitação acumulada e temperatura média mensal da área de estudo. Fonte: INMET e CPRM.....	116
Figura 53: Localização da área de estudo e da distância das estações pluviométricas mais próximas	117
Figura 54: Raios das raízes delimitados da medula a casca.....	119
Figura 55: Localização das coletas de solos superficiais de 0 a 20 centímetros e dos perfis de solos da Área I e II no Jardim Botânico de Goiânia/GO	121
Figura 56: Amostras de solo dentro das provetas de 500 ml para realizar as leituras	122
Figura 57: Instrumentos utilizados para realizar as análises da fertilidade dos solos	124
Figura 58. Anos da exposição radicular pelas alterações anatômicas nas raízes expostas de <i>S. morototoni</i> e <i>A. macrocapa</i>	125
Figura 59: Evidência de cicatriz na amostra de raiz exposta da espécie de <i>S. morototoni</i> no ano de 2016; Cicatriz formada no lenho da espécie de <i>A. macrocapa</i> no ano de 2006	127
Figura 60: Raízes expostas das árvores de <i>S. morototoni</i> na encosta do processo erosivo...	128

Figura 61: Eventos pluviométricos extremos de curta duração com intervalo de 5 minutos a 60 minutos e correlação com número de evidências de erosão hídrica.....	129
Figura 62: Eventos pluviométricos extremos em 24 horas/mm/ano e correlação com número de evidências de erosão hídrica	130
Figura 63: Chuvas individuais erosivas e chuvas não erosivas.....	131
Figura 64: Chuvas individuais erosivas e correlação com número de evidências de erosão observados pela largura dos anéis de crescimento e cicatrizes	132
Figura 65: Relação entre o número de chuvas erosivas selecionadas pelo método de HUDSON (1965) e o número de evidências de erosão	133
Figura 66: Perfil da Área I intitulado ``P1N`` (Plintossolo) com profundidades das camadas/horizontes.....	134
Figura 67: Perfil da Área II `` P1F`` com profundidades das camadas/horizontes.....	136
Figura 68: Textura de areia, silte e argila em solução de NaOH do perfil ``P1N`` da Área I do Jardim Botânico de Goiânia de Goiás	137
Figura 69: Textura de areia, silte e argila em solução de NaOH do perfil ``P1F`` da Área II do Jardim Botânico de Goiânia de Goiás.	139
Figura 70: Concentração dos macronutrientes biodisponíveis no solo e matéria orgânica para as amostras de 0 a 20 centímetros de profundidade.....	141
Figura 71: Concentração dos macronutrientes biodisponíveis no solo e matéria orgânica para os perfis de solos P1F e P1N.....	143
Figura 72: Drenagem urbana e processos erosivos e de sedimentação representados em milímetros por ano da Área I (sítio I)	148
Figura 73: Drenagem urbana e processos erosivos e de sedimentação representados em milímetros por ano da Área II (sítio II)	149
Figura 74: Crescimento das raízes expostas e enterradas (testemunhas) e sobreposição com a fertilidade dos solos de 0 a 20 centímetros do Sítio I (Área I) do Jardim Botânico de Goiânia.....	150
Figura 75: Crescimento das raízes expostas e enterradas (testemunhas) e sobreposição com a fertilidade dos solos de 0 a 20 centímetros do Sítio II (Área II) do Jardim Botânico de Goiânia.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indivíduos arbóreos identificados com medições realizadas <i>in loco</i> e variáveis do relevo (forma da vertente e declividade) extraídas de Modelo Digital de Terreno (MDT) de 5 (cinco) metros de resolução espacial.....	93
Tabela 2. Taxas de deposição de sedimentos em milímetros por ano com base na altura vertical do caule ao colo da planta e da idade dos indivíduos.....	99
Tabela 3. Datas e taxa das perdas de solos horizontais e verticais da encosta das erosões hídricas em milímetros por ano na Unidade de Conservação Jardim Botânico de Goiânia/GO	102
Tabela 4. Número de raízes por grupo amostral.....	119
Tabela 5. Grupo amostral das raízes, correlação no software COFECHA e idade máxima das raízes	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Anos, resolução espacial, escala e empresa executora dos projetos aerofotogramétricos adquiridos através da SEPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação) do município de Goiânia/GO	41
Quadro 2: Chave de classificação adotada para as imagens aéreas de 1964 a 2016.....	42
Quadro 3: Bairros que se encontram parcialmente ou totalmente localizados na área de estudos.....	53
Quadro 4: Número de raízes amostradas nas diversas condições do nível do solo dos indivíduos de <i>Schefflera morototoni</i> e <i>Anadenanthera macrocarpa</i>	75
Quadro 5: Anos prováveis da erosão ou soterramento do caule das espécies de <i>Schefflera morototoni</i> e <i>Anadenanthera macrocarpa</i>	99

INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um recurso finito e possui elevado valor econômico, social e ambiental. Apesar disso, a fragilidade dos solos ainda não é bem compreendida em função das dimensões dos impactos provenientes do manejo inadequado das terras frente à dinâmica das ocupações antrópicas, assim como da sua fragilidade e função ambiental e social (MORGAN, 2005).

A erosão hídrica acelerada por ação antrópica é considerada como o maior impacto aos solos, pois remove a camada superficial mais fértil provocando a diminuição da capacidade produtiva das culturas, assim como provoca graves distúrbios ambientais, tais como: assoreamento e poluição dos cursos hídricos (LAL, 2001; COGO et al., 2003).

Em contexto global, a consequência mais severa da degradação dos solos causada pela erosão acelerada é a contaminação dos corpos hídricos, com o transporte de metais pesados, produtos químicos altamente tóxicos e matéria orgânica, que aderidas nas partículas dos solos são carreadas para os cursos hídricos (BOARDMAN et al., 2003).

A poluição dos cursos hídricos causa a eutrofização desses recursos, que resultam em perdas de biodiversidade aquática e prejuízos financeiros e saúde da população (WANTZEN e MOL, 2013).

A origem e evolução dos processos erosivos influenciados pela ação antrópica são bem conhecidas (FANNING e BALLUFF FANNING, 1989; MORGAN, 2005; LEPSCH, 2010; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Contudo, a aplicação de modelos para a mensuração de processos erosivos não tem sido satisfatória nas regiões tropicais devido à quantidade e longevidade reduzidas dos modelos de predição (HART et al., 2017).

As regiões tropicais concentram os territórios que ainda estão em processo de desenvolvimento econômico, onde há carência de técnicas para mitigação dos processos erosivos e as alterações antrópicas responsáveis pelas mudanças no uso e cobertura das terras são as principais causas da erosão acelerada, totalizando 59,2% da erosão global do solo (BORRELLI et al., 2013).

Grande parte da pesquisa de erosão pontual foi realizada em terras áridas em climas áridos ou semi-áridos. São geralmente regiões de *Badlands* que são áreas altamente erodidas, compostos por leito rochoso ou regolito em altos estágios de intemperismo (HART et al., 2017).

Nas regiões tropicais, as perdas de solo são mais elevadas do que nas regiões temperadas, devido principalmente ao fato das chuvas serem mais intensas, além da

ocorrência de impactos referentes a manejo inadequado do solo, remoção da cobertura vegetal florestal, e atividades de mineração, assim como da falta de recursos para mitigação deste impacto (WANTZEN e MOL, 2013; GUERRA et al., 2014).

No que se refere ao Brasil, à erosão hídrica acelerada é um problema sério que vem exaurindo cada vez mais os recursos naturais. Portanto, se torna importante a mensuração desses processos com métodos confiáveis e elevada precisão (GUERRA et al., 2014).

Diante disso, comprehende-se que é necessário maior ampliação e concentração de pesquisas em erosão hídrica dos solos na savana brasileira (Cerrado), porque esta é uma grande e importante região econômica e ambiental. No entanto, os estudos científicos de erosão do solo no Cerrado Brasileiro ainda precisam ser analisados em escalas temporais maiores (OLIVEIRA et al., 2015a).

A dendrogeomorfologia é uma metodologia derivada da dendrocronologia e utiliza a idade cronológica das árvores e arbustos para estimar alterações geomórficas do nível do solo, assim como utiliza modificações anatômicas ou não causadas por eventos geomórficos, no lenho das árvores (ALESTALO, 1971).

A elevada precisão temporal (anual) e espacial para estimativa de processos erosivos tornam essa ferramenta uma alternativa confiável para mensuração de impactos antrópicos devido ao uso do solo (STOFFEL et al., 2013).

Portanto, essa ferramenta se constitui como ótima variável “proxy”¹, para estimação de alterações geomórficas e climáticas, que são avaliadas através da largura dos anéis de crescimento e alterações anatômicas presentes no lenho das árvores (FONTANA et al., 2018).

A dendrogeomorfologia como uma importante variável proxy, possui uma abordagem interdisciplinar para datar os eventos físicos ambientais e pode proporcionar melhor entendimento da relação entre os impactos da erosão hídrica dos solos no crescimento da vegetação nativa, assim como a datação do início desses processos de alteração geomórfica do nível do solo. Esses processos ocorrem na Unidade de Conservação (UC) intitulada Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JBAHT), situada no Cerrado Brasileiro, e a presença de processos erosivos de grandes dimensões podem ser confirmadas pela presença de ravinas e voçorocas, conforme relatado no trabalho de Oliveira e Momoli (2015).

¹ É importante ressaltar que as variáveis proxys (do inglês proxy, “representante”, “substituto”), constituem-se de análises na área biológica, geológica ou geofísica com qualidade e resolução temporal aceitável e possuem maior confiabilidade de predição, como por exemplo, as análises climáticas que buscam reconstruir e obter estimativas bastante próximas das condições climáticas reais do passado (OLIVEIRA et al., 2015b).

Apenas os trabalhos de Bovi (2013), Castilho (2016) e Bovi et al. (2018) contribuíram como avaliação metodológica das alterações das raízes expostas avaliando a dendrogeomorfologia nas regiões de transição entre Formação Florestal, Cerrado e Mata Atlântica, mas as análises desses pesquisadores foram realizadas em ambiente peri-urbano com antiga área de agricultura que foi reflorestada, o que contrasta com o tipo de ambiente selecionado para a presente pesquisa.

A resposta de incremento radial de crescimento do tronco e das raízes expostas da área de estudo de Bovi (2013), Castilho (2016) e Bovi et al. (2018) podem ter diferenças significativas em comparação as condições de influência antrópicas encontradas no Jardim Botânico de Goiânia/GO.

Este trabalho ainda proporciona entendimento da resposta de crescimento e das alterações anatômicas das raízes e do lenho das espécies arbóreas do Cerrado, *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) e *Schefflera morototoni* (Aubl.), em relação às alterações antrópicas do uso e cobertura das terras e de voçorocas e ravinas.

A taxa de perda de solos no Jardim Botânico possui uma dinâmica acelerada por ação antrópica, que está assoreando as nascentes do córrego Botafogo, que é um importante rio que abastece a cidade de Goiânia. Oliveira e Momoli (2015), constataram um total de 6 (seis) centímetros de perda de solos no intervalo temporal de uma semana.

Outros trabalhos confirmam que a erosão hídrica no Jardim Botânico é acelerada por ação antrópica e advém da expansão e da falta de ordenamento do uso e cobertura das terras e das queimadas clandestinas no parque (MESQUITA, 2014; ROMERO et al., 2017; SILVA; PELA, 2017).

Diante do exposto, este trabalho tem como contribuição, compreender a evolução espaço-temporal da dimensão dos processos erosivos presentes em uma Unidade de Conservação (UC) inserida em um ambiente urbano no Cerrado Brasileiro. Assim como, averiguar a ocorrência de indicadores dendrogeomorfológicos, como alterações na largura dos anéis de crescimento e cicatrizes em função da erosão hídrica dos solos.

Neste quesito, admite-se como hipótese que o surgimento e evolução dos processos erosivos no Jardim Botânico estão associados à impermeabilização e a expansão da área urbana do entorno que afetam diretamente o crescimento fisiológico das árvores do parque e presença de cicatrizes nas raízes expostas, pois os fragmentos florestais envoltos por matriz antrópica, geralmente quase totalmente impermeabilizados, possuem maior volume hídrico por efeito de escoamento superficial do que regiões urbanas ou periurbanas e a falta de

eficiência e condição péssima da drenagem urbana, pode levar a maiores índices de alagamento e erosão hídrica dos solos.

Por esse motivo se torna essencial à análise espacial, a condição da eficiência da drenagem urbana com a dendrogeomorfologia, no intento de compreender se as regiões onde se localizam as maiores perdas de solos anuais registradas através dos indivíduos arbóreos, possuem condições péssimas da drenagem urbana.

Para saber disso, as variações no ritmo de crescimento dos indivíduos foram analisadas, a exemplo das árvores sem alterações do nível dos solos (testemunhas) em relação aos indivíduos arbóreos localizados na encosta dos processos erosivos.

Esse critério de seleção é importante para determinar a relação de causa e efeito entre a taxa de impermeabilização dos solos, o surgimento dos processos erosivos, as alterações na largura dos anéis de crescimento e das alterações anatômicas do lenho do tronco, das raízes expostas e raízes enterradas (GÄRTNER, 2007; BODOQUE et al. 2011; STOFFEL et al. 2013; BOVI et al. 2018).

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a intensidade dos processos erosivos no Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JBAHT), utilizando a dendrogeomorfologia como metodologia para análise das alterações anatômicas no lenho das raízes expostas e das taxas médias de perdas de solos e sedimentação.

Os problemas a serem atendidos neste trabalho são: O relevo e as alterações antrópicas da área de contribuição do Jardim Botânico influenciam na formação dos processos erosivos da área de estudo? Os diferentes graus de sedimentação e erosão estão afetando o crescimento fisiológico dos indivíduos arbóreos do Jardim Botânico de Goiânia/Goiás/Brasil? As alterações anatômicas registradas no lenho das raízes expostas são significativas ou não?

Os objetivos específicos são:

- a) Avaliar a influência histórica de ocupação do solo do entorno;
- b) Avaliar os aspectos hidrológicos incidentes no JBAHT e entorno;
- c) Averiguar a espessura de solo acumulado na base do tronco de indivíduos arbóreos com potencial dendrocronológico e datação dos processos;
- d) Estimar e datar a perda de solo a partir das raízes expostas;
- e) Identificar os atributos físicos do solo e das chuvas intensas e erosivas que influenciam no processo erosivo.

CAPÍTULO I: EROSÃO HÍDRICA DOS SOLOS: AVALIAÇÃO INTERDISCIPLINAR DA DENDROGEOMORFOLOGIA NO CONTEXTO DE AMBIENTES URBANOS

1. Erosão e Impactos

A erosão é um problema mundial que é responsável pela perda de 75 bilhões de toneladas de solo que são removidas por erosão eólica e hídrica. Entretanto, as perdas de solos são mais elevadas nas regiões tropicais como Ásia, África e América do Sul, com média de 30 a 40 toneladas por hectare ano e menor nos Estados Unidos e Europa com cerca de 17 toneladas por hectare ano (PIMENTEL et al., 1995). A diferença entre as taxas de perdas de solo está associada ao volume hídrico precipitado intensamente nas regiões tropicais (WISCHMEIER e SMITH, 1978), o que demanda, portanto, maior preocupação de políticas públicas.

A erosão hídrica é um processo composto por três etapas: 1) desprendimento de partículas da matriz do solo, 2) transporte de partículas e 3) deposição das partículas/sedimentos nas porções rebaixadas dos terrenos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

A primeira etapa da erosão hídrica tem início com o impacto das gotas da chuva no solo. Conhecido como efeito *Splash*, o desprendimento das partículas do solo como silte e argila podem provocar o selamento superficial do solo ou formação de crostas por obstrução, e a consequente diminuição da porosidade do solo da infiltração da água e o aumento do escoamento superficial da água (GUERRA et al., 2014).

É importante ressaltar que as gotas da chuva que não são interceptadas pela vegetação atingem a superfície do solo com maior energia cinética, provoca a ruptura dos agregados com maior facilidade e diminui a força coesiva dos solos, que com o decorrer do tempo da chuva, aumenta o arraste de partículas menores (PRUSKI, 2009).

A erosão hídrica dos solos, conhecida como laminar, é caracterizada pela desagregação e arraste das partículas que ficam na superfície do solo em camadas uniformes e laminares, que torna esse tipo de impacto mesmo quando acelerado por ação antrópica de difícil identificação (LAL, 2001; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Outro tipo de feição erosiva, mas acelerada é conhecido como sulcos, que corresponde a feições erosivas causadas pelo escoamento hídrico difuso sobre a superfície do solo, que se concentra em fluxos intensos, com tensão de cisalhamento suficiente para desagregar o solo, podendo ser favorecido por pequenas depressões nas feições topográficas (MORGAN, 2005).

Nas voçorocas ocorrem perdas de solos maiores do que nos sulcos, ambas definidas como erosões lineares, e a erosão laminar considerada um tipo de erosão difusa, possui velocidade menor. As feições erosivas intituladas como sulcos, dependendo do relevo são interligadas pela convergência do fluxo hídrico e evolui para dimensões maiores, até apresentar afloramento das rochas e do nível freático, neste estágio passam a ser conhecidas como voçorocas (LEPSCH, 2010).

É importante ressaltar que nem toda a erosão, para evoluir em voçoroca, passa pelo processo de perda laminar, pode ocorrer voçoroca e sulco logo de início, quando o fluxo hídrico superficial e subsuperficial é muito concentrado.

A erosão hídrica pode, portanto, se formar por um processo natural ou antrópico (acelerado). Os feições resultantes de erosão hídrica podem aumentar sua velocidade de formação e evolução devido a fatores como maior intensidade, duração e frequência da precipitação hídrica, manejo inadequado, falta de cobertura vegetal e impermeabilização e compactação do solo (BRONICK e LAL, 2005; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; PANAGOS et al., 2015).

Alguns estudos sobre os efeitos da alteração da superfície do solo no desenvolvimento das árvores, em áreas naturais, indicaram que tanto a perda de solo quanto a retenção de sedimentos na base do tronco provocam alterações anatômicas no lenho das árvores e afetam o desenvolvimento dos indivíduos, por vezes, causando a redução do seu crescimento (STRUNK, 1997; OUDEN et al., 2007; JOLLEY et al., 2010). Embora esses processos sejam conhecidos, ainda é escasso na literatura estudos que tratam da relação entre a velocidade de evolução dos processos erosivos com a resiliência das espécies arbóreas (RUBIALES et al., 2008; BODOQUE et al., 2011).

1.1. Custos associados à erosão hídrica

No Brasil, a erosão hídrica do solo em lavouras provoca a perda de fertilizantes importantes para produção agrícola, como P_2O_5 , KCl e CaMg (CO_3)₂, respectivamente, na ordem de 42%, 60% e 38%. Estima-se que as perdas de solos sejam de 616,5 milhões de toneladas ao ano e resultem em valores na ordem de US\$ 1,3 bilhão ao ano (DECHEN et al., 2015). Embora exista a perda de insumos como fertilizantes, a perda de sementes e da camada superficial do solo, rica em matéria orgânica também representam prejuízos econômicos relevantes.

No mundo o quantitativo de área perdida de solos associados a eventos chuvosos pode chegar a 1 bilhão de hectares e prejuízos econômicos de 400 bilhões de dólares/ano (LAL et

al., 1998). Os estudos de Pimentel et al. (1995), confirmam valores de 10 milhões de hectares por ano, apenas para terras agrícolas em todo o mundo. Segundo os autores, nos Estados Unidos 44 bilhões de dólares por ano são destinados as degradações causadas pela erosão hídrica.

A erosão hídrica do solo ainda causa prejuízos indiretos como a poluição das águas por sedimentos e poluentes que pode causar problemas de saúde pública, encarecer ou impedir o seu uso para dessedentação humana e animal.

Estimativas para as áreas rurais indicam que as taxas de perda de solo geralmente variam de 10 a 50 t ha⁻¹.a⁻¹, e podem alcançar 100 t ha⁻¹.a⁻¹, conforme averiguado em diversos estados no Brasil (COSTA e SILVA, 2012; ROCHA et al., 2012; SANTOS et al., 2019; SCARPINELLA et al., 2019; DEMARCHI et al., 2019).

Os estudos de Guimarães et al. (2011) e Guerra et al. (2014), demostram, no entanto, que as perdas de solos no Brasil em áreas urbanas são mais elevadas do que a de áreas de pastagens e agrícolas, pois geralmente estão associadas a declividades elevadas e chuvas intensas e podem causar perdas de solos que excedem 200 t ha⁻¹.a⁻¹, e por esse motivo são classificadas como eventos extremos.

1.2 Dendrogeomorfologia na avaliação de processos erosivos hídricos

A erosão hídrica pode afetar severamente a resiliência de fragmentos florestais, diminuindo a quantidade de elementos minerais disponíveis para as plantas, favorecendo a mortalidade de espécies nativas e o domínio de espécies mais resilientes ao processo de degradação, e causar a redução da diversidade florística (JIONGXIN e GUOHUA, 1992).

A perda de solo que expõe as raízes e o acúmulo de sedimentos na base dos indivíduos arbóreos pode deixar registros cronológicos como cicatrizes e variação da largura dos anéis de crescimento do lenho das raízes e do caule (CARRARA e CARROLL, 1979), que podem se traduzir em variações no ritmo de crescimento. As espécies arbóreas capazes de formar anéis de crescimento anuais podem funcionar como bioindicadores de eventos geomórficos que variam no tempo e no espaço (MOMOLI et al., 2012).

A planta responde com alterações anatômicas, a partir do início da exposição das raízes, que geralmente causa aumento na largura dos anéis de crescimento desde a data de exposição, e dessa forma é possível identificar o ano que a raiz começou a apresentar perdas de solos (ŠILHÁN et al., 2016).

Após a exposição radicular é comum haver a formação de tecido de reação que é chamado de lenho de "compressão", em coníferas e de "tração" nas eudicotiledôneas e

dicotiledôneas basais (folhosas). Observa-se então a partir do primeiro ano de exposição, o aumento abrupto na largura dos anéis de crescimento subsequentes e uma deformação na simetria da circunferência das raízes denominada excentricidade, ao se comparar com raízes enterradas ou no nível normal do solo (BODOQUE et al., 2011).

Os eventos geomórficos podem assim ser datados, como por exemplo, a erosão hídrica. A existência de cicatrizes em raízes expostas por erosão possibilita a demarcação precisa do primeiro ano de exposição radicular, e é uma alternativa para datação, além da simples medição da largura dos anéis de crescimento (CARRARA e CARROLL, 1979).

As cicatrizes também podem ser utilizadas para datar eventos geomórficos como avalanches, fluxo de detritos, erosão hídrica dos solos, queimadas, atividades de atropelamento por animais e pessoas. E tem sido utilizada na literatura, para datação destes eventos, tanto no lenho do tronco como das raízes expostas (GÄRTNER, 2007; HITZ et al., 2008; RUBIALES et al., 2008; BODOQUE et al., 2011).

A dendrocronologia (*dendron*, madeira; *chronos*, tempo; e *logus*, estudo) é a ciência que estuda as características anatômicas do lenho das árvores para reconstruir eventos históricos de condições ambientais externas que possuam ou não interferência antrópica, através da idade das plantas, largura dos anéis e interações com variáveis do meio físico (WENK, 2003).

Considerando isso, a dendrogeomorfologia possibilita entender a resiliência ou sensibilidade dos indivíduos arbóreos de um fragmento de vegetação, florestas, veredas ou áreas de preservação florestal, através das alterações anatômicas que são registradas como injurias (cicatrizes) ou variações na largura dos anéis de crescimento das árvores (BOLLSCHWEILER et al., 2008; JIMÉNEZ, 2011).

Apesar de ser recente em todo o mundo, a dendrogeomorfologia, vem sendo muito utilizada, porque se configura como uma ferramenta de elevada precisão anual para identificação espaço-temporal e mensuração de processos erosivos e de sedimentação em uma longa escala de tempo que remontam ao período Holoceno, dependendo da idade da espécie (SOLOMINA, 2002; STOFFEL et al., 2013).

A avaliação da existência de anéis de crescimento remonta ao século XVI com Leonardo Da Vinci. No entanto, somente no início do século XX, nos Estados Unidos, o astrônomo Andrew Ellicott Douglass aprofundou os estudos dendrocronológicos e identificou variações na largura dos anéis de crescimento como característica semelhante entre várias espécies arbóreas (FRITTS, 1976; SHEPPARD, 2010).

Durante muito tempo, foi admitida a inexistência de anéis de crescimento nas regiões tropicais (SCHWEINGRUBER, 1998). Entretanto, após a década de 1960, a partir das publicações de Alvim (1964) e Alvim e Alvim (1978), muitos registros bibliográficos vieram provar a existência dos anéis de crescimento nas regiões tropicais, utilizando métodos dendrocronológicos.

Estudos com espécies tropicais, principalmente após os anos 2000, vêm contribuindo com dados sobre a anatomia do lenho, potencial dos anéis de crescimento e correlações com o clima e com a erosão do solo (TOMAZELO FILHO et al., 2004; CHAGAS et al., 2005; MOMOLI et. al., 2012; LOBÃO et al., 2016; ANDREACCI et al., 2017; BOVI et al., 2018).

Nesta perspectiva, os trabalhos de Momoli et al. (2012), Bovi (2013), Castilho (2016) e Bovi et al. (2018) são tidos como pioneiros na aplicação da dendrogeomorfologia em regiões savânicas do Bioma Cerrado no Brasil e em regiões de transição entre Formação Florestal com indivíduos componentes de Cerrado e Mata Atlântica.

O trabalho de Momoli et al. (2012) datou processos de sedimentação através do caule de espécies de *Guarea guidonea* (Marinheiro) em ambiente de mata ciliar no Bioma Cerrado envolto por exploração agrícola e com histórico de manejo inadequado dos solos. Os autores obtiveram valores de taxas de sedimentação elevadas, de 34 cm de sedimento em apenas 24 anos, que corresponde a uma deposição média de 1,4 cm por ano.

Os estudos de Bovi (2013) e Bovi et al. (2018), por meio de uma avaliação espaço-temporal, estimou a velocidade e datou o início da erosão hídrica através de raízes expostas de indivíduos de *Schizolobium parahyba* - (Guapuruvu) em uma região de mata reflorestada e localizada em uma região periurbana, nas regiões de transição entre Formação Florestal, Cerrado e Mata Atlântica e determinou que a erosão nesta região ocorresse a uma taxa 2,93 a 3,89 cm por ano e extremos de 16 cm e 31,56 m³ por ano.

O trabalho de Castilho (2016) ocorreu na mesma região florestal de Bovi (2013); Bovi et al. (2018), com o intuito de ampliar esses estudos analisando espécies diferentes, intituladas *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, estimou valores de taxas de erosão hídrica vertical na voçoroca de 17 a 36,6 mm/ano e taxas de erosões remontante da voçoroca ou horizontais de 0,70 a 1,45 m/ano.

Como os processos intempéricos de desgaste das rochas pela natureza são lentos e o tempo e a intensidade com que os solos são submetidos às alterações do uso antrópico tornam os solos recursos não renováveis (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Normalmente são necessários de 100 a 10.000 anos para produzir solo fértil com cerca de 1 a 30 cm de

espessura por meio do substrato rochoso inalterado (SMITH e STAMEY, 1964; BRADY e WEIL, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Segundo Brady e Weil (2013) nos 100 primeiros anos acontecem os primeiros estágios de intemperismo e por volta dos 10.000 anos, em regiões de florestas é que indícios do primeiro Horizonte O, que começa a ser formado, seguido de um horizonte A e B, com desenvolvimento de agregados em forma de blocos e acúmulo de argilas, ácidos e óxidos.

Em condições de intemperismo intenso, o tempo necessário para a formação de uma espessura de 25 mm de solo pode ser reduzido a 30 anos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Portanto, percebe-se que mesmo se tratando de regiões periurbanas os valores de perda de solos encontrados por Momoli et al. (2012); Bovi (2013); Castilho (2016); Bovi et al. (2018) excedem a taxa de formação dos solos e por esse motivo a dendrogeomorfologia se torna um importante bioindicador de avaliação de processos erosivos em distintos ambientes.

O trabalho de Ouden et al. (2007) é um exemplo claro do potencial da dendrogeomorfologia para a compreensão das consequências da erosão hídrica no caule das árvores. Segundo os autores, a perda de solo e a deposição de sedimentos na base das árvores podem gerar alterações anatômicas nas células do tecido do caule, como redução na largura dos anéis de crescimento, no diâmetro e frequência dos vasos, resultando assim, em um retardamento no desenvolvimento das árvores (Figura 1).

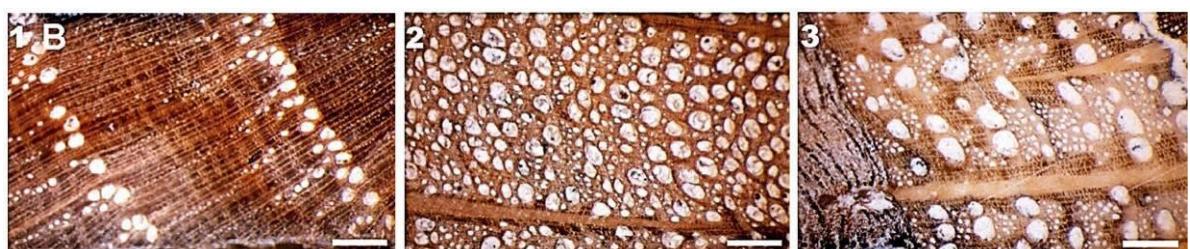


Figura 1. Anéis de crescimento da espécie *Quercus robur* L. (Carvalho). Sem alterações em sua largura e vasos com diâmetro e distribuição normais (1B). Redução nos anéis de crescimento, com modificação na distribuição dos vasos e de seu tamanho (2). Anéis de crescimento, distribuição e diâmetro dos vasos, voltando a condições normais do lenho, em consequência de erosão após período de sedimentação. **Fonte:** (OUDEN et al., 2007).

Apesar disso, outros trabalhos (BODOQUE et al., 2005; STOFFEL e BOLLSCHWEILER, 2008) sugeriram que alterações no ritmo de crescimento dos indivíduos arbóreos dependem da magnitude do processo envolvido e tem identificado o aumento progressivo da largura dos anéis de crescimento com o efeito da exposição radicular e do impacto do fluxo de detritos no caule das árvores.

Apesar das raízes possuírem ritmos de crescimento diferentes do caule, geralmente quando perde sua cobertura de solo, alterações anatômicas também podem ser verificadas em seu lenho, como um crescimento abrupto ou progressivo da largura dos anéis de crescimento (Figura 2B) e consequentemente aumento no número de células, do lume celular e do lenho tardio (BALLESTEROS-CÁNOVAS et al., 2013).

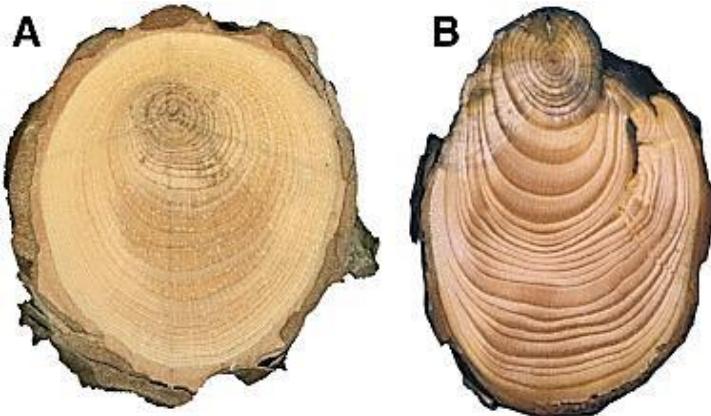


Figura 2. Raiz sem alterações anatômicas em condições normais do nível do solo (A). Crescimento anormal da raiz em determinado ano de exposição radicular (B). **Fonte:** (BALLESTEROS-CÁNOVAS et al., 2013).

Gärtner (2007) demonstrou que em espécies de coníferas a exposição radicular resultou na redução da área do lume de fibras e de vasos (até 50%) do lenho formado no primeiro ano após a ocorrência do evento.

Outros estudos recentes abordam a atividade de atropelamento de raízes parcialmente expostas causadas pelo fluxo de pessoas em fragmentos florestais, que foi o objetivo do trabalho de Sunohara e Ikeda, (2003) e Santoro et al. (2012), os quais comprovaram que a pressão e degradação exercida sob a casca da raiz, pode causar deformidades como cicatrizes no lenho de raízes expostas.

É importante destacar que a compactação dos solos, causada por origem antrópica, resulta em menor crescimento das raízes ao longo do tempo, ou mesmo ritmos de crescimentos distintos em diferentes solos e níveis de compactação (SILVA e ROSOLEM, 2001).

Contudo, uma das principais propriedades físicas dos solos que regulam essas interações são as propriedades granulométricas, como por exemplo, solos argilosos com baixa agregação que normalmente possuem poros menores, podem apresentar mais compactação e pior drenagem (RELLAN-ALVAREZ et al., 2016).

Segundo Rellan-Alvarez et al. (2016), esses fatores causam maior limitação no crescimento das raízes quando comparados aos solos arenosos, que possuem poros maiores.

No entanto, solos mais arenosos, possibilitam maior infiltração de água, mas perdem os volumes estocados mais rapidamente, proporcionando maiores déficits hídricos à medida que o solo seca.

Outra hipótese que merece maior aprofundamento é a averiguação da existência de correlação entre os volumes de solos, que geralmente são perdidos devido às chuvas erosivas com o crescimento e número de cicatrizes das raízes expostas.

Nota-se também escassez de trabalhos, quando se considera o efeito da erosão hídrica no crescimento de espécies em condição de soterramento, com raízes expostas e das espécies sem alteração do nível dos solos mais conhecidas como testemunhas.

Essas condições foram testadas nos trabalhos de Bovi (2013) e Castilho (2016) nas regiões tropicais que identificaram que a erosão hídrica afetou o crescimento do caule e raízes das árvores. Bovi (2013) não identificou existência de relação entre os sinais anatômicos causados pela erosão hídrica no lenho das raízes com as chuvas consideradas erosivas, devido à distância da estação meteorológica com sua área de estudo. Castilho (2016) verificou que existe relação entre os anos com maior número de chuvas erosivas e os anos de maior quantitativo de sinais anatômicos nas raízes expostas que comprovam o início do processo erosivo, mas não encontrou relação positiva entre essas variáveis para todos os anos.

Outros estudos como o de Malik (2008) e Šilhán (2012), localizados em região de clima temperado, indicaram que as precipitações intensas anuais tiveram relação com as datas de exposição das raízes.

A dendrogeomorfologia possui um vasto campo para análises interdisciplinares. Entretanto, mais estudos colaborativos precisam ser formulados para compreensão da interação da erosão hídrica dos solos com o crescimento fisiológico de indivíduos arbóreos, e como o ambiente urbano e mais natural se insere neste contexto.

Ressalta-se que as regiões tropicais têm desenvolvido a dendrocronologia e dendrogemorfologia e descoberto alto potencial de formação de anéis de crescimentos anuais em espécies arbóreas e arbustivas e que essa ciência deveria ser mais explorada nesta região, assim como nas regiões savânicas (Cerrado Brasileiro), onde os estudos ainda são limitados.

Para compreender os efeitos adversos da degradação dos solos, como por exemplo, a erosão e sedimentação, necessita-se então, conhecer a resposta de crescimento das raízes e do caule em função desses impactos ambientais e a interação das propriedades físicas e químicas do solo, com as raízes e essas análises para a área de pesquisa serão expostas nos próximos capítulos.

CAPÍTULO II. SOLOS E IMPACTOS DA EROSÃO HÍDRICA: UMA ANÁLISE INTEGRADA DA EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DAS TERRAS, RELEVO E EFICIÊNCIA E CONDIÇÃO DA MICRODRENAGEM DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO JARDIM BOTÂNICO DE GOIÂNIA/GO

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros conhecimentos sobre a estrutura tridimensional dos solos foram estabelecidos por Vasily Dokuchaev em 1883, que através de vários estudos de campo concluiu que os solos são compostos de uma série de *pedons*, constituídos de horizontes superpostos e originados pelos fatores como o material de origem, relevo, organismos vivos, clima e tempo (LEPSCH, 2010).

O funcionamento físico-hídrico dos solos passou a ser mais bem compreendido a partir de estudos sobre atributos físicos como composição granulométrica, densidade, porosidade e permeabilidade dos solos. Esses estudos tornaram essenciais para inferir sobre o comportamento dos solos em ambientes com maior ou menor influência de atividades antrópicas (LEPSCH, 2011).

Neste quesito, os ambientes que são ecologicamente conservados, quando submetidos à impactos como manejo inadequado, falta de cobertura vegetal, impermeabilização e compactação, serão afetados por erosão hídrica dos solos acelerada, ocasionando consequências negativas como o declínio da diversidade vegetal e da comunidade de microorganismos existentes no solo (LAL, 2003; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Os diferentes tipos de solos podem ter maior ou menor vulnerabilidade, e sua resiliência pode ser alterada dependendo das condições de alterações antrópicas como, por exemplo, da evolução espaço-temporal do uso e cobertura das terras, que por sua vez podem alterar as condições naturais de formação dos solos, relevo e do clima (LEPSCH, 2011).

O solo é um recurso limitado e estratégico de elevada importância social, econômica e ambiental (WISCHMEIER e SMITH, 1978). No entanto, a erosão hídrica é considerada como uma das formas que mais degradam os solos, assim como é um dos problemas mais graves que a produção de alimentos mundial enfrenta no século XXI (PIMENTEL e BURGESS, 2013).

Segundo Borrelli et al. (2013), a erosão hídrica totaliza uma perda de cerca de 35,9 bilhões de toneladas de solos férteis anualmente por alterações antrópicas no mundo.

Para Jazouli et al. (2017) existem dois problemas mais evidentes que a erosão dos solos pode acarretar. O primeiro é a perda da fertilidade das camadas superficiais que resulta

em perda da produtividade das culturas e o segundo é o assoreamento de cursos hídricos, que provoca a redução da capacidade de armazenamento e disponibilidade hídrica, além da degradação da qualidade da água oferecida para a população.

A erosão hídrica também atinge diretamente as questões socioeconômicas. Por exemplo, a erosão laminar cuja origem na bacia hidrográfica é de difícil detecção, pode inibir as ações necessárias de mitigação desse impacto, que competem às políticas públicas (BOARDMAN et al., 2003).

Outro problema mundial relacionado à erosão é a desertificação dos solos, que tem como principal agente causador a erosão hídrica acelerada, que reduz o total de carbono no solo e a transferência deste elemento para a atmosfera, podendo influenciar no efeito estufa (LAL, 2001).

Apesar disso, pouco é mencionado na literatura sobre as degradações que os diversos tipos de erosão do solo podem acarretar sobre a diversidade e crescimento das plantas e consequentemente na biodiversidade dos ecossistemas do solo (JONES et al., 1997).

Outra questão relevante sobre erosão e que é pouco discutida, quando se considera o impacto das áreas urbanas na diversidade ecológica, é que essa relação pode ser influenciada pela impermeabilização dos solos, que podem gerar alterações no ciclo hidrológico e provocar aumento dos eventos de inundações, erosão hídrica e poluição (SCALENGHE e AJMONE-MARSAN, 2009).

A impermeabilização total dos solos principalmente nas áreas de planície de inundaçao, aliada à inadequabilidade e ineficiência dos sistemas de drenagem urbana, diminui o tempo de concentração das águas e aumenta o pico de vazão a jusante, causando o aumento da frequência de enchentes que consequentemente podem acelerar a evolução dos diversos tipos de erosão hídrica dos solos (CRAUL, 1992).

O desenvolvimento urbano com a exposição dos solos, durante a fase de construção e impermeabilização, proporciona menor tempo dos picos de escoamento e de fluxo hídrico superficial, produzindo altas concentrações de sedimentos e aumentando a intensidade dos processos erosivos, assim como gera eventos de inundaçao mais frequentes (CHRISTOFOLLETTI, 1993; MORGAN, 2005).

Embora existam todos esses impactos em áreas urbanas, comprehende-se que historicamente não houve disponibilidade de investimento e tempo para a realização de mapas em escala de detalhe, pelos principais levantamentos e classificações de solos que não se empenharam em descrições mais detalhadas aos solos urbanos. Portanto, atualmente, a

capacidade dos solos urbanos de realizar funções ambientais é pouco compreendida, assim como da sua qualidade e funções (VASENEV et al., 2017).

O crescimento desordenado e a total impermeabilização dos solos somada à ineficiência a falta de planejamento e de monitoramento dos sistemas de micro e macrodrenagem podem resultar em aumento de inundações que, por conseguinte pode trazer vários impactos como, incidência de processos erosivos, poluição dos corpos hídricos com consequências na perda de biodiversidade e riscos à saúde humana (JUSTIN et al., 2018).

Os eventos de inundaçao são naturais e possuem ocorrência sazonal, no entanto, com a ocupação das planícies de inundaçao e impermeabilização dessas áreas ocorrem alterações no ciclo hidrológico, com o aumento de sua magnitude e frequência de ocorrência (MIGUEZ et al., 2012).

Todavia, o maior agravante na drenagem urbana é que a expansão das cidades tem excedido a capacidade dos sistemas de drenagem em conduzir o fluxo hídrico advindo de montante. Assim, os sistemas de drenagem transbordam mesmo com cálculos que possibilitam previsões do período de retorno e de vazões maiores (ALHUMAID et al., 2018).

No Brasil, a consequência destes problemas foi evidenciada com modificações no sistema de drenagem anteriormente existente em consequência do aumento das áreas impermeabilizadas não previstas e da expansão das áreas urbanas de forma desordenada (FILHO et al., 2000).

A ótima eficiência da captação de água pluvial é um fator que se deve a todos os elementos da drenagem urbana, que possuem igual importância na captação do fluxo superficial. Estes elementos são constituídos pelos pavimentos, guias, sarjetas, rede de galerias, bem como o tamanho das bocas de lobo, as tubulações, os poços de visita e as estruturas acessórias (COELHO e LIMA, 2011).

Diante das questões elucidadas anteriormente, é importante ressaltar que o entupimento das redes de tubulação de água pluvial por sedimentos ou materiais de origens diversas, podem condicionar maiores picos de vazão à jusante, aumentando os eventos de enchentes que pelos maiores volumes da enxurrada provocam maiores perdas de solos e assoreamento nos cursos hídricos. Portanto, a erosão hídrica é um assunto que tem sido destacado como de elevada importância pela literatura (TUCCI, 2008; BUTLE e DAVIES, 2011; SONG et al., 2018).

A área florestal da Unidade de Conservação Jardim Botânico vem sofrendo com diversos impactos de erosão acelerada por ação antrópica como voçorocas e ravinas, com

impactos da compactação dos solos por pisoteio de pessoas, descarte de resíduos de origem diversas, eventos de enchentes e queimadas clandestinas.

Considerando que é imprescindível conhecer as alterações antrópicas e drenagem urbana, assim como das características do relevo para entender o surgimento e evolução dos processos erosivos, este capítulo tem como objetivo realizar uma análise integrada das condições espaço-temporais da evolução do uso e cobertura das terras, da correlação da eficiência e condição da microdrenagem e da complexidade do relevo.

Assim como, determinar se existe uma relação entre a distribuição espacial da condição péssima da microdrenagem, das regiões ao entorno da unidade de conservação com maiores alterações antrópicas com a localização e dimensão dos focos erosivos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização geoambiental da área de estudo

O Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JBAHT) é uma área de proteção das nascentes do córrego Botafogo, afluente do rio Meia Ponte, um dos mananciais que abastecem a capital do estado, Goiânia. Possui área total de 102,02 hectares e está inserida na alta Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo (BHCB) que representa 13.142 hectares, na porção sul de Goiânia, entre as coordenadas, latitude: 16°43'21.58"S e longitude: 49°14'54.44" O (Figura 3).

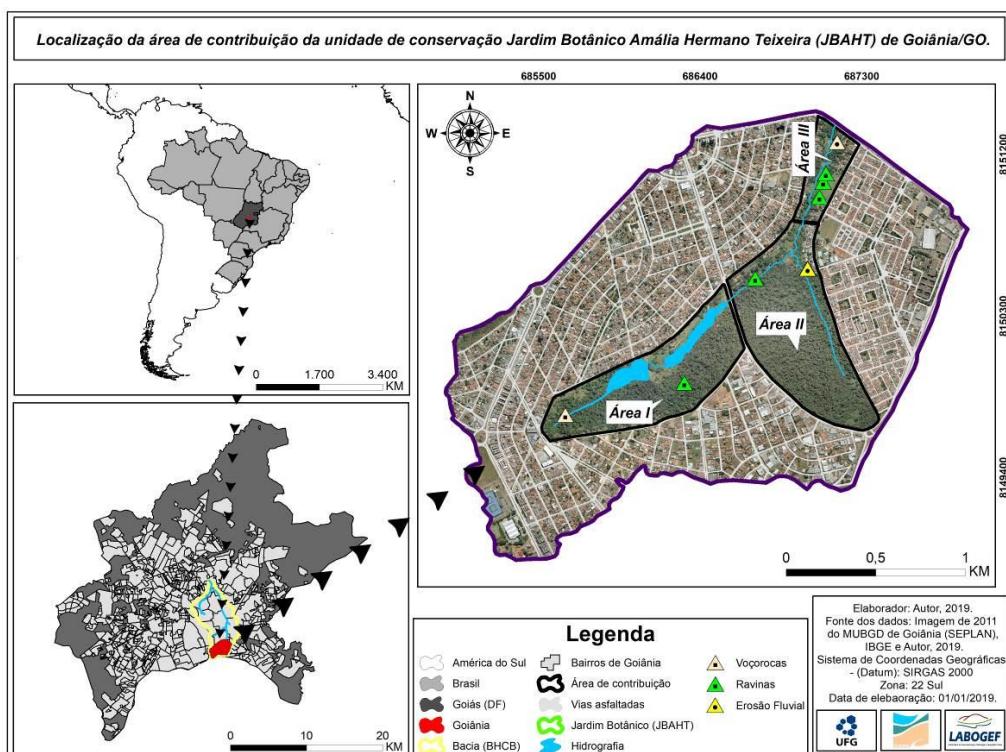


Figura 3. Localização da área de estudo.

O Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JAHT), constitui uma Unidade de Conservação (UC) municipal, e está designada na categoria de proteção integral. Tem como atribuição a preservação da biodiversidade da vegetação do Cerrado Brasileiro, além de promover a educação ambiental e sua conservação através das coleções de pesquisas científicas e acadêmicas, divulgando o ensino e a pesquisa técnico-científica (PEREIRA e PASQUALETTO, 2012).

O Jardim Botânico foi contemplado no projeto original de urbanização de Goiânia, elaborado pelo arquiteto Atílio Correia Lima. A partir da Lei Municipal nº. 7.800, de 5 de março de 1998. A área passou a ter como finalidade “desenvolver pesquisa, divulgação, conservação, preservação e recuperação, além de programas de atividades de recreação e educação ambiental”.

No Brasil, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), exposto pela lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, atuou como importante recurso para garantir maior sustentabilidade as Unidades de Conservação, ao definir as normas para a criação, implantação e gestão dessas áreas (BRASIL, 2000). Apesar de existir leis que regem a gestão de Unidades de Conservação (UC) municipais no Brasil, muitas dessas UCs ainda não possuem conservação ecológica eficiente como previsto nos capítulos da lei ambiental (SNUC) supracitada.

A área em estudo apresenta grandes feições erosivas, situadas na região das nascentes, com diferentes graus de evolução (Figura 4), que estão sob monitoramento pelo poder público e por estudos acadêmicos desde a década de 1990.

A gênese dos processos erosivos foram associados aos lançamentos de água pluvial, canalização de afloramentos/nascentes, lançamento de rede de esgoto *in natura* (Figura 4a), que contribuíram para exposição de rochas de xisto na calha do rio e saprolito na encosta do talude, como pode ser observado na (Figura 4b, 2c e 2d) e na (Figura 4b) e evolução de feição erosiva mensurada atualmente com cerca de 350 metros de extensão (Figura 4e).

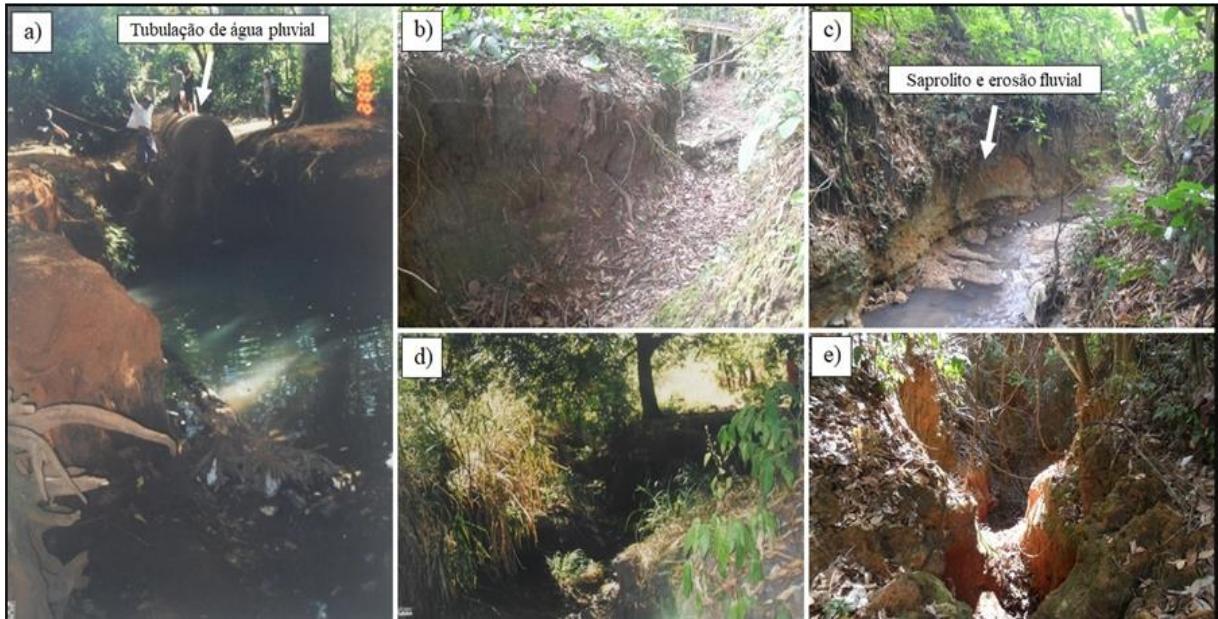


Figura 4 - Feições erosivas e feições notáveis situadas dentro do parque municipal Jardim Botânico de Goiânia/GO: **(a)** Lançamento de água da chuva por meio de tubulação de água pluvial com canalização da nascente na região Oeste da área I do Jardim Botânico do ano de 2002, **Fonte:** (DERMU,1993); **b)** Ravina na porção central da área I; **c)** Erosão fluvial na área II com exposição da rocha na calha do rio e saprolito na encosta; **d)** Ravina na área II; **e)** Voçoroca com grandes dimensões na nascente da área I, **Fonte:** (Autor, 2019).

Segundo Mesquita (2014), existem três nascentes no Jardim Botânico que se encontram bastantes desprovidas de vegetação. A jusante das nascentes, o canal dos cursos hídricos tem características de vales encaixados, os quais se encontram muito assoreados com evidências de erosão lateral.

De acordo com registros da Agência Municipal do Meio Ambiente (AMMA), a terceira nascente se situa na área II com coordenadas geográficas 16°43'36.75 S e 49°14'37.19 W (Figura 5b). A água já vem encanada por duas tubulações de cerâmica, cujo rompimento causou processo erosivo com afloramento do nível freático.

Nas áreas I e II, existem tubulações de água pluvial com diâmetro de 0,70 metros sem dissipadores de energia a cerca de 10 metros da cabeceira das feições erosivas (Figura 5a e b).

Segundo o Relatório Técnico de Nº. 37/2015, emitido pela Gerência de Contenção e Recuperação de Erosões (GCRE), o melhoramento dos elementos da microdrenagem como a ampliação das bocas de lobo e aumento da altura do meio fio estava previsto para o ano de 2015. Apesar disso as obras não foram realizadas.

Outro impacto que pode ser citado, segundo o Relatório Técnico de Nº. 37/2015 foi à disposição de sedimentos advindos do lago do Parque Cascavel no entorno da área I do Jardim Botânico dentro da voçoroca como aterro (Figura 5c e d).



Figura 5. Tubulação de água pluvial com 0,70 metros de diâmetro a 10 metros de distância da cabeceira da voçoroca da área I (a). Lançamento de água pluvial na Área II e incisão de processo erosivo na nascente (b); Disposição de sedimentos acima da nascente e voçoroca na Área I proximo as vias asfaltadas (a); (b). **Fonte:** (GERCRE, 2015).

Conforme Mesquita (2014), o solo da área de estudos é rico em matéria orgânica, essa condição é claramente observada na área II (figura 6a).

É possível observar que o horizonte A com maior teor de matéria orgânica, foi provavelmente soterrado por sedimentos advindos de montante ou disposição de solo exógeno que contribuíram para o aterramento. A deposição de serrapilheira pode ter contribuído para a coloração mais escura deste horizonte, onde as alterações antrópicas são mais evidentes na superfície dos solos. O horizonte mais profundo, de coloração amarela clara demonstra o saprolito deste perfil, que foi exposto pelo curso hídrico (Figura 6a).

Outros impactos são possíveis de serem observados ao longo da área I, como por exemplo, o aglomerado de rochas na figura 6c, que é o resultado do aterramento da nascente da área I, onde inicia a voçoroca e mais a jusante na encosta da voçoroca é possível observar uma possível feição erosiva chamada de *Piping* (Figura 6c e d).



Figura 6. Horizonte dos solos da área II, com propriedades de bastante matéria orgânica no segundo horizonte e saprolito no último horizonte (a). Rochas de xisto na calha do rio comprovando características de erosão fluvial (b) Aterramento da cabeceira da voçoroca com rochas de xisto (c). Possível presença de *Piping* na encosta da voçoroca da área I (d).

O *Piping*, conhecido como erosão tubular é formado pela ação da água que corre nas camadas e horizontes profundos do solo e provoca rupturas hidráulicas e erosão regressiva, com início em um ponto de emergência d'água, carreando os sedimentos das camadas internas do solo pela ação do escoamento subsuperficial (VARGAS, 1977).

Atualmente a voçoroca da área I possui maiores dimensões, com medidas de até 11 metros de profundidade, 16 metros de largura e 350 metros de comprimento, averiguadas através das medições realizadas *in loco* (Figura 7).

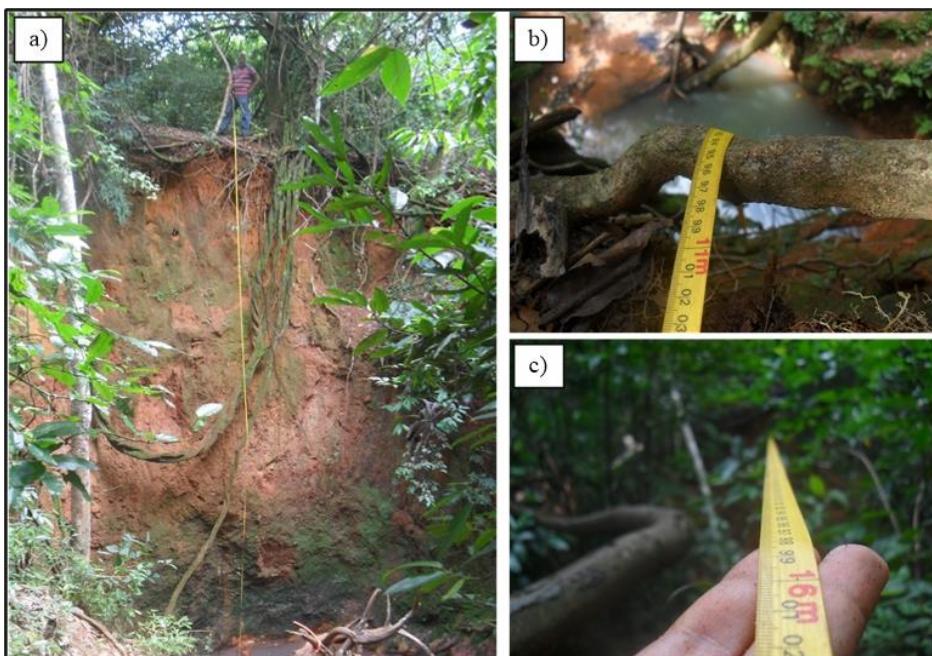


Figura 7. Encosta da voçoroca da Área I do Jardim Botânico com 11 metros de profundidade (a) e (b) e 16 metros de largura (c).

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.2.1 Etapa 1. Uso e relevo

Para a delimitação da área de contribuição da área de estudos, utilizaram-se dados de relevo do Modelo Digital de Terreno (MDT) do Mapa Urbana Digital de Goiânia (MUBDG vs.25 de 2017) com 5 metros de resolução espacial. O MDT possui estrutura matricial elaborado pela empresa TOPOCART em 2006, com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A na escala de 1:5.000. Através deste dado foram gerados os dados de direção de fluxo hídrico, declividade, hipsometria, forma da vertente (curvatura) e curvas de nível. O processamento e a análise visual destes componentes do meio físico serão fundamentais para a elaboração manual da área de contribuição do Jardim Botânico de Goiânia.

O mapeamento do uso e cobertura das terras da área de contribuição foi elaborado do ano de 1964 a 2016. As imagens referentes a 1964 a 1988 correspondem às imagens em preto e branco, em formato de cenas impressas e que são disponibilizadas gratuitamente para pesquisa no Centro de Documentação e Biblioteca da Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação da SEPLAN do município de Goiânia. Essas imagens foram scaneadas por meio de um scanner profissional HP *officeJet PRO 7740* com resolução de 1200 DPI.

As imagens foram georreferenciadas no *Software Arcgis*, e posteriormente processadas no *software* de sensoriamento remoto ENVI, através do parâmetro: *Segment Only Feature Extraction Workflow*, onde foi atribuído o valor de 10 em nível de escala e 60 em nível de mesclagem para todas as imagens. A figura 8 exemplifica o grau de detalhamento da segmentação.



Figura 8. Ortopromoção de 2016 com 10 centímetros de resolução espacial, mostrando os detalhes do contorno dos polígonos de uso e cobertura das terras (a). Fase de finalização da fotointerpretação (b). Ambas com zoom na imagem na escala de 1:2.000.

As imagens aéreas de 1992, 2002, 2006, 2011 e 2016 são imagens com resolução que vão 10 a 60 centímetros de resolução espacial. No que se refere às imagens mais antigas de 1964, 1968, 1975, 1988, 1999, com resoluções espaciais de 6 metros. Essa diferença de resolução que resulta em diferenças de escala, não foi um fator que impossibilitou as análises, pois a classificação visual das imagens mais antigas possibilitou a delimitação precisa das classes de uso e cobertura das terras propostas para esse trabalho.

Como a segmentação das vias asfaltadas e não asfaltadas das imagens de 1999 e 2002 não foram satisfatórias, optou-se pela delimitação manual delas.

O mapa de uso e cobertura das terras possui uma escala final de 1:32.000, segundo informações fornecidas pela SEPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação) do município de Goiânia, (Quadro1).

Quadro 1. Ano, resolução espacial, escala e empresa executora dos projetos aerofotogramétricos adquiridos através da SEPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação) do município de Goiânia/GO.

Ano	Resolução espacial	Escala	Empresa executora do projeto
1964	6 m	1:32.000	LASA – Levantamentos aerofotogramétricos S. A.
1968	6 m	1:32.000	VASP aerofotogrametria S. A.
1975	6 m	1:32.000	VASP aerofotogrametria S. A.
1988	6 m	1:32.000	IPLAN
1992	30 cm	1:8.000	Aerosul SO
1999	3 m	1:15.000	*
2002	60 cm	1:8.000	IPLAN/QUINKBIRD
2006	60 cm	1:5.000	*
2011	10 cm	1:1.000	TOPOCART
2016	10 cm	1:1.000	*

*Não existem registros na SEPLAN sobre os responsáveis pela execução dos projetos e da empresa executora do projeto aerofotogramétricos adquiridos através da SEPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação) do município de Goiânia/GO.

O processo de delimitação da área de contribuição e da elaboração do mapa de uso e cobertura das terras do ano de 1964 a 2016 é exemplificado na figura 9.

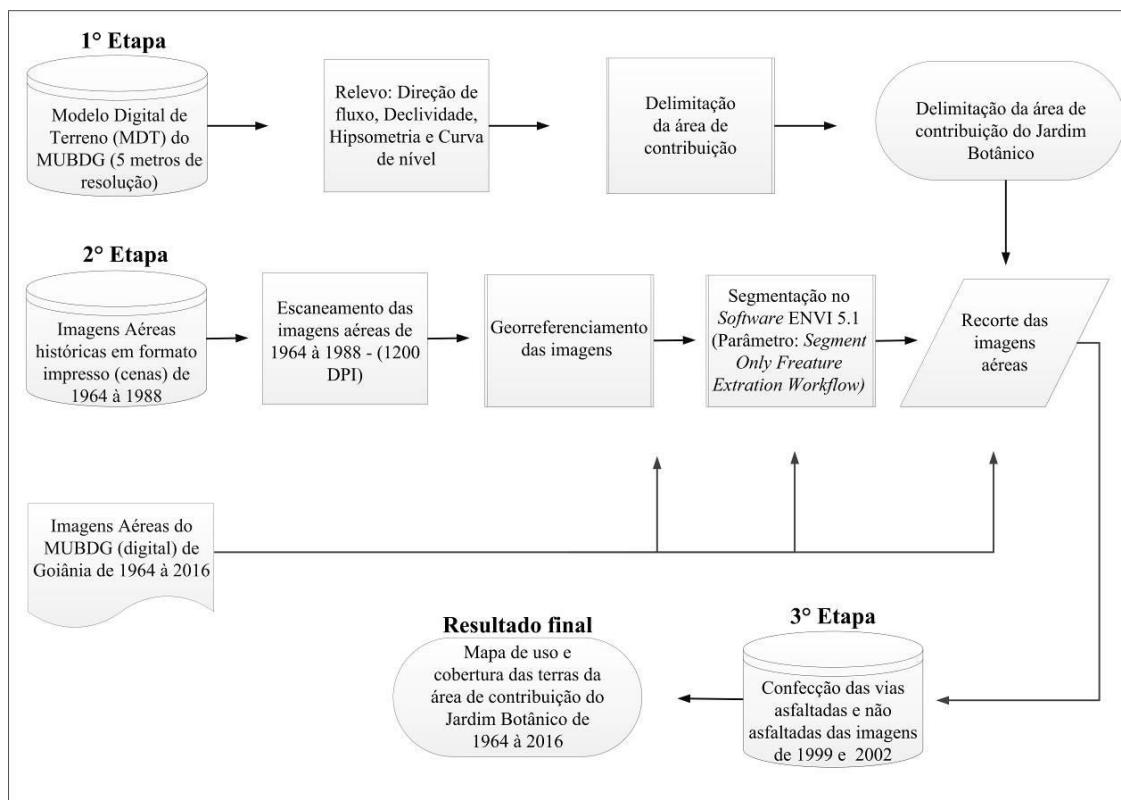


Figura 9. Fluxograma exemplificando a metodologia utilizada para a delimitação da área de contribuição do parque Jardim Botânico e do uso e cobertura das terras de 1964 a 2016, (Autor: 2018).

O mapeamento do uso e cobertura das terras resultou em 7 (sete) classes, sendo: Vegetação, água, área construída, área não construída, solo exposto, vias asfaltadas, vias não asfaltadas, conforme quadro 2.

A chave de classificação elaborada para esta área de estudo foi norteada com base em uma adaptação do trabalho de Souza e Júnior (2012), que estabelece classes similares para o município de Goiânia/GO.

Quadro 2. Chave de classificação adotada para as imagens aéreas de 1964 a 2016. **Fonte:** Adaptado de (SOUZA e JÚNIOR, 2012).

Características					
	Classes de uso das terras	Textura	Tonalidade	Aspectos associados	Imagen (1992 e 2011)
Áreas naturais	Vegetação	Rugosa	Verde claro a escuro	Fundos de vale, unidade de conservação, praças, avenidas e lotes.	
	Água	Lisa	Verde	Área mais rebaixadas do relevo ou fundo do vale.	
Área antrópica	Área construída	Heterogenia /rugosa	Marrom, cinza claro a escuro e branco	Casas e prédios.	
	Vias asfaltadas	Lisa e homogênia	Cinza claro	Começou a ser implementada na década de 1988.	
	Vias não asfaltadas	Grossa	Tom mais claro em relação às vias asfaltadas	Existiu na área de estudos de 1964 a 1999.	

Outras áreas	Solo exposto	Grossa	Branco e marrom	Lotes e áreas próximos ao parque sem cobertura vegetal.	
	Área não construída	Rugosa e grossa	Verde, marrom	Lotes desocupados com vegetação rasteira, praças com áreas permeáveis, campos de futebol e áreas de gramínea.	

Para determinar a porcentagem de área de vegetação contida dentro do parque Jardim Botânico, foi realizada a delimitação manual da área do parque e depois seleção manual dos polígonos da segmentação e extração dos mesmos dentro da área do parque, que possibilitou o cálculo do aumento ou diminuição da cobertura vegetação dos anos de 1964 a 2016.

2.2.2 Etapa 2. Análise da microdrenagem

Para avaliação da microdrenagem, os procedimentos metodológicos envolveram a aquisição, junto a Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos (SEINFRA), da prefeitura de Goiânia das coordenadas geográficas das “bocas de lobo” cadastradas pelo órgão. Foram informadas e avaliadas *in loco* individualmente na área de contribuição do JBAHT, 447 “bocas de lobo”.

Considerando a proposta metodológica de Menezes (2016) foram avaliadas em campo (*in loco*) as variáveis: Tamanho das bocas de lobo em cm² (Figura 10a e b), funcionalidade (limpas, entupidas de lixo ou sedimento) (Figura 10c, d, e) e condição de conservação das guias e sarjetas (Figura 10f).



Figura 10. Elementos da microdrenagem avaliados *in loco*. Altura da entrada de água nas bocas de lobo (a); Comprimento da entrada de água nas bocas de lobo (b); Tubulação limpa (c); Tubulação suja (d); Tubulação entupida de sedimentos (e); Ausência de guias e sarjetas (f) Fonte: (Autor, 2019).

Outras variáveis averiguadas em campo e posteriormente inseridas no modelo que não foram abordadas e avaliadas por Menezes (2016), foram o diâmetro das tubulações de água pluvial (fornecida pela Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos - SEINFRA) e a condição de conservação das guias e sarjetas.

As classes dos diferentes tamanhos das bocas de lobo e o diâmetro das tubulações de água pluvial foram definidos através do universo amostral encontrados na área de estudos, como são exemplificados no trabalho de Menezes (2016). Portanto, as bocas de lobo de tamanho pequeno foram definidas como ($<9.000 \text{ cm}^2$), médio ($10.000 - 18.000 \text{ cm}^2$) e grande (>18.000), como pode ser observado na figura 11.

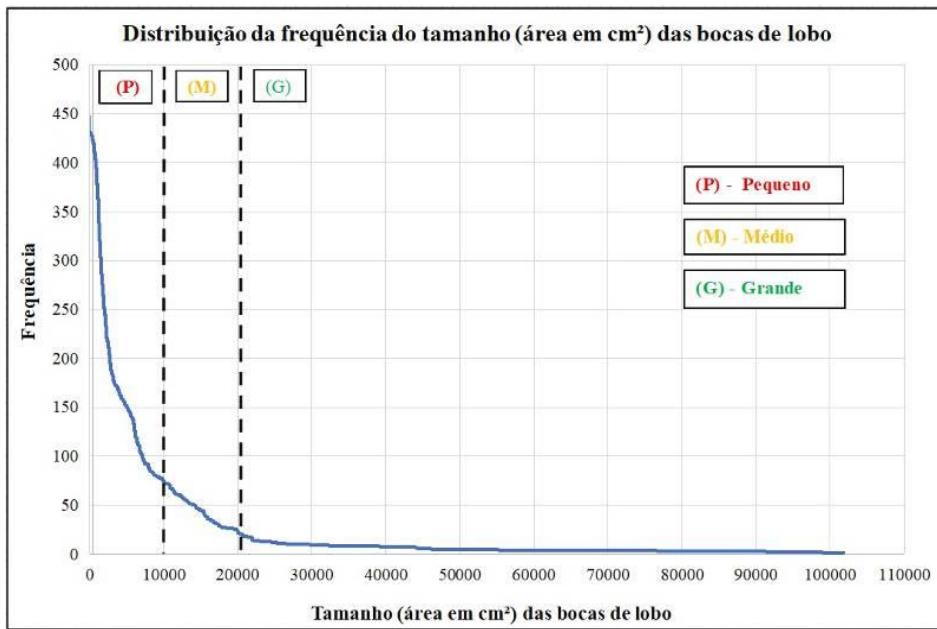


Figura 11. Distribuição da frequência do tamanho (área em cm³) das bocas de lobo da área de contribuição do Jardim Botânico/GO.

No que se referem ao diâmetro das tubulações de água pluvial, essas foram definidas como tamanho pequeno de (30 a 40 cm) médio (60 a 80 cm) e grande (100 a 150 cm), (Figura 12).

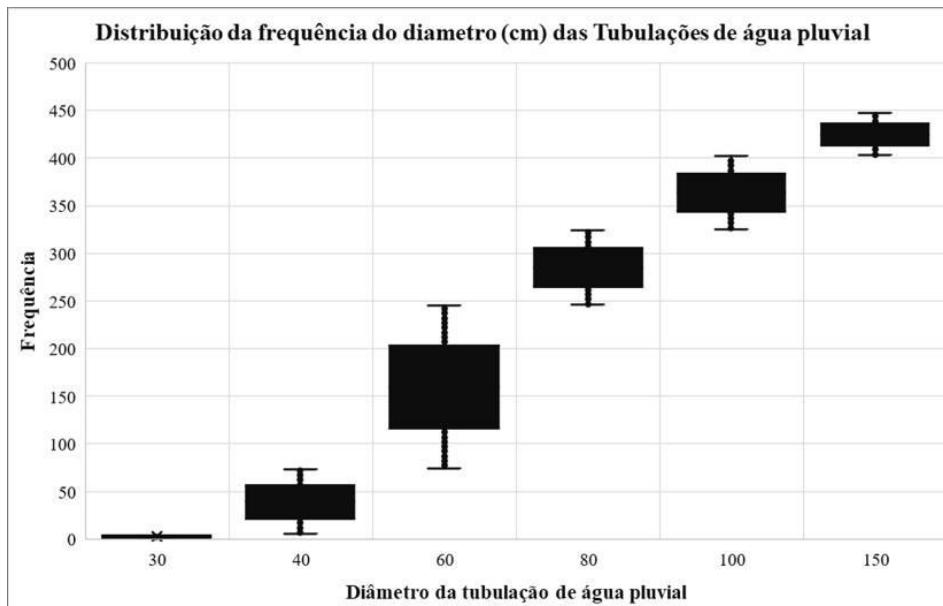


Figura 12. Distribuição da frequência do diâmetro (cm) das tubulações de água pluvial da área de contribuição do Jardim Botânico/GO.

Tais variáveis foram avaliadas e correlacionadas através de uma análise qual-quantitativa, onde todas possuem igual importância. A correlação dessas variáveis tem a finalidade de verificar a condição/eficiência da microdrenagem urbana, conforme é exemplificado no fluxograma de correlação da figura 13.

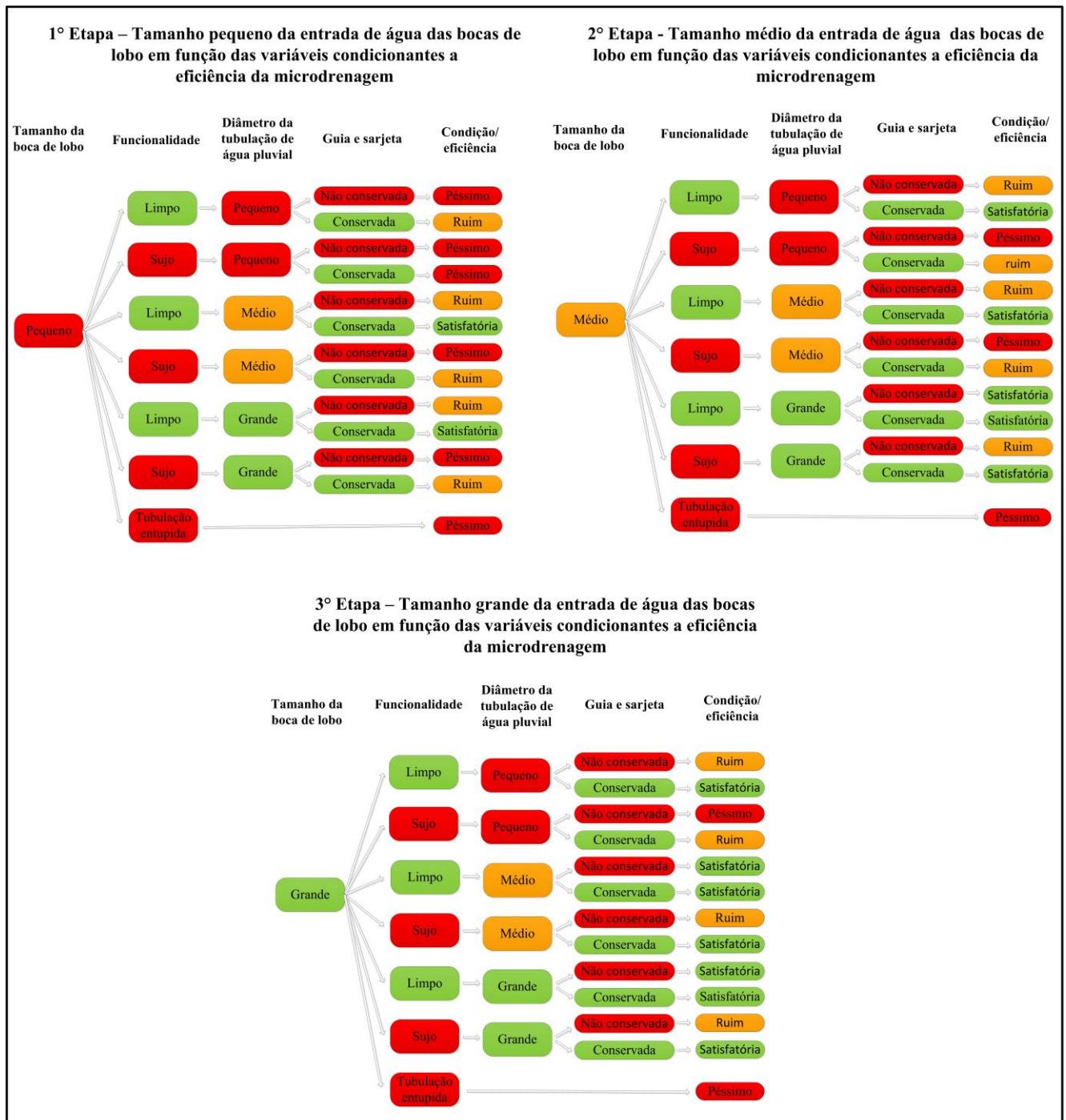


Figura 13. Fluxograma de correlação das variáveis que influenciam na condição/eficiência da microdrenagem urbana. **Fonte:** Adaptado de Menezes (2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Uso e cobertura das terras

O Jardim Botânico denominado como uma Unidade de Conservação (UC) municipal, possui problemas relacionados a impactos ambientais advindos da expansão da área antrópica e da população que adentra no local sem permissão, a exemplo de descarte de lixo, queimadas

clandestinas, abertura de trilha na mata e consequente compactação do solo que favorece o desencadeamento de processos erosivos (MESQUITA, 2014; SILVA e PELA, 2017).

Outras formas de degradação evidentes decorrem do efeito da impermeabilização e de elevado gradiente altimétrico da Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo, que influencia em uma rápida concentração da água da chuva nos canais de drenagem, que por consequência tem proporcionado frequentes eventos de enchentes, na área de estudo (ROMERO et al., 2017).

Segundo Sponga e Coelho, (2001) com a expansão urbana do entorno do Jardim Botânico não houve a preocupação em construir galerias de águas pluviais suficientes, principalmente onde o fluxo da água da chuva é mais concentrado e converge para a região. Portanto, em poucos anos o processo erosivo em sulco com feições lineares e pouco profundas evoluíram para voçorocas, atingindo o nível freático.

Para conter o processo erosivo, Sponga e Coelho, (2001) executaram um projeto de recuperação no ano de 2001, com construção de um sistema de drenagem de fundo, com retaludamento das paredes da feição erosiva, aplicação de hidrossemeadura e uma manta antierosiva biodegradável, com o intuito de oferecer mais estabilidade às paredes da voçoroca.

Segundo os autores, a eliminação do problema referente à drenagem pluvial foi sanada e o processo erosivo se estabilizou. No entanto, atualmente percebe-se que o sistema de drenagem, assim como o material utilizado para conter as paredes da voçoroca já foram carreados pela força dos escoamentos superficiais, assim como houve o alargamento do canal da erosão.

Segundo análises realizadas pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia – (DERMU) 1993, o Jardim Botânico é constituído por matriz de rochas do grupo Araxá (Micaxistos e Quartzitos), com afloramentos pontuais de granitos neoproterozóicos e predominância de relevo convexo.

As análises físicas e químicas no solo do Jardim Botânico de Goiânia realizadas por Mesquita (2014), classificou o solo deste local como Latossolo Vermelho distrófico com textura franca-argilo-arenosa. Segundo o autor, até 40 centímetros de profundidade os solos no Jardim Botânico apresentam compactação baixa, devido à elevada presença de matéria orgânica e estão abaixo do valor crítico para o crescimento radicular.

No que tange a vegetação, esta é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, mas considerada como mata primária já alterada, com inserção de espécies invasoras e retirada de madeira e sob a influência de queimadas clandestinas (MESQUITA, 2014).

É importante ressaltar que o processo erosivo no Jardim Botânico é um dos impactos que pode estar contribuindo com a maior perda da biodiversidade dos solos e alterações no crescimento das espécies arbóreas, devido as suas dimensões alarmantes.

Segundo DERMU (1993), no ano de 1993 a voçoroca da área I do Jardim Botânico, já chegava a 6 metros de profundidade, 5,5 metros de largura e volume de 660 m³ e que se originou com o escoamento advindo da área de invasão urbana e de lançamento de água pluvial em sua cabeceira. Contudo, a voçoroca teve um alargamento exponencial em 1990 devido às chuvas torrenciais. A consequência disto foi a exposição das raízes das plantas e morte de indivíduos pelo solapamento da encosta por erosão.

Levando em consideração todos esses indícios de impactos e degradações no fragmento florestal e imediações do Jardim Botânico, o mapeamento do uso e cobertura das terras de 1964 a 2016 foi importante nesse estudo, para compreender a partir de que data as alterações do terreno com a impermeabilização dos solos aconteceram com maior intensidade e identificar a localização dos focos erosivos ao longo do período em análise. Essa dinâmica do uso pode ser correlacionada no capítulo III, com as técnicas dendrogeomorfológicas, para determinar a partir de que ano os indivíduos arbóreos com potencial para esse estudo, começariam a sofrer mudanças em seu ritmo de crescimento.

O histórico de uso e ocupação das terras permitiu compreender que o fragmento florestal sofreu mudanças abruptas nas áreas de vegetação. Principalmente na região norte, atual área III e na porção central da área I e a oeste da Área II do parque, próximo aos lagos do fragmento. De forma geral, observa-se que a vegetação passou por fases de desmatamento e de recuperação ao longo dos anos de 1964 a 2016 (Figura 14).

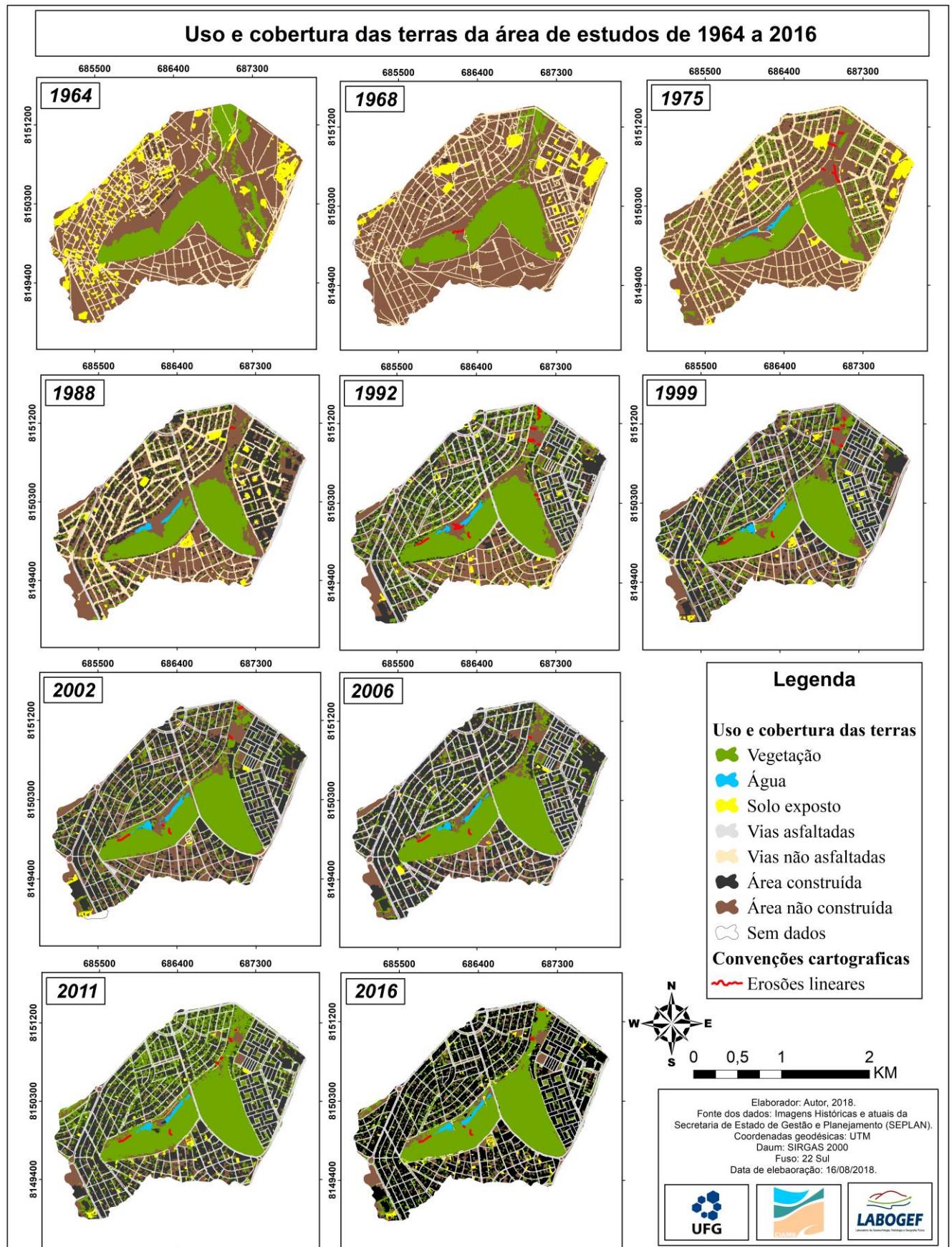


Figura 14. Uso e cobertura das terras do ano de 1964 a 2016 da área de estudos.

Segundo Campos et al. (2013) no ano de 1960, anterior a data das imagens, a área verde original do Jardim Botânico sofreu redução de 20% passando a ter uma dimensão de 960 mil m², devido a abertura da Avenida 3^a Radial. No entanto, no ano de 2019 segundo medições realizadas nesse trabalho pela interface do *Google Earth Pro* o fragmento florestal teve uma redução ainda maior de sua área para 745 mil m², que representa um montante de 215 mil m² de área florestal do parque desmatada.

Este ocorrido pode estar relacionado às queimadas intencionais que são cada vez mais recorrentes no parque Jardim Botânico de Goiânia.

Apesar disso, do ano de 1964 a 1999 pode ser observado à diminuição da área florestal do Jardim Botânico. Em contrapartida, do ano de 2002 até 2016 o fragmento florestal tem uma rápida recomposição da vegetação nativa (Figura 14). Provavelmente a partir do ano de 2000 com a retirada das habitações irregulares existentes no interior do parque (CAMPOS et al., 2013).

Na transição dos anos de 1964 a 1968, a vegetação na região norte e nordeste do parque sofreu grandes perdas na finalidade de garantir as primeiras ocupações da população, com o adensamento das vias não asfaltadas e dos primeiros loteamentos (Figura 14).

No mapa de uso e cobertura das terras é possível identificar que à medida que há a consolidação das áreas construídas, as áreas de solos expostos vão se tornando inexpressivas com o passar dos anos (Figura 14).

O adensamento das vias asfaltadas só ocorreu em 1992 (Figura 14), que pode ter contribuído com o aumento da velocidade do fluxo superficial e ter intensificado o carreamento e destacamento de partículas de solos, aumentando o volume da voçoroca que se inicia na região oeste da área I do parque (Figura 14).

A pavimentação das vias, o acentuado desnível somado ao extenso comprimento das vias próximo as árvores identificadas, como por exemplo, a Avenida 4, Avenida Couto Magalhães e a Avenida Antônio Martins Borges, também podem ter contribuído com exposição das raízes dos indivíduos arbóreos neste ano.

Outro fator importante que merece ser destacado, é que existem maior número e concentração de processos erosivos lineares nos anos de 1964 a 1999 (Figura 14), e percebe-se que a maior predominância destes processos erosivos estão relacionados principalmente pela falta de cobertura vegetal e pela influência das vias não asfaltadas, que além de estar exposto ao impacto das gotas da chuva, sua eventual compactação pode potencializar o processo erosivo.

Partindo deste pressuposto, Oliveira et al. (2009) destacaram que os coeficientes de erodibilidade são elevados em estradas de terras e que outros fatores devem ser analisados como a falta ou inexistência de tubulações de água pluvial que é um dos maiores condicionantes para a formação de processos erosivos neste tipo de uso.

A Figura 15a, data do ano de 1980 e comprova que já havia os primeiros loteamentos no Bairro Jardim Santo Antônio e apenas vias não asfaltadas, sendo que os lagos provenientes dos represamentos das nascentes no parque já existiam. A figura 15b indica o aumento considerável de áreas impermeabilizadas provenientes da verticalização e construções civis do ano de 1980 a 2018.



Figura 15. Vias não asfaltadas e invasão de moradores com loteamentos e casas construídas dentro do parque, próximo à borda da vegetação da Área I do Jardim Botânico, representadas em imagem do ano de 1980 disponibilizada pelos arquivos da biblioteca da SEPLAN (a). Imagem do Google Earth Pro do ano de 2018 em 3D, mostrando a intensa urbanização com verticalização das construções ao entorno e áreas mais afastadas do Jardim Botânico de Goiânia/GO (b). Fonte: (SEPLAN; Google Earth Pro de 2018).

Como pode ser observado na figura 15a, na borda da vegetação do Jardim Botânico no ano de 1980, já existiam invasões com casas construídas e loteamentos. Segundo Campos et al. (2013) só em 1995 é que a prefeitura começou ações de negociação para desapropriação dos moradores de dentro do parque, que ocupavam o limite da borda da área I e área III. No entanto, somente em meados da década de 2000 é que as apropriações foram efetivadas, com retirada de cerca de 500 famílias.

É possível verificar na figura 16, que de 1964 a 1968 há perdas de 5 % na vegetação, mas este valor tende a aumentar mesmo que de forma inexpressiva, entorno de 1 a 2% em 1975 e 1998. Portanto, apenas em 1992 é que a vegetação se recupera em 8% em relação a 1968.

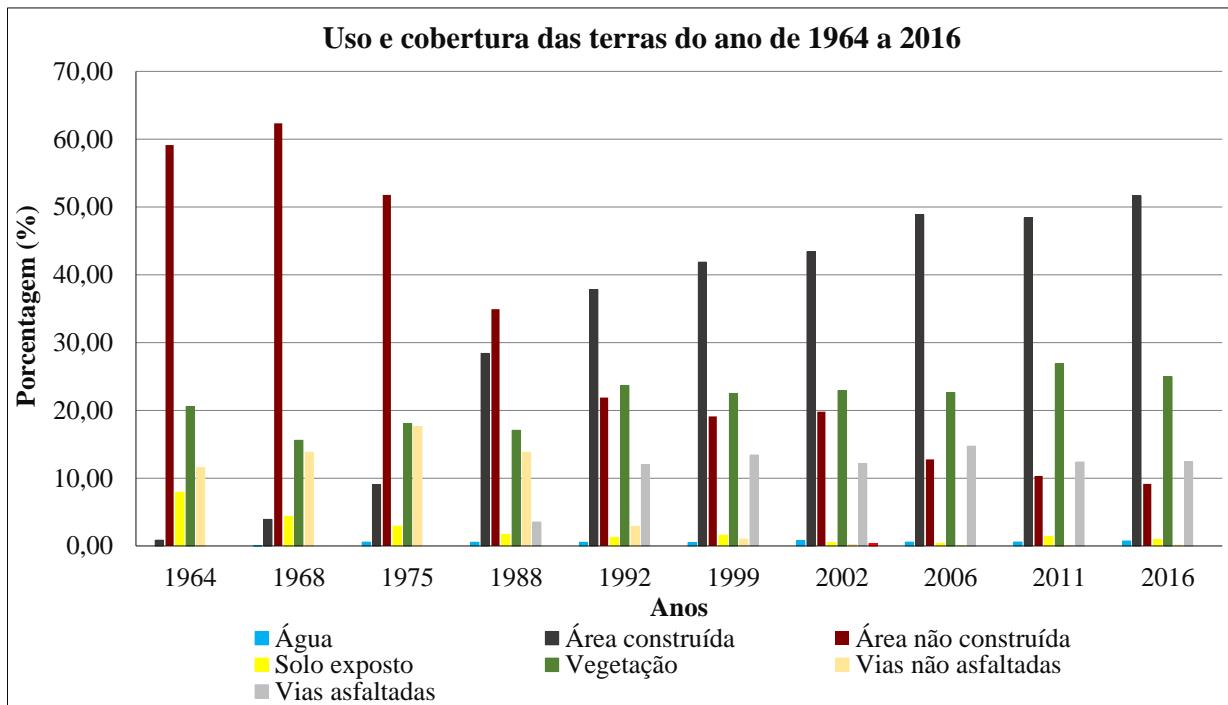


Figura 16. Porcentagem do uso e cobertura das terras do ano de 1964 a 2016 da área de estudos.

Entre 1992 a 2006 não houve mudanças expressivas na cobertura vegetal. Essas mudanças mais significativas só ocorreram em 2011, quando a classe de vegetação chegou a um aumento de 5% em relação a 2006 e diminuição de 2,5% em comparação a 2016 (Figura 16).

O motivo de uma rápida recomposição florística em 1992 e 2011 pode estar relacionado à melhor gestão do parque e da região do entorno a exemplo de reflorestamentos.

Outro impacto relevante é que o assoreamento do curso hídrico e o soterramento de indivíduos arbóreos no Jardim Botânico podem estar associados às áreas de solos expostos mapeados a montante do fragmento florestal.

É possível notar que no ano de 1964 na região sudoeste e oeste da área de estudo, houve maior exposição dos solos, que foi proveniente das primeiras construções (Figura 14). Esse intenso loteamento foi responsável por 8% de solo exposto em 1964, que ao longo dos anos sofreu decréscimos de aproximadamente 4% em 1968 e 2% em 1975 (Figura 16).

Os primeiros loteamentos que podem ter contribuído com a exposição dos solos, datam de meados de 1938 a 1978, segundo registros da Secretaria de Planejamento Municipal (SEPLAM), contidas no relatório técnico da Agência Nacional do Meio Ambiente de 2008, como pode ser visualizado no quadro 3.

Quadro 3. Bairros que se encontram parcialmente ou totalmente localizados na área de estudos.

Bairros	Decreto	Data de aprovação
Setor Pedro Ludovico	90	30/07/1938
Vila Redenção	130	10/05/1968
Setor Marista	5396	21/08/1978

Fonte: (AMMA, 2008).

Segundo informações do site da Rede Metropolitana de Transporte Coletivo de Goiânia (RMTC) o Setor Pedro Ludovico, que abrange grande parte da região noroeste da área de estudo, começou a ser ocupado com assentamento de poucas famílias em 1954, portanto, somente em 1976 o setor começou a ter uma maior expansão das áreas urbanas. Contudo, o bairro só foi asfaltado em 1985. Todo este processo de ocupação da área urbana pode ser observado na figura 14.

As maiores alterações de impermeabilização dos solos em um menor espaço de tempo estão relacionadas na mudança do uso de 1975 a 1988, onde houve a ocupação com área construída, totalizando 19,5 % (Figura 16). As maiores alterações de impermeabilização são do ano de 1964 a 2016 houve um aumento de 50,7% de áreas impermeabilizadas (Figura 16).

O trabalho de Nunes et al. (2011), na bacia hidrográfica do rio Atuba, na região de Curitiba no Paraná, identificou aumento de taxa de impermeabilização de 30% do período de 1962 a 2000, que acarretou no aumento de escoamento superficial de 9,2% a 42,4%.

De forma semelhante, Rodrigues e Blanco (2018) para a bacia hidrográfica do Igarapé na cidade de Santarém, no Pará, estimaram aumento de impermeabilização de 62% de 1960 a 2017, e em consequência disso, aumento de escoamento superficial em 6,8 vezes. Assim como quantificou evolução na vazão de pico de 8,9 m³/s no ano de 1960 para 26,9 m³/s em 2017, ou seja, a vazão mais que triplica.

Percebe-se pelos autores citados, que apesar deste trabalho não ter contribuído na quantificação de modelos hidrológicos de vazão e escoamento, observa-se que possivelmente, a elevada taxa de impermeabilização da área de estudo pode acarretar em aumento da velocidade do escoamento superficial, aumentos drásticos na vazão de pico dos cursos hídricos, e contribuir para a evolução das feições erosivas do Jardim Botânico de Goiânia.

Mudanças abruptas também se verificam no ano de 1988 a 1992 com aumento de 9,5% de área construída no intervalo destes anos e principalmente das estradas de terra que praticamente foram todas asfaltadas. Em termos quantitativos, em 1988 a classe de via asfaltada contava com apenas 3,5%, evoluindo para 12% em 1992, ou seja, verifica-se um aumento de 8,5%, porém do ano de 1992 a 2016, percebe-se que a área das vias asfaltadas quase não variou (Figura 16).

No entanto, de 1999 a 2002, não houve mudanças significativas em relação a todas as classes do uso e cobertura das terras, essas são mais pronunciadas em 2016 onde a ocupação com áreas construídas chegam a 51,6%. Deve ser destacado que a política municipal presente em Goiânia entre 2005 e 2010, estimulou o processo de ocupação urbana e teve como proposta de gestão o processo de pavimentação e repavimentação da cidade.

Os anos de 1964 a 1988 são provavelmente os anos que podem ter contribuído com maior aporte de sedimentos, pois correspondem aos anos que apresentam maiores porcentagens de áreas não construídas e de solos expostos, com valores que vão de 76% a 49% (Figura 16). Portanto, dentro do intervalo temporal destes anos o impacto das gotas das chuvas, pode ter gerado maior carreamento de sedimentos pela enxurrada com deposição deste material na base dos troncos das árvores.

No que tange aos anos que podem ter maior influência na formação e intensificação dos processos erosivos do parque, o destaque pode ser dado para o período de 1992 a 2016, que por sua vez são períodos que a porcentagem das áreas construídas e das vias asfaltadas aumenta drasticamente, com valores que perfazem 50% a 65% da área de contribuição e que por consequência disso à velocidade dos escoamentos superficiais se tornam mais pronunciadas (Figura 16).

Em consequência disso, a mata ciliar que tem função de filtro para retenção de sedimentos, mas pode não estar conseguindo reter a quantidade de sedimentos advindos da área de cota mais alta e o assoreamento dos cursos hídricos pode estar sendo inevitável.

3.2 Relevo da área de estudo

O relevo da área de estudos é bastante heterogêneo. As classes de declividade que possuem maior representatividade na área de contribuição são as que variam de 3 a 8% com 60% da área total, seguida das classes de 0 a 3% que possuem abrangência de 22%, ambas se localizam geralmente acima do curso hídrico e da meia encosta (Figura 17).

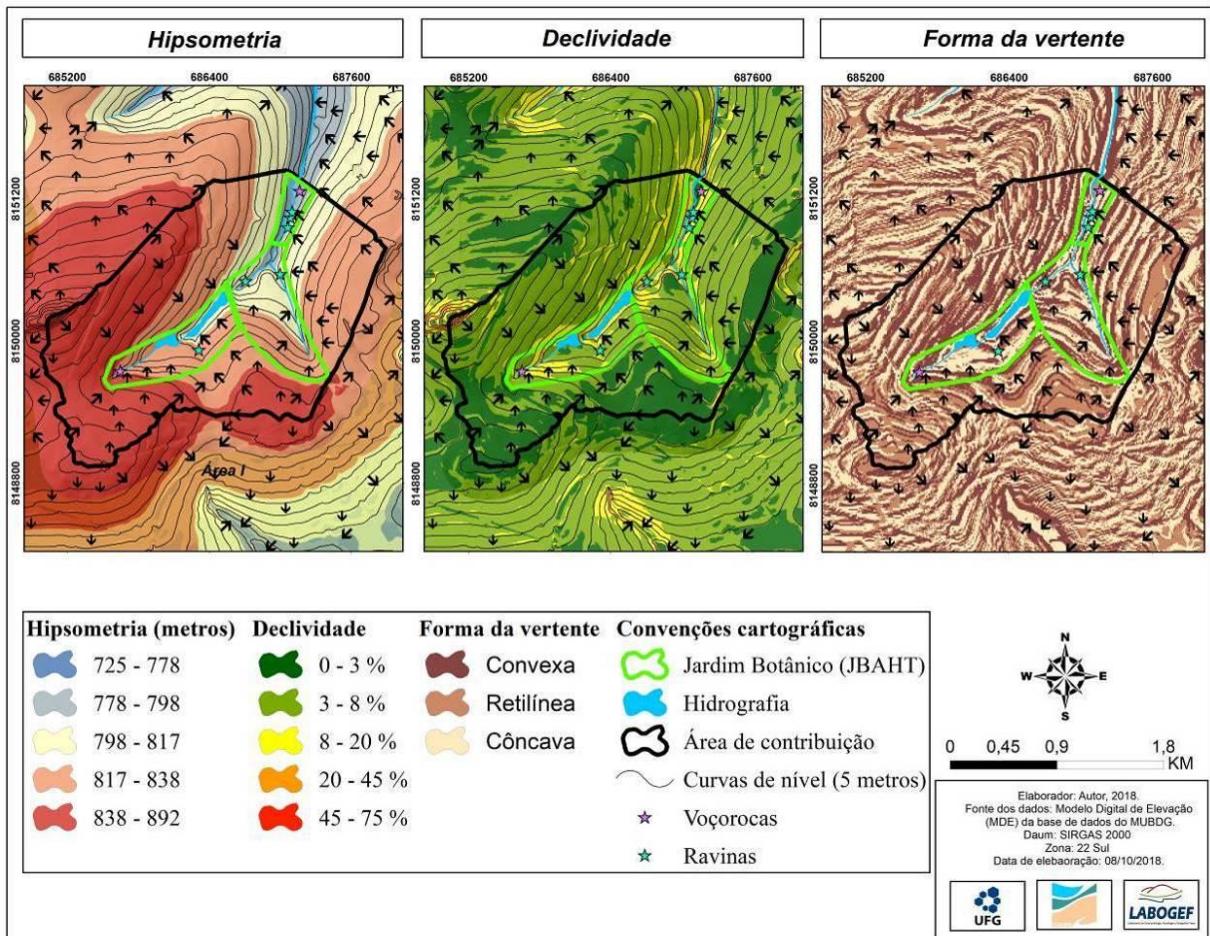


Figura 17. Hipsometria, declividade e forma da vertente (curvatura) da área de estudos.

As declividades mais elevadas são aquelas de 8 a 20% possuem 16%, assim como as classes de 20 a 45% e 45 a 75%, representam apenas 2% e juntas se situam principalmente nas cabeceiras das nascentes, erosões e ao entorno dos cursos hídricos (Figura 17).

A área de contribuição do Jardim Botânico possui maiores áreas constituída pela forma da vertente convexa que chega a 40%, e que possui maior abrangência na região noroeste e porções adjacentes a vocoroca da área I do Jardim Botânico (Figura 17).

Enquanto a forma da vertente côncava possui cerca de 32% e possui maior ocorrência dentro do fragmento florestal da área I, II e III. No que se refere à classe de forma retilínea, considerada não inclinada, esta possui 28%, e se situa com maiores proporções principalmente nos limites da borda da área de contribuição, na porção sul da área I e leste da área II (figura 17).

Esses valores elevados do declive aliados à forma convexa da vertente, da impermeabilização do entorno do Jardim Botânico, assim como do alto gradiente hipsométrico, foram fatores relevantes para a formação de uma voçoroca com grandes dimensões em diâmetro e largura, a oeste da borda da mata na área I do parque.

Segundo Craul (1992) o fluxo hídrico nas encostas íngremes consideradas com 15% ou mais de declive, começam a escoar com maior energia cinética e possui maior capacidade de transportar grandes quantidades de material de solo separado, assim como o tamanho do material transportado aumenta. Portanto, essas áreas com declive maior que 15% são principalmente visualizadas nas regiões em que estão as voçorocas e ravinas, onde os indivíduos arbóreos localizados nas encostas dessas erosões estão com as raízes muito expostas. Na área II a declividade ainda é mais acentuada do que a área I, pois existem pequenas áreas com declividade de 20 a 45%, próximo à borda do parque e do curso hídrico, como pode ser visualizado na figura 17.

É importante ressaltar que a voçoroca localizada na região oeste da área I do Jardim Botânico, está inserida em uma área de relevo côncavo circundada por áreas de relevo convexo. Esses aspectos do relevo permitem que haja a convergência do fluxo hídrico para a área da voçoroca (Figura 17).

Entretanto, essas áreas de relevo convexo em área urbana potencializam e convergem a velocidade do fluxo hídrico, pois ao contrário do que acontece em um relevo com superfície permeável, onde o fluxo hídrico é divergente, essa feição em um ambiente antropizado, com vias asfaltadas de comprimento longo, concentra o fluxo hídrico através das guias e sarjetas (CRAUL, 1992).

Contudo, a velocidade do fluxo hídrico é potencializada com o elevado gradiente do relevo, declividade e também pela soma do volume hídrico dos escoamentos superficiais que se iniciam em vários locais diferentes da cabeceira de drenagem da porção oeste da área de estudo e que converge em direção a nascente, onde a voçoroca está instalada (Figura 17).

A morfologia do terreno representado nos perfis topográficos da Figura 18, referenciado pela sigla P2, a oeste da área de contribuição revela a presença do Morro da Serrinha, com aproximadamente 700 metros de comprimento e 250 de largura, cujo cume possui grandes diferenças de desnível em relação à base, expressa declividades que vão de 45 a 75%.

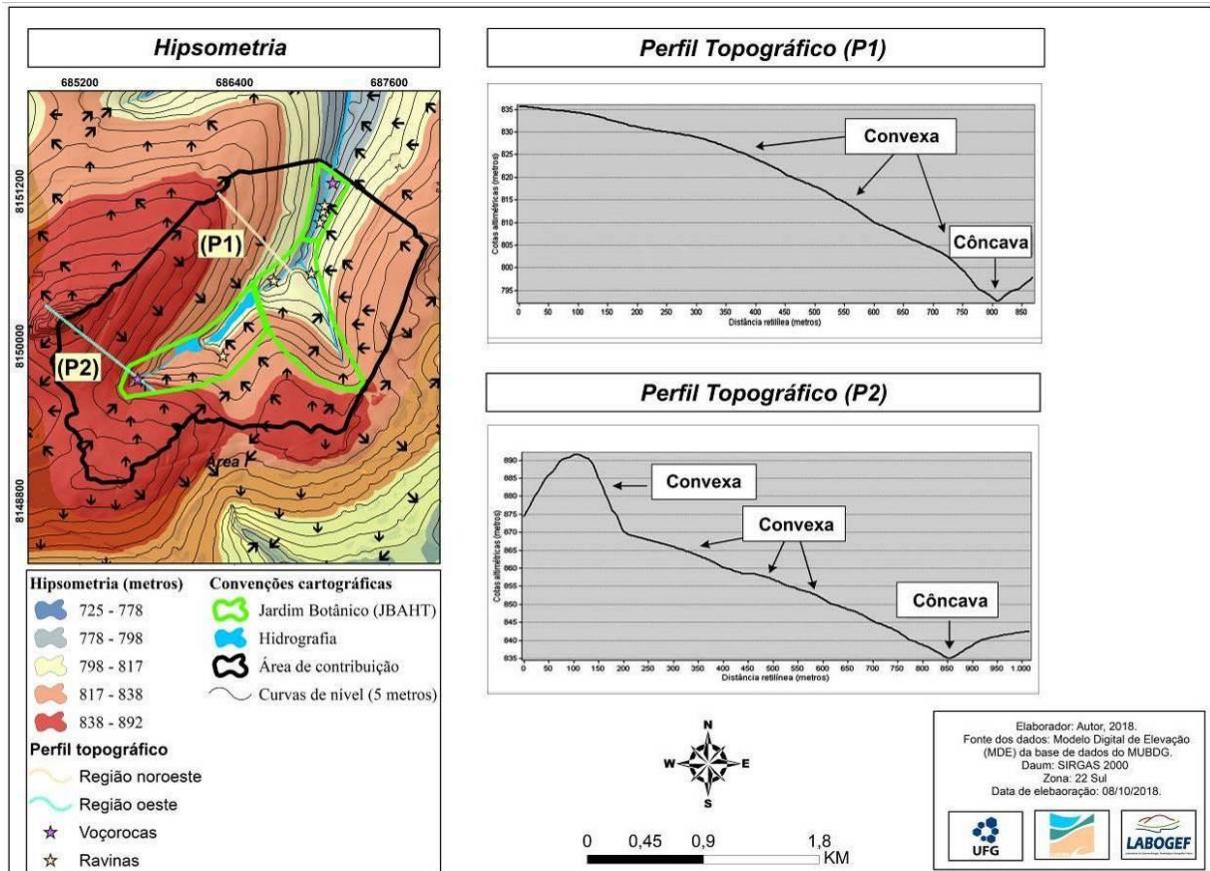


Figura 18. Hipsometria com perfis topográficos (P1) – localizado na região norte da área 1 e perfil (P2) localizado na região norte da área 2.

O perfil topográfico (P2) mede a distância longitudinal da área mais elevada e declivosa até onde se localiza a voçoroca e deixa claro o elevado gradiente altimétrico de 55 metros em uma distância de aproximadamente 750 metros até a voçoroca da área 1. Este elevado gradiente altimétrico proporciona maior velocidade ao fluxo hídrico superficial, pois o relevo onde se situa a voçoroca é do tipo convexo, bastante homogêneo e totalmente impermeabilizado (Figura 18).

O elevado desnível do entorno do parque Jardim Botânico, também é evidente na região noroeste da área de contribuição do Jardim Botânico (perfil topográfico P2), que apresenta diferenças consideráveis de desnível de até 45 metros com uma distância de apenas 700 metros da área mais alta até o curso hídrico (Figura 18), assim como de declividades que variam de 3 a 8% nas áreas mais a montante, e de 8 a 45% nas partes da borda da mata (Figura 17).

Todo este processo descrito da influência da impermeabilização dos solos no mapa de uso e cobertura das terras, com arruamentos longos que direciona o fluxo hídrico, da declividade acentuada e especialmente das áreas de relevo côncavo inserido próximo e dentro das áreas de vegetação do parque, se configuraram em elementos primordiais para

desenvolvimento de processos erosivos em Unidades de Conservações (UCs), situadas em áreas urbanas.

Por conseguinte, o processo erosivo instalado poderá afetar o crescimento, comprometimento e mortalidade das árvores, que implicará na predominância de espécies invasoras e na sobrevivência de comunidades de animais que dependem daquele ambiente e que porventura podem levar a uma diminuição da disseminação de sementes ao longo do fragmento florestal.

3.3 Avaliação da microdrenagem

As bocas de lobo foram classificadas como totalmente entupidas de sedimento na região leste da área II e III, e sul e oeste da área I, justamente onde apresentam maior adensamento e onde estão situados processos erosivos caracterizados como ravinas (Figura 19).

O comprometimento da funcionalidade das bocas de lobo, provavelmente está relacionado com o comprimento das vias asfaltadas, com a impermeabilização dos solos e principalmente com o entupimento das tubulações por sedimentos na maior parte ao longo de um único arruamento, levando a ineficiência da infiltração e maior velocidade do escoamento superficial, que é direcionado pelas pistas de longo comprimento.

Somado a este fator, a falta ou ausência das guias e sarjetas potencializa a evolução das voçorocas e ravinas da área I, II, e III com o livre acesso da água de escoamento superficial que entra em contato com o solo, situado na borda ou imediações da unidade de conservação e que pode ter influenciado o surgimento e evolução da voçoroca como pode ser observado na figura 19.

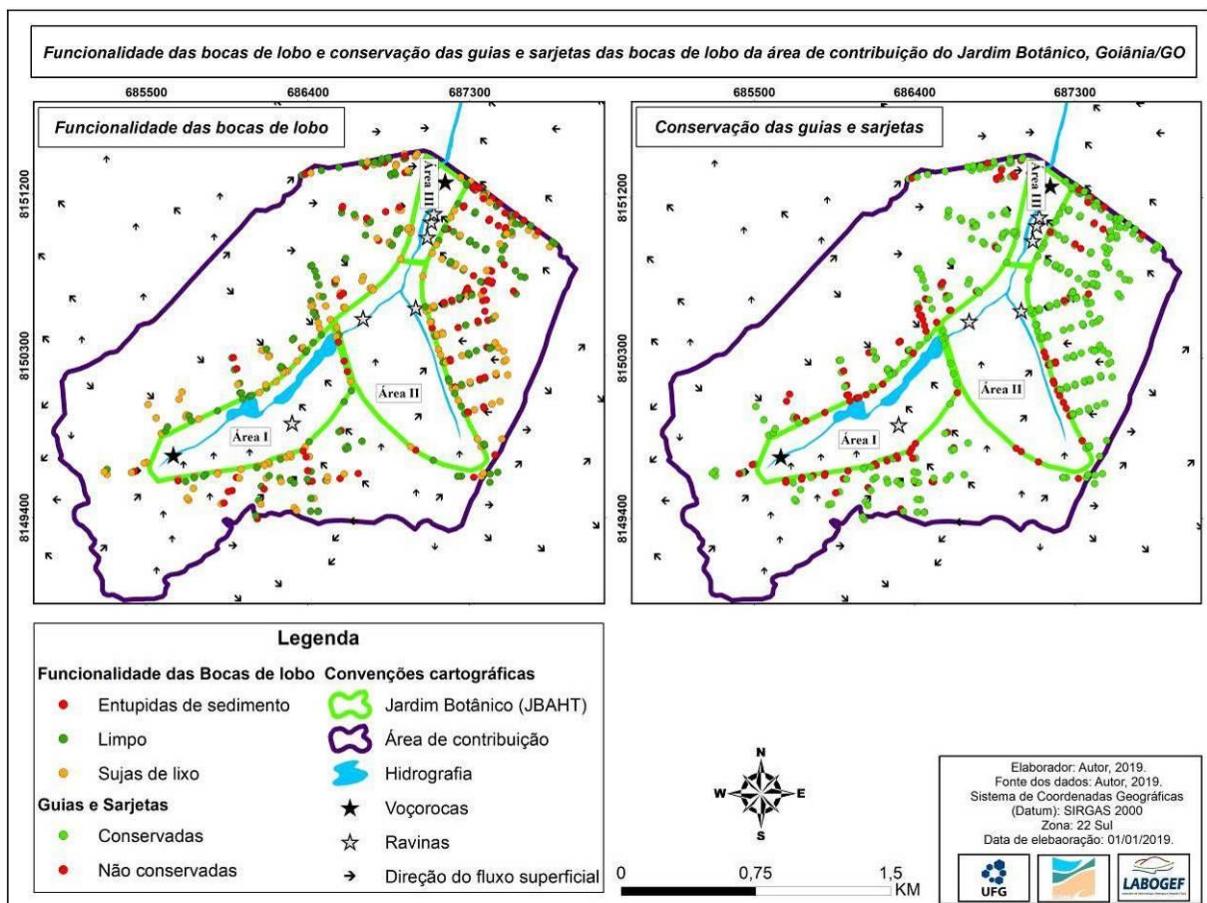


Figura 19. Funcionalidade das bocas de lobo e conservação das guias e sarjetas da área de contribuição do parque Jardim Botânico de Goiânia/GO.

O direcionamento das tubulações para dentro das erosões é um dos principais problemas no parque. Essas por sua vez, são tubulações de tamanho grande de 80 a 150 centímetros de diâmetro, que apesar de contribuir com maior eficiência na captação de água, condiciona maior potencial erosivo pelo grande volume de água que desagua nas cabeceiras das erosões (Figura 20).

Quanto maior o tamanho das bocas de lobo, tubulações e do número desses elementos em determinado ponto, mais eficiente será a captação do fluxo hídrico superficial, que por sua vez poderá diminuir a velocidade do fluxo superficial e dos eventos de alagamento. No entanto, percebe-se a escassez desses elementos principalmente próximos da voçoroca da área I, problema este que pode estar relacionado aos eventos de alagamento e surgimento da voçoroca.

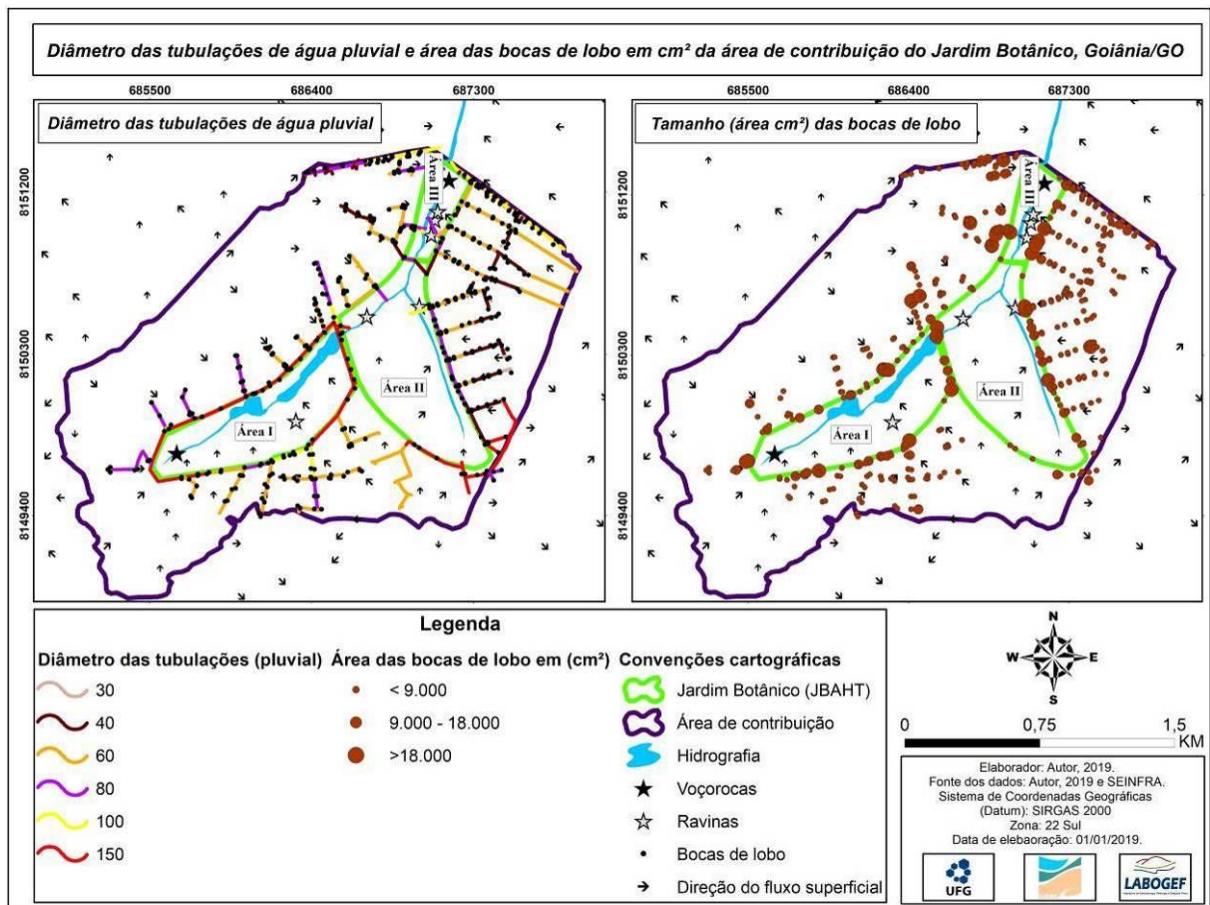
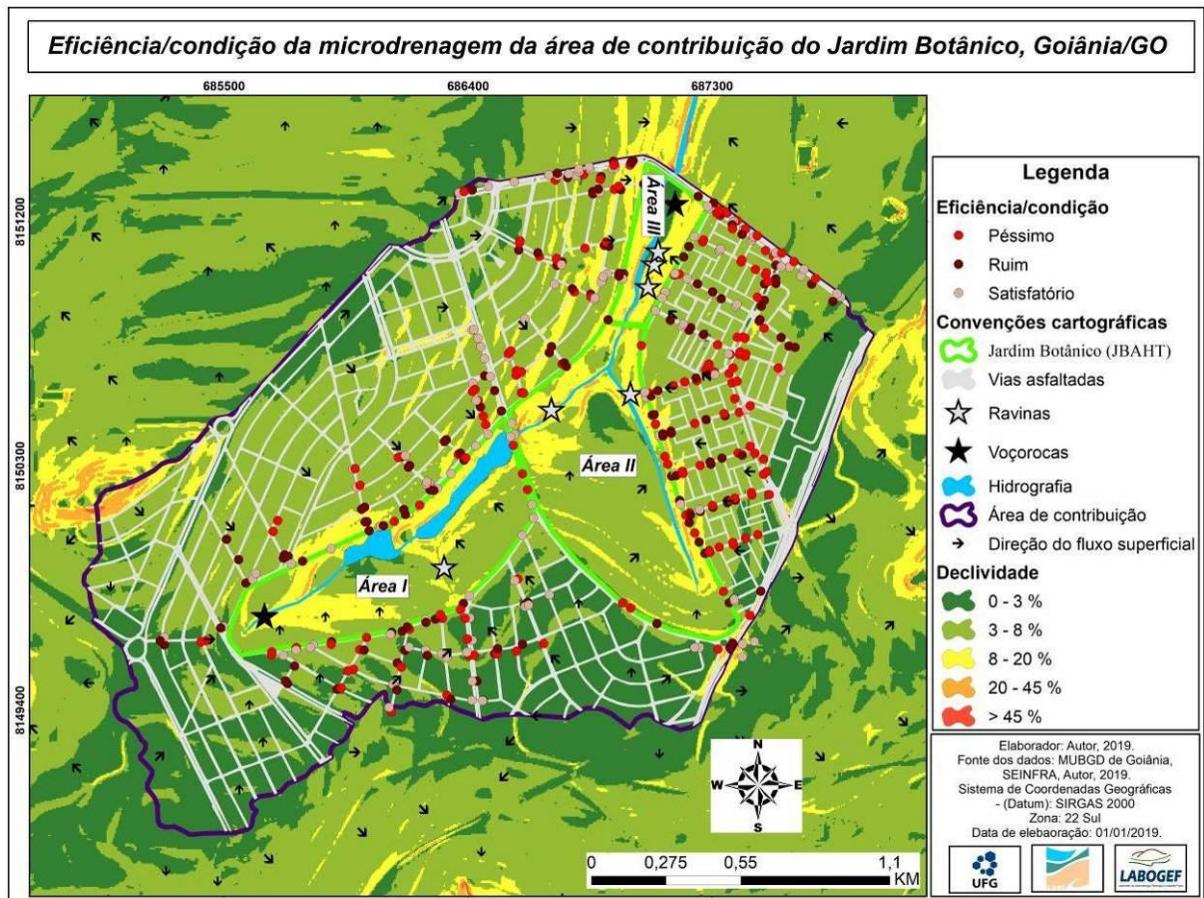


Figura 20. Diámetro das tubulações de água pluvial e área da entrada de água nas bocas de lobo em cm² da área de contribuição do parque Jardim Botânico de Goiânia/GO.

De forma geral, a microdrenagem da área de contribuição, apresentou maior quantidade de pontos na condição/eficiência péssima na região leste da área II e na área III, além disso, é uma região onde as declividades na borda do parque são mais elevadas, com 8% a maior que 45%, onde maiores partes dos processos erosivos estão instalados. (Figura 21).

No que se refere à voçoroca situada na porção oeste da área I, além da condição ruim e péssima da microdrenagem, existe também ausência das variáveis que constituem a microdrenagem, como bueiros, sarjetas e tubulações de água pluvial, que potencializa o fluxo superficial, que converge através de 4 (quatro) vias asfaltadas de comprimento longo para a cabeceira da voçoroca (Figura 21).



De forma geral, na área de estudo existem maior quantitativo de tubulações de água pluvial consideradas com tamanho médio, que representa 56% com diâmetro que vão de 60 a 80 centímetros. No extremo oposto, existe uma quantidade menor de tubulação de água pluvial consideradas de tamanho pequeno próximo às bocas de lobo, totalizando 16% com diâmetro que variam de 30 a 40 centímetros (Figura 22d).

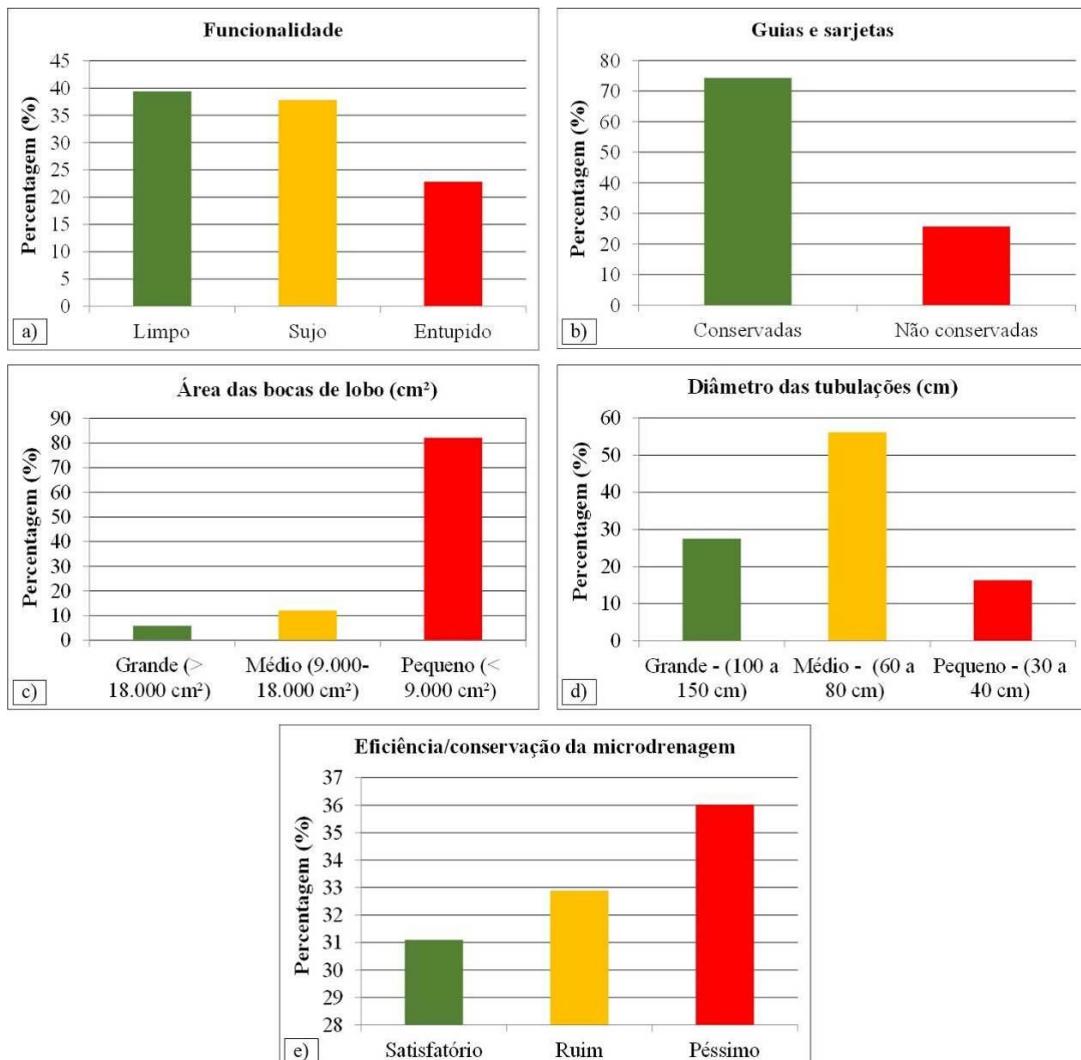


Figura 22. Percentagem dos elementos e da eficiência e condição da microdrenagem. Percentagem da funcionalidade das bocas de lobo (Limpas, suja e entupida) (a); Percentagem das guias e sarjetas (conservada e não conservada) (b); Percentagem da área das bocas de lobo (cm^2) (c); Percentagem do diâmetro das tubulações (cm) (d); Percentagem da eficiência/conservação da microdrenagem (e).

Maior quantidade de bocas de lobo foram classificadas como pequenas ($<9.000 \text{ cm}^2$), perfazendo 367 que caracteriza 82%, as bocas de lobo de tamanho médio (10.000 - 18.000 cm^2), somaram cerca de 54 e representam 12%, enquanto as de tamanho grande (>18.000), totalizaram 26 bocas de lobo e somam 6% (Figura 22c). Apesar das guias e sarjetas estarem em maior parte conservadas, acima de >70% (Figura 22b), existem muitas bocas de lobo com condições péssimas, que são aquelas consideradas entupidas com 23% e as sujas com 38% (Figura 22a).

O maior quantitativo de bocas de lobo com abertura para entrada de água considerada pequena limita a captação do volume de escoamento superficial, principalmente nas áreas de maior declive, que favorece o surgimento de processos erosivos no parque. Essa condição é observada principalmente na área I, onde o processo erosivo possui maiores dimensões.

A análise de todas as variáveis que influenciam na microdrenagem da área de estudos, possibilita a compreensão de que maior quantitativo da eficiência/condição da microdrenagem é considerada péssima, com 36%. Os demais valores são expressos como ruim com 33% e satisfatório com 31% (Figura 22e). Condição que pode aumentar as dimensões dos processos erosivos existentes no Jardim Botânico.

Outro fator que merece destaque é que na nascente da área I, local onde se desenvolveu o processo erosivo por voçorocamento, existem várias vias asfaltadas de elevado comprimento, que convergem para o ponto que se inicia a voçoroca.

Esses fatores da impermeabilização dos solos, aliado ao declive acentuado, provocam eventos de alagamento que são comuns na área I e III, em chuvas de grande intensidade. Entretanto, não se pode deixar de atribuir que a falta, inexistência ou ineficiência das tubulações de água pluvial, sobretudo nas áreas de maior declive, é um fator a ser considerado no quesito de aumento do volume dos escoamentos superficiais e do excedente hídrico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das análises da espacialização da microdrenagem da área de estudo, foi averiguado que existe uma tendência forte entre a eficiência e condição da microdrenagem com o surgimento dos processos erosivos dentro do parque Jardim Botânico.

A maior porcentagem da microdrenagem considerada péssima, com 36%, e ruim com 33%, está principalmente relacionada aos bueiros totalmente ou parcialmente entupidos de sedimentos e lixo, que inibem a captação de água da chuva e aumento da velocidade e volume da água de escoamento superficial, potencializando os eventos de alagamento, surgimento e evolução de feições erosivas.

Os pontos das condições ruins e péssimas possuem maior concentração, principalmente na porção oeste e sul da área I e leste da área II, regiões que possuem as erosões com as maiores dimensões.

Portanto, recomenda-se a limpeza dos sedimentos e lixos nas tubulações e da construção onde há a ausência de guias e sarjetas e aumento do tamanho delas, para diminuir a velocidade do escoamento superficial nas vias asfaltadas e da vulnerabilidade da Unidade de Conservação Jardim Botânico aos processos erosivos.

As maiores percentagens consideradas como péssimas da microdrenagem, a quase total impermeabilização dos solos com os elevados valores de declividade ao entorno das erosões, aliado as maiores percentagens da curvatura convexa, são elementos que proporcionam maiores velocidades ao fluxo hídrico e desenvolvimento de processos erosivos

acelerados na área de estudos. Portanto, as análises da evolução temporal do uso e cobertura das terras também foi um elemento que contribuiu para determinação da origem dos processos erosivos, com sua provável data de ocorrência.

Sendo assim as maiores alterações de impermeabilização dos solos em um menor espaço de tempo, estão relacionadas às mudanças do uso de 1975 a 1988. Mudanças abruptas também foram verificadas no ano de 1988 a 1992, com o asfaltamento de praticamente toda a área de estudos, que pode ter influenciado drasticamente na exposição das raízes das árvores e desencadeamento dos processos erosivos nestes anos no Jardim Botânico.

Os anos de 1964 a 1988 são provavelmente os anos que tenham contribuído com maior aporte de sedimentos, que soterraram a base do caule das espécies arbóreas encontradas no parque, pois correspondem aos anos que apresentam maiores porcentagens de áreas não construídas e de solos expostos, que vão de 76% a 49%.

No que tange aos anos que podem ter maior influência na formação e intensificação dos processos erosivos da área de estudos, com consequências na exposição das raízes das árvores, são os intervalos entre os anos de 1992 a 2016, por ser os anos onde as porcentagens das áreas construídas e das vias asfaltadas, que são consideradas como áreas impermeáveis, perfazem de 50% a 65% da área de contribuição, e que por sua vez contribuem na diminuição da infiltração da água no solo e aumento da velocidade de escoamento superficial.

As maiores alterações do uso do solo e do maior quantitativo dos pontos péssimos ou falta dos elementos da microdrenagem, ocorrem nas regiões oeste da Área I e Área II, onde a dimensão dos processos erosivos são maiores. Diante do exposto, existe uma relação espacial das regiões com as piores condições do uso e da drenagem urbana com o surgimento dos focos erosivos.

Recomenda-se para melhor gestão do parque: 1) Implementação de Projetos de Revegetação, principalmente a porção oeste da área I, onde o processo erosivo é mais intenso; 2) Desobstrução das caixas de drenagens; 3) Construção ou reparo das guias e sarjetas; 4) Extensão da conexão das tubulações até a margem do curso hídrico, incluindo sistemas de dissipação e atenuação da velocidade do fluxo hídrico para evitar a erosão das margens.

Todas as alterações antrópicas caracterizadas pela evolução temporal do uso e cobertura das terras deste capítulo serão correlacionadas com a avaliação da dendrogeomorfologia do capítulo II, para verificar quais são os anos que evidenciaram maiores alterações anatômicas e da largura dos anéis de crescimento no lenho do caule e das raízes expostas dos indivíduos arbóreos amostrados.

CAPÍTULO III. DENDROGEOMORFOLOGIA NA AVALIAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS: ESTUDO DE CASO DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA/GO

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os métodos numéricos para estimativa de perdas de solos têm sido questionados, devido às escalas de abordagem, relativamente pequenas (<10 anos), principalmente, no que se refere a problemas relativos a dados climáticos, pela complexidade do processo, que aumenta em escalas temporais maiores, levando às incertezas na predição de processos erosivos (KIM et al., 2016).

A datação ou cronologia da ocorrência dos processos erosivos é uma valiosa ferramenta auxiliar na distinção entre eventos erosivos naturais ou acelerados pela ação antrópica, principalmente em Áreas de Preservação Permanente (APP's) (MOMOLI et al., 2012; BOVI et al., 2018).

Áreas de Preservação Permanente representam ecossistemas especiais, cuja conservação é prioritária, devido à presença de espécies mais frágeis aos impactos provenientes do meio antrópico e por ser caracterizada com espécies distintas das regiões de maiores altitudes (AB'SABER, 2000), que corresponde à vegetação presente às margens de rios, lagos e nascentes, que é protegida pela legislação ambiental brasileira (Lei Federal nº 12.651/2012) na categoria de Áreas de Preservação Permanente de margem de cursos hídricos.

As matas ciliares e de galeria, que compõem as APP's, possuem importante função de filtro contra a entrada de sedimentos nos corpos hídricos (OLIVEIRA et al., 2010) e espécies arbóreas com raízes tabulares ajudam a reter parte da carga de sedimentos que iriam para os corpos hídricos (MOMOLI et al., 2012).

Apesar da proteção dada pela legislação, vários pesquisadores (PIRES et al., 2009; METZGER, 2010; SANTOS e SPAROVEK, 2011; MOMOLI et al., 2012) afirmaram que a largura da mata ciliar, definida pela Lei Ambiental Brasileira desde a legislação N° 4.771/65 e também pela mais atual Lei nº 12.651/2012, foi subestimada, visto que o atual modelo de expansão agrícola e urbana está carreando mais sedimentos que essas matas conseguem reter.

Diante disso, este trabalho traz uma abordagem inovadora para estudos de erosão no Cerrado brasileiro, cujo objetivo é estabelecer uma relação dos anos com os maiores impactos provenientes das alterações antrópicas e o ritmo de crescimento das espécies de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.), conhecida como (Angico Vermelho) e *Schefflera*

morototoni (Mandiocão), com a perspectiva de datar e dimensionar os processos erosivos nas APP's das Zonas Ripárias do Jardim Botânico de Goiânia/GO (JBAHT).

Para tanto, as análises do capítulo II se tornam essenciais para conceber uma relação, entre os anos com maiores percentuais de áreas construídas impermeáveis provenientes dos loteamentos e de solos expostos, com o ritmo de crescimento do lenho e sinais anatômicos nas raízes expostas e do caule das espécies amostradas respondem a essas alterações antrópicas.

Partindo deste pressuposto, este capítulo utilizará a dendrogeomorfologia como ferramenta para compreender e dimensionar os processos erosivos no Jardim Botânico de Goiânia/GO, através de um reconhecimento histórico anual da taxa de perda de solos e da sedimentação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Seleção das áreas críticas no Jardim Botânico

Os elementos da direção do arruamento e da condição e eficiência da microdrenagem foram variáveis de suma importância para seleção das áreas críticas, representados pelos polígonos em cor laranja, que se compõem em Sítio I e Sítio II dentro do fragmento florestal, conforme a figura 23. O Sítio I foi selecionado dentro do fragmento florestal, porque próximo dessa localidade existem arruamentos com comprimentos maiores, maior convergência dos fluxos hídricos superficiais pelo acúmulo do escoamento da chuva advindos de várias vias asfaltadas e também pela falta ou inexistência de elementos da microdrenagem (Figura 23, A e B).

No que tange o Sítio II foram selecionados nesta região do fragmento florestal, porque próximo dessas localidades existem maior densidade de pontos das condições piores ou péssimas da microdrenagem e maior adensamento de construções, como pode ser observado na (Figura 23, C e D). Esses fatores foram determinantes para a escolha e delimitação prévia do Sítio I e Sítio II, pois são áreas que podem possuir ocorrência de maior velocidade do fluxo hídrico superficial e serem mais susceptíveis à ocorrência de erosão hídrica e de árvores com raízes expostas.

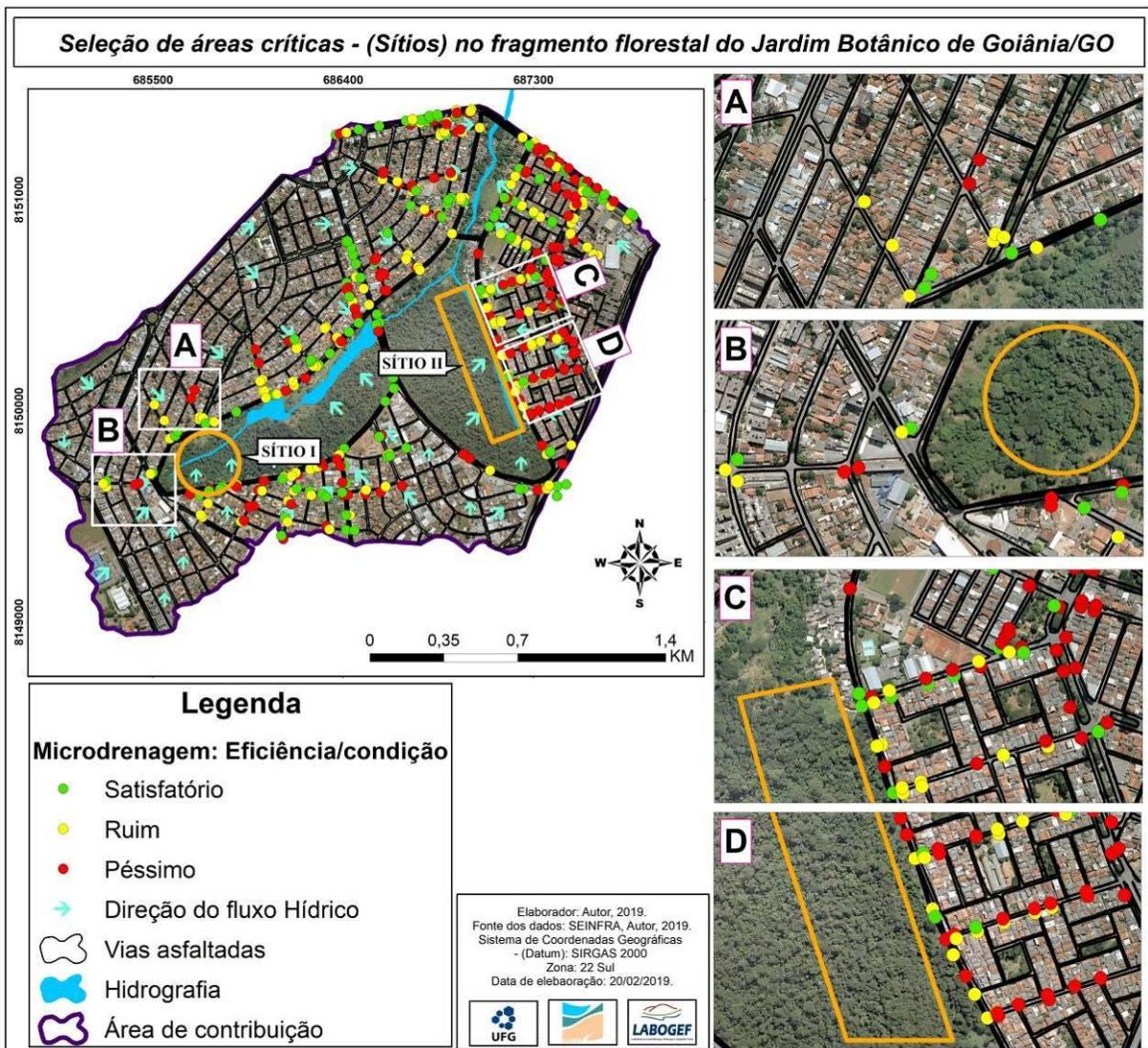


Figura 23. Seleção de sítios com base nas áreas críticas do entorno do fragmento conforme a direção dos arruamentos, da condição e eficiência da microdrenagem e da direção do fluxo hídrico. O círculo de com laranja (A; B) e o retângulo (C; D) em laranja indica a região onde as espécies podem ter maiores alterações por erosão hídrica.

Ressalta-se, portanto que a seleção dos sítios considerou as seguintes variáveis: evidência de perda de solos ou acúmulo de sedimentos, declividade acentuada, sentido dos arruamentos, microdrenagem com problemas de conservação e manutenção e direção do fluxo hídrico superficial.

3.2 Seleção das espécies arbóreas

Para escolha das espécies a serem analisadas, primeiramente, adquiriu-se no Herbário do Jardim Botânico Amálio Hermano Teixeira (JBAHT) de Goiânia/GO uma lista que constava a identificação de 373 espécies existentes no parque, com nome científico, número de indivíduos amostrados e nome popular. Com base nesta lista de espécies, realizou-se levantamento de espécies arbóreas que possuíam potencial dendrocronológico indicados nos

trabalhos de Botosso e Mattos (2002) e Botosso (2011) e em artigos científicos, teses e dissertações.

Com a seleção dos indivíduos com potencial dendrocronológico, foram realizadas atividades de campo no Jardim Botânico para reconhecimento dessas espécies em campo, com distribuição e abundância dentro da área florestal do Jardim Botânico de Goiânia/GO, compatíveis com as exigências estatísticas para as análises dendrocronológicas.

As espécies arbóreas, com anéis de crescimento distintos no JBAHT, escolhidas para a análise dendrogeomorfológica, baseado nos estudos de Botosso e Mattos (2002) e Botosso (2011), foram: 1) *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Angico Vermelho), 2) *Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyermark & Frodin (Mandiocão), enquanto as espécies: 3) *Guarea Guidonia* (L.) Sleumer (Marinheiro) e 4) *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. var. *peregrina* (Angico Branco), foram selecionadas apenas para verificar a existência de formação de anéis distintos e anuais. Todos os indivíduos selecionados foram georreferenciados e suas posições espaciais registradas com GPS *Garmin Etrex 30*.

A identificação das espécies arbóreas citadas foram realizadas nas Zonas Ripárias do fragmento florestal do Jardim Botânico, pelo biólogo Sebastião de Souza Silva (Sabá). Posteriormente, a bióloga Georgia Silveira de Sant'ana confirmou a identificação das espécies e disponibilizou o material para identificação botânica, como sementes e folhas pertencentes ao acervo do Herbário do Jardim Botânico de Goiânia/GO.

Para a seleção dos indivíduos pertencentes às espécies escolhidas, foram selecionados aqueles situados em locais com evidente perda de solo ou acréscimo de sedimentos, além de alguns sem evidências, ou seja, sem alterações no nível do solo, para servirem como testemunhos ou indivíduos-controle.

Após a verificação do potencial das espécies citadas, foram, ao todo, coletadas da *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Angico Vermelho) e *Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyermark & Frodin (Mandiocão) porções de lenho do tronco de 21 árvores para ambas as espécies, que resultou na análise de 42 amostras do tronco, assim distribuídas: 1) com exposição, coletadas raízes e caule 2) soterradas (caule) e 3) sem alteração do nível dos solos (árvores controles – raízes e caule), das quais foram coletadas amostras em dois raios opostos no tronco, totalizando 42 amostras.

Foram escolhidos para a análise 5 (cinco) indivíduos de *S. morototoni* com raízes expostas e 3 (três) com influência de sedimentação. Da espécie *A. macrocarpa* (Angico vermelho) foram escolhidos 3 (três) indivíduos com raízes expostas e 3 (três) indivíduos com o caule soterrado.

Quanto aos indivíduos (controles) que estão sem influencia da erosão ou sedimentação, ou seja sem influencia de erosão e sedimentação e que auxiliam no controle da datação dos anéis de crescimento foram escolhidos 4 (quatro) indivíduos de *Schefflera morototoni* e 3 (três) indivíduos de *Annadantha peregrina*.

Quanto à distribuição espacial desses indivíduos controles, 3 (três) indivíduos de *S. morototoni* e 2 (dois) indivíduos de *A. macrocarpa* se localizam na Sítio I, e 1 (um) indivíduo de *A. peregrina* e 1 (um) de *S. morototoni* se situam no Sítio II (Figura 24).

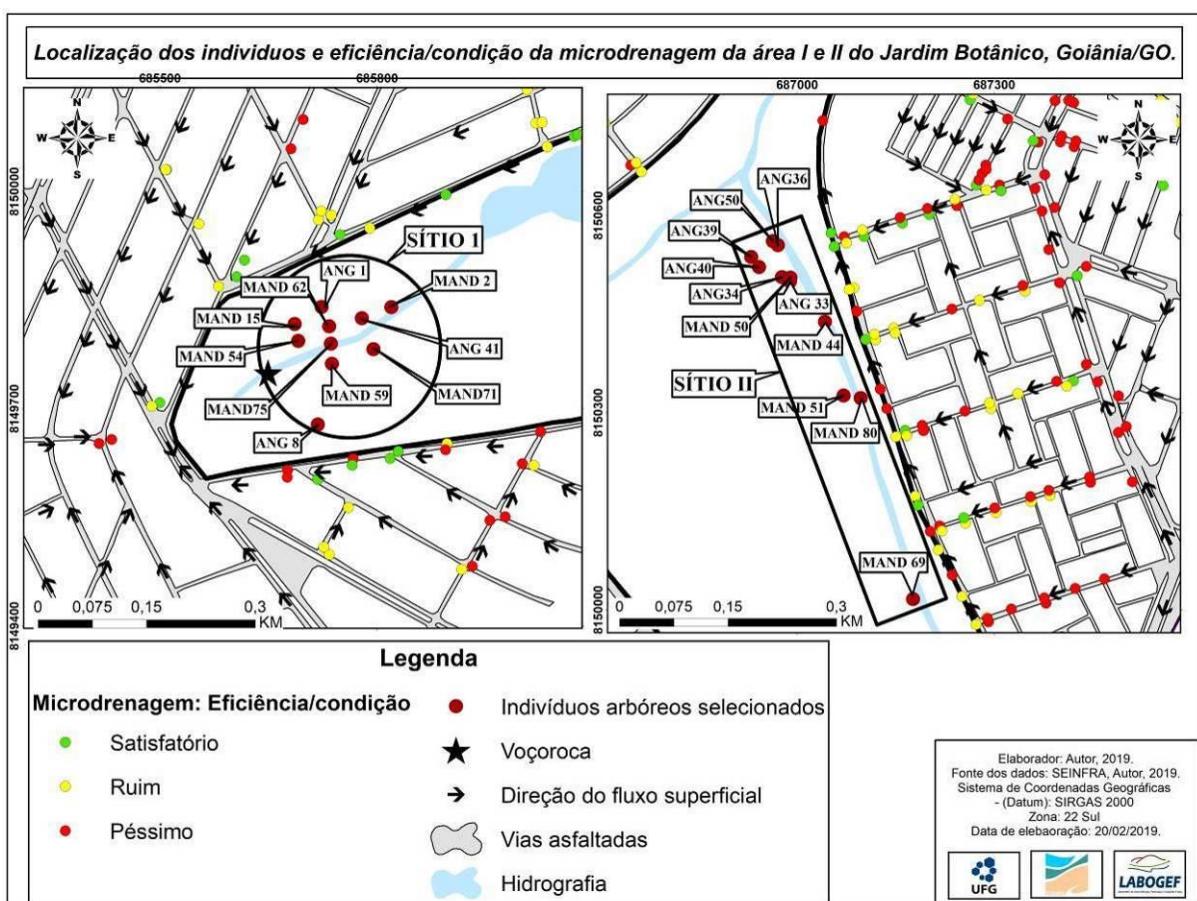


Figura 24. Localização dos indivíduos arbóreos dentro do Sítio I e Sítio II conforme a direção dos Arruamentos, da condição e eficiência da microdrenagem e da direção do fluxo hídrico.

Como as espécies *G. guidonea* e *A. peregrina* foram escolhidas apenas para verificar o potencial dendrocronológico e dendrogeomorfológico, foi coletado em uma única árvore 1 (uma) amostra de cada indivíduo do caule e de um seguimento da raiz exposta de cada uma dessas espécies.

Os indivíduos do Sítio I, com raízes expostas, estão situados na encosta de uma voçoroca que apresenta até 11 metros de profundidade e 16 metros de largura. Os indivíduos

do Sítio II estão localizados numa encosta às margens de curso hídrico, que está sendo alargado por erosão fluvial, como foi descrito no capítulo II.

Diante do exposto, como pode ser observado na figura 24, foram escolhidos indivíduos em 2 (dois) Sítios, os quais estão localizados nas imediações de áreas com maior adensamento de lotes construídos, com convergência do fluxo hídrico superficial.

Os blocos diagramas da figura 25 representam e comprovam a grande dimensão da voçoroca no Sítio I e do vale encaixado composto pelo leito do rio do Sítio II, mencionadas anteriormente no capítulo II, pela exposição das rochas de xisto na calha do curso hídrico.

A voçoroca do Sítio I possui conforme o bloco diagrama, de 10 a 12 metros de altura figura 25b, que comprova e valida às medições realizadas *in loco*. Portanto, as variações altimétricas se mostram bastante pronunciadas, principalmente no Sítio I, onde o volume do processo erosivo é muitas vezes maior.

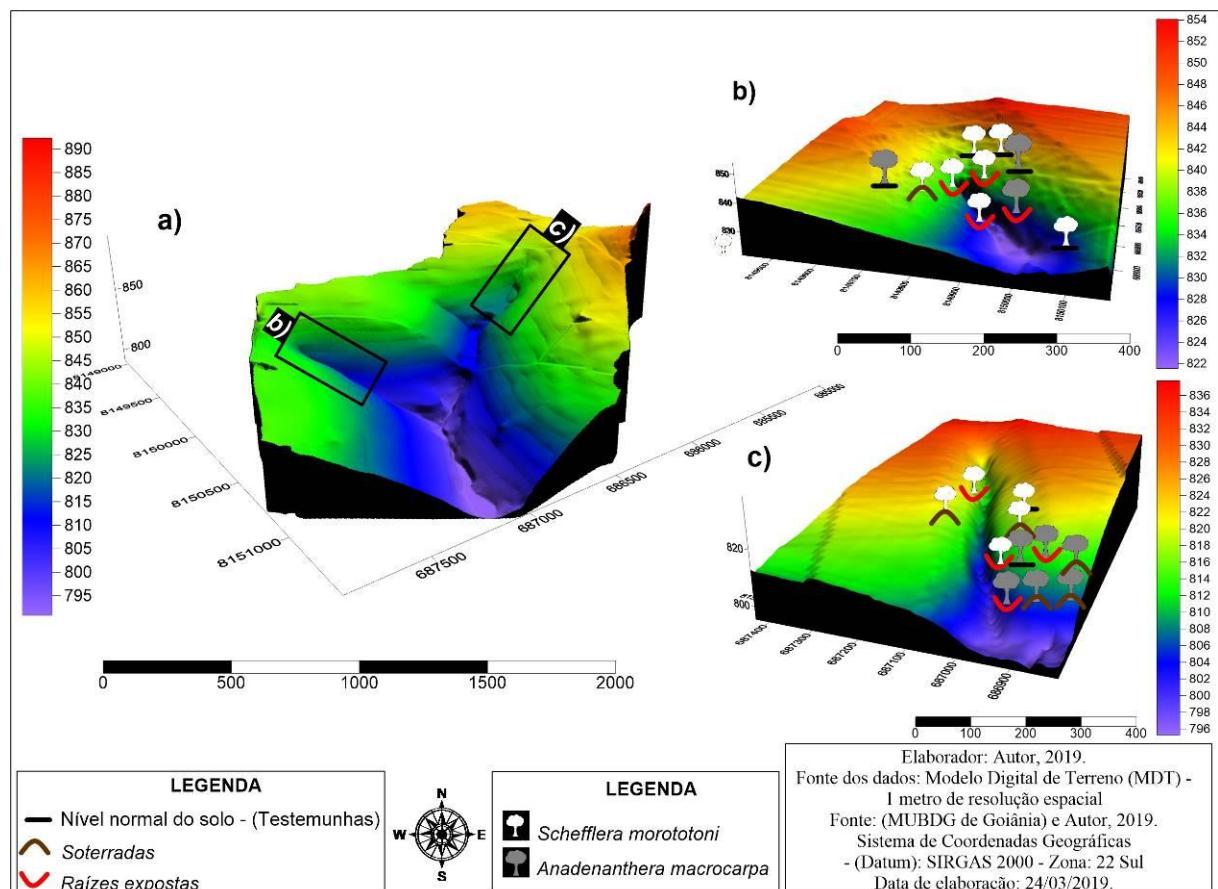


Figura 25. Bloco diagrama em 3D com a hipsometria, representando a área de contribuição do Jardim Botânico de Goiânia/GO (a). Variações altimétricas em 3D da área da voçoroca e localização das espécies em seu entorno no Sítio I (b). Variações altimétricas em 3D do vale encaixado ao longo do curso hídrico e a localização das espécies amostradas no sítio II (c).

As coordenadas dos indivíduos arbóreos pertencentes às duas espécies são representadas nos blocos diagramas, localizadas no Sítio I e Sítio II da figura 24a e b, onde é

possível observar os indivíduos arbóreos que estão próximos às encostas dos processos erosivos com raízes exposta e as mais afastadas se constituem de indivíduos sedimentados e sem alterações no nível do solo, figura 25.

3.3 Caracterização das espécies arbóreas

A confirmação da identificação botânica das árvores foi realizada através da coleta *in loco* de folhas, sementes e imagens do caule e copa das árvores (Figura 26). As imagens da Figura 26, b, f e j, foram fotografadas mediante as respectivas sementes disponíveis no catálogo do Herbário do Jardim Botânico.



Figura 26. Espécies arbóreas escolhidas com suas morfologias e diagnósticos para análise dendrogeomorfológica. *S. morototoni* (Mandioca) - Copa (a); Sementes (b); Folha (c); Aspectos externos do caule (d). *A. macrocarpa* (Angico Vermelho) - Copa (e); Sementes (f); Folha (g); Aspectos externos do caule (h). *A. pelegrina* (Angico Branco) - Copa (i); Sementes (j); Folha (k); Aspectos externos do caule (l). *G. guidonea* - Copa (m); Frutos (n); Folha (o); Aspectos externos do caule (p). Fonte: Autor (2019).

A espécie *Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyermark e Frodin da família Araliaceae possui em média de 7 a 30 metros de altura, com tronco retilíneo, casca lenticelada (Figura 26d). Suas folhas são concentradas no ápice dos ramos com 7 a 12 folíolos largos e compridos de 12 a 40 cm de comprimento (Figura 26c). Sua ocorrência pode ser registrada em regiões florestais pouco densas, formações secundárias e fitofisionomias de capoeiras e capoeirões (HARRI, 2009).

Já *Anadenanthera peregrina*, da família Fabaceae e subfamília Caesalpinioideae (Leguminosae), pode alcançar até 15 metros de altura, possui copa irregular, troncos com diâmetros de até 100 centímetros. Suas folhas possuem 56 folíolos opostos e até 180 folíolos lineares. Os frutos são em forma de folículos de até 20 centímetros de comprimento, as sementes são de 1,5 centímetros de diâmetro são achatadas, suborbiculares e de cor castanha, conforme a figura 26j (JÚNIOR e LIMA, 2010).

Segundo Paula e Alves (1997) a *A. macrocarpa* (Benth) Brenan, da família Fabaceae e subfamília Caesalpinioideae de nome popular Angico-vermelho, é caracterizada como uma árvore com 25 metros de altura e cerca de 90 centímetros de diâmetro, casca marrom-clara, quase lisa em formato de placas pequenas e se constitui em uma madeira dura, com densidade básica aproximada de 860 kg/m³, alburno bege-escuro e cerne escuro.

O formato da copa da *A. macrocarpa* e *A. pelegrina* não possui diferenças significativas, mas é possível diferenciá-las pela rugosidade da casca e pelo tamanho e cor das sementes (Figura 26f,h,j,l). A *A. macrocarpa* possui casca mais lisa, enquanto que, a *A. pelegrina* possui casca mais grossa (Figura 26f,h). No que se refere às sementes, a *A. macrocarpa* possui sementes menores, com coloração castanho clara, enquanto a *A. pelegrina* possui coloração castanho escuro à preta (Figura 26j,l) (HARRI, 2009).

No que diz respeito à *Guarea guidonea* (L.) Sleumer, da família Meliaceae, é uma árvore perene e folhagem densa, podendo chegar até 18 metros de altura e 80 centímetros de diâmetro, possui copa ampla, irregular, tronco reto com casca grossa. Suas folhas medem em média de 16 a 20 cm de comprimento, com 6 a 8 de folíolos, os frutos são do tipo cápsula de 1 a 1,5 de diâmetro (Figura 26) (PAULA e ALVES, 2010).

Segundo Carvalho et al. (2009), a *G. guidonea* é uma espécie que tem crescimento rápido, apesar disso, pode chegar a cerca de 150 anos e se encontra no grupo sucessional como secundária inicial e está situada em regiões de várzeas ou de solos mais úmidos ou encharcados, e estão localizadas nos biomas da Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica.

3.4 Procedimentos de coleta das amostras do tronco

Para análise em laboratório dos anéis de crescimento, foram retiradas do tronco das árvores selecionadas, amostras radiais de madeira, denominadas baguetas de 5,5 mm de diâmetro, com até 40 cm de comprimento, através de uma técnica não destrutiva que utiliza um trado de incremento (sonda de Pressler) (BOTOSSO e MATTOS, 2002). Para cada um dos indivíduos selecionados foram coletadas duas amostras radiais do lenho (sentido medula-casca) para averiguação prévia e confirmação, em laboratório, da existência de anéis de crescimento. Posteriormente, foram realizadas as demais coletas para completar o número amostral adequado. As amostras do caule foram coletadas a 50 centímetros do nível do solo em todas as espécies, determinado com o uso de uma trena (Figura 27).



Figura 27. Procedimentos de coleta do tronco. Determinação da posição de coleta (50 centímetros) das amostras do lenho (a); Coleta com sonda de Pressler em 2 (dois) sentidos opostos no caule para obtenção de amostras (baguetas) (b); Inserção de cavilhas para tapar os orifícios e tratamento da casca com tinta antifúngica nos dois raios coletados (c); Fixação das amostras identificadas com cola na superfície de suportes de madeira (d).

Em seguida, foram inseridas cavilhas para tapar os orifícios gerados pela obtenção das amostras e realizado o tratamento fitossanitário com tinta antifúngica, para evitar doenças e parasitas oportunistas nas árvores (Figura 27a ec). Depois, as amostras foram acondicionadas em canudos de plástico, etiquetadas e fixadas em suportes de madeira com cola branca.

3.5 Procedimentos de coleta de amostras das raízes expostas

Segundo Bodoque et al. (2011) para datar a erosão hídrica, a coleta de amostras de raízes enterradas dos indivíduos soterrados não é necessária, apenas amostras do caule são suficientes (Figura 28A).

Para controle da datação da erosão hídrica, além da coleta de raízes expostas, a coleta de amostras de raízes enterradas dos indivíduos testemunha são necessárias para a realização das análises. Este fato se deve à existência de uma tendência de crescimento mais normal das raízes enterradas das árvores sem alteração do nível do solo em relação às expostas.

Foram coletadas 3 (três) amostras de raízes expostas em um mesmo segmento de raiz. De outro segmento, da mesma árvore, foram coletadas 3 (três) amostras de raízes enterradas, que estavam do lado oposto da encosta ou da voçoroca (Figura 28B). O mesmo número amostral foi utilizado na coleta de raízes enterradas nos indivíduos controle (Figura 28C).

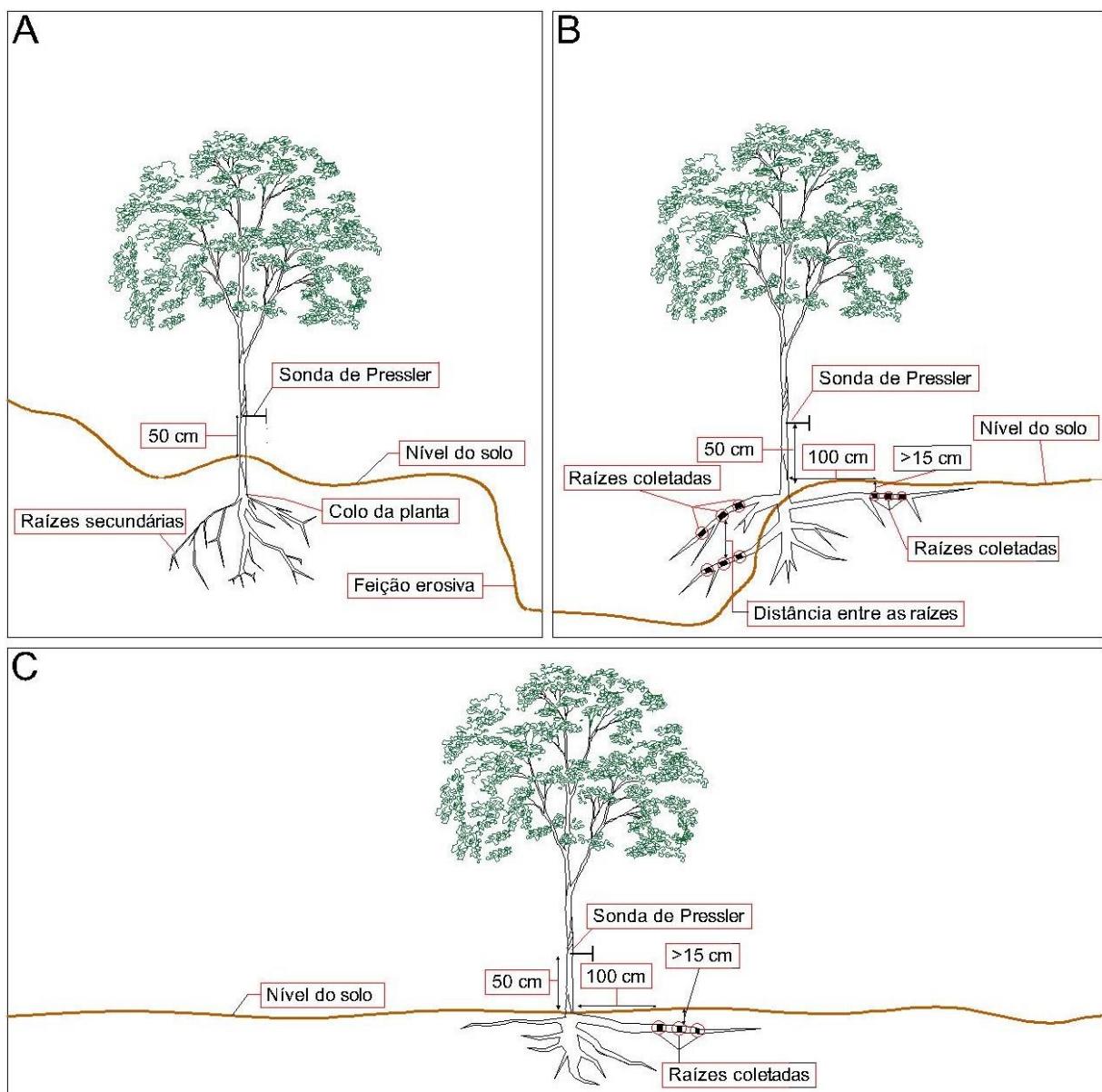


Figura 28. Representação esquemática do procedimento de campo e amostragem das raízes expostas e enterradas dos indivíduos arbóreos. Procedimento de campo nos indivíduos sotterrados (A); Procedimento de campo nos indivíduos na encosta da erosão com raízes expostas (B); Procedimento de campo nos indivíduos sem alteração do nível do solo (controles) (C). **Fonte:** Autor, 2020.

O mesmo quantitativo (três amostras) foram coletadas para as raízes paralelas, em condição de exposição (Figura 28B), sendo que tanto os segmentos de raízes enterradas, quanto das expostas foram coletadas nas porções inicial, intermediária e final de cada raiz, para datar a evolução remontante das perdas de solos na encosta do processo erosivo,

conforme é exemplificado pela figura 28B,C e na metodologia proposta por Bodoque et al. (2011).

Ao todo foram analisadas 34 amostras de raízes de *S. morototoni* e 21 amostras de raízes de *A. macrocapa*, incluindo amostras de um mesmo segmento de raiz (Quadro 4).

O número de amostras de raízes não é igual, porque não foi encontrado maior número de árvores na encosta das feições erosivas com raízes expostas do que o número de indivíduos estabelecidos neste trabalho.

Quadro 4. Número amostral de raízes amostradas nas diversas condições do nível do solo dos indivíduos de *Schefflera morototoni* e *Anadenanthera macrocapa*

Condições do Nível dos solos dos indivíduos (Coleta)	<i>Schefflera morototoni</i> (Nº de amostras coletadas)	<i>Anadenanthera macrocapa</i> (Nº de amostras coletadas)
Raízes expostas	13	7
Raízes enterradas das árvores com raízes expostas	11	7
Sem alteração do nível do solo (controle)	10	7

As raízes expostas e enterradas foram coletadas no mês de março de 2019, enquanto as amostras do caule em fevereiro do mesmo ano. Com isso, o último anel de crescimento totalmente formado nas raízes e no caule das árvores de ambas as espécies data de 2017. Esta informação é de suma importância para a datação dos períodos de exposição e sedimentação.

As raízes enterradas dos indivíduos com raízes expostas são importantes para amostras-controle para datar com maior certeza o início da ocorrência dos processos erosivos, no que está relacionado à alteração anatômica macro e microscópicas do primeiro anel marcador do início da exposição radicular (VANDEKERCKHOVE et al., 2001).

Para isso, também foram retiradas 3 (três) amostras de raízes enterradas de um mesmo segmento de raiz das árvores (testemunhas), que são aquelas sem alteração do nível dos solos a no mínimo de 50 (cinquenta) centímetros a 1 (um) metro de distância do caule, para evitar interferências de crescimento do mesmo (Figura 29 a,b,c,d). As raízes enterradas foram retiradas com uma profundidade de no mínimo 15 centímetros do nível do solo, como indicado na literatura (Figura 29c) (GÄRTNER, 2007).

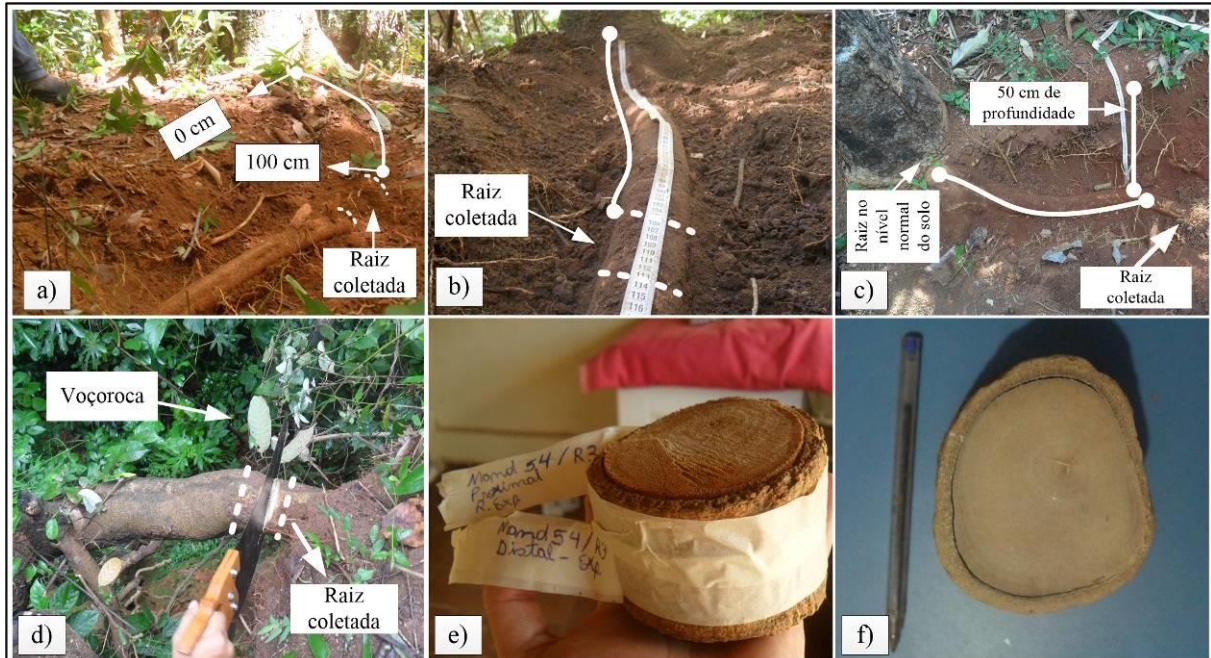


Figura 29. Procedimentos de coleta e amostragem: Extração de amostra de raiz enterrada do indivíduo que possui raiz exposta de *Anadenanthera macrocapa* na encosta da voçoroca (a); Amostra retirada de *Anadenanthera macrocapa* (indivíduo controle) (b); Apresentação da raiz enterrada de *Schefflera morototoni* sem alteração do nível do solo (indivíduo controle) (c). Coleta de 1 (uma) amostra de raiz exposta do indivíduo arbóreo na encosta da erosão (d). Identificação da amostra da porção próxima do tronco (proximal) e região mais afastada (distal) (e); Visão frontal da amostra de raiz exposta com 8 centímetros de largura de *Schefflera morototoni* (f).

Segundo Gärtner (2007), essa distância deve ser levada em conta para que as raízes amostradas não possuam interferência por dois motivos: A base do caule migra para cima devido o seu crescimento contínuo e as raízes próximas à base do caule evidenciam um crescimento assimétrico na seção transversal com anéis mais largos no lado superior, devido às tensões mecânicas.

As informações das amostras de raízes expostas e enterradas referentes à identificação da porção próxima do tronco (proximal) e região mais afastada (distal) foram anotadas durante a amostragem, assim como foi marcada na casca da raiz, a posição que ela estava quando foi retirada (Figura 29e).

Após coleta preliminar, a avaliação indicou que as espécies selecionadas com raízes expostas possuíam potencial para estudo dendrocronológico. No Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio) as amostras foram deixadas por 30 dias em ambiente com condições normais de temperatura e pressão para secagem e tiveram sua seção transversal polida com lixas abrasivas de granulometria crescente (10 a 400 grãos/mm²) (ŠILHÁN et al., 2016).

3.6 Identificação da espessura de sedimentos acumulados no tronco

A espessura de sedimentos depositados pode ser medida com trena a partir da localização do colo da árvore, que marca o nível da superfície do solo no momento da germinação, ou nível de base de 0 (zero) cm para identificar a altura de sedimentos acumulados (HUPP e BAZEMORE, 1993).

Dessa forma, realizou-se a escavação do terreno na base das árvores, tendo como finalidade a identificação do colo das árvores (Figura 30). O colo ou coleto é a região de transição entre raiz e caule, é está próximo ao nível do solo.



Figura 30. Escavação no sentido vertical do caule das espécies estudadas para identificação do colo da planta e medição em centímetros (cm) até o nível atual dos solos. Medições com trena do acúmulo de solo na base do nível atual dos solos até o colo das plantas de *Schefflera morototoni* - MAND 59 (**a**) e medição da *Anadenanthera macrocapa* - ANG 39 (**b**).

3.7 Estimativa da perda de solos

Conforme a metodologia proposta por Ballesteros-Cánovas et al. (2013) iniciou-se os trabalhos de campo, onde a perda vertical de solos, e assim, como a distância horizontal de raízes vizinhas foram devidamente anotadas *in loco* para realização dos cálculos, conforme pode ser observado na figura 31.



Figura 31. Procedimentos de coleta e medição: Erosão vertical do nível do solo até a superfície da amostra de raízes exposta extraída, além das amostras de raízes coletadas em indivíduo de *S. morototoni* (a), Medição da distância das raízes paralelas entre si R1 e R2 e também da taxa de erosão vertical (b); Raiz com nível normal do solo (indivíduo controle) (c); Raízes coletadas e medição da erosão vertical em centímetros (d).

A perda vertical e horizontal de solos foi medida com uma trena, a partir da porção do nível do solo até a porção superior da casca da raiz extraída (Figura 31). As figuras 31b e 32b, demostram o procedimento de medição das raízes paralelas ou vizinhas, e o local que foram extraídas. Os conceitos referentes à perda vertical e horizontal e os procedimentos em campo para a determinação são descritas no trabalho de Castilho (2016).

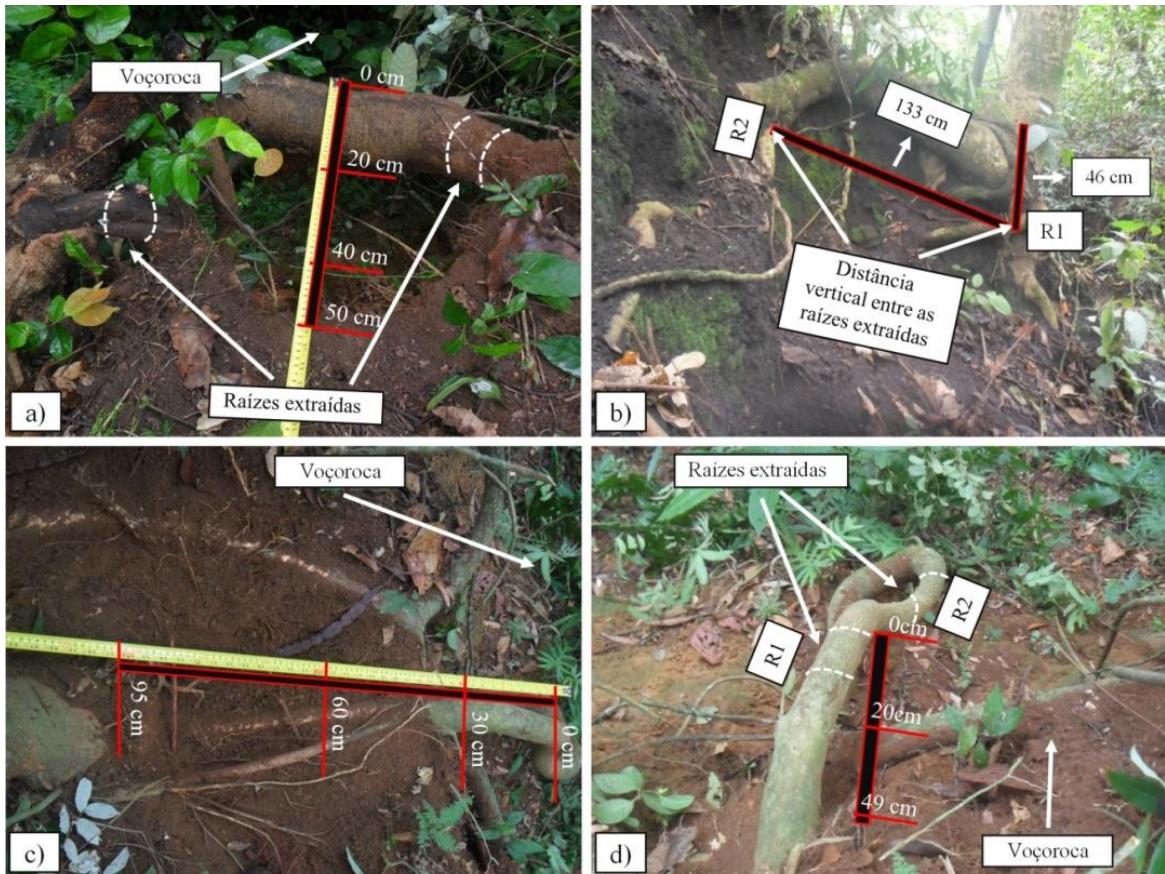


Figura 32. Medição da erosão vertical e longitudinal: Árvore de *S. morototoni* (Mand 62) próximo à cabeceira do processo erosivo da área I da área de estudos (a); Averiguação da erosão horizontal entre raízes vizinhas R1 e R2 de um indivíduo de *S. morototoni* (Mand 69) na área II (b). Medição do comprimento da raiz exposta de *A. peregrina* (Ang 41) na encosta da voçoroca da área I (c) e da erosão do nível do solo até a superfície da casca da raiz (d).

A datação do início dos processos erosivos na área de estudos do JBAHT considera a utilização de cicatrizes nas raízes como demarcadoras e indicadoras do primeiro ano de erosão hídrica dos solos, conjuntamente, com o método da análise da largura dos anéis de crescimento.

A análise da perda de solos através das raízes expostas foi realizada seguindo a metodologia proposta por Ballesteros-Cánovas et al. (2013), que tem como objetivo o cálculo das perdas de solos através da medição da espessura da camada de solo erodida (ΔE_S) (método realizado em campo, com trena). Esse valor, para efeito de cálculo, será dividido pelo tempo definido pela exposição radicular (ΔY_{ER}) (método realizado em laboratório). Com isso, chega-se a uma equação simplificada da perda média de solos anual em milímetros, equação 1:

$$ER = \frac{\Delta E_S}{\Delta Y_{ER}} \quad (1)$$

A perda de solos nesta equação é considerada vertical, pois a medição da espessura de solos erodida é realizada com uma trena em sentido vertical da superfície da raiz até o nível atual dos solos, como é exemplificado na metodologia proposta por Gärtner (2007).

É importante ressaltar, que a metodologia de Gärtner (2007), foi elaborada com a finalidade de determinar a velocidade dos processos erosivos conhecidos como erosão laminar. Contudo, essa metodologia tem sido aplicada para determinação das taxas anuais de perdas de solos no interior de voçorocas e ravinas a exemplo dos trabalhos de Hitz et al. (2008); Bodoque (2011); Saez et al. (2011); Šilhán et al. (2016); Bovi (2018).

Ademais, também foi considerada a metodologia exposta no trabalho de Malik (2008), para dimensionar a taxa de erosão de retrocesso da cabeceira da erosão, que considera a distância entre duas raízes vizinhas, situadas de forma paralela na encosta do processo erosivo, dividido pelo tempo de exposição das raízes vizinhas e paralelas entre si.

Dessa forma, esse cálculo pode ser entendido como a taxa de erosão horizontal, expressa pela seguinte equação 2:

$$ER = \frac{\text{Distância entre raízes}}{\text{Diferença (anos) da exposição dessas raízes}} \quad (2)$$

3.8 Procedimentos laboratoriais

Após a coleta das amostras de raízes e do tronco, seguiu-se para o procedimento de polimento e observação dos anéis de crescimento.

Nesta perspectiva, para polimento das amostras do lenho foram utilizadas lixas de granulometria de 80, 180, 280, 320 e 400 grãos/cm² acopladas a uma lixadeira orbital Skill de 220 W de modelo *Stanley*, para polimento dessas amostras (Figuras 33a e b). Posteriormente, novo polimento com granulometria mais fina de 400 grãos/cm² foi realizado de forma manual em todas as amostras do caule para melhor visualização dos anéis de crescimento (Figura 33c).

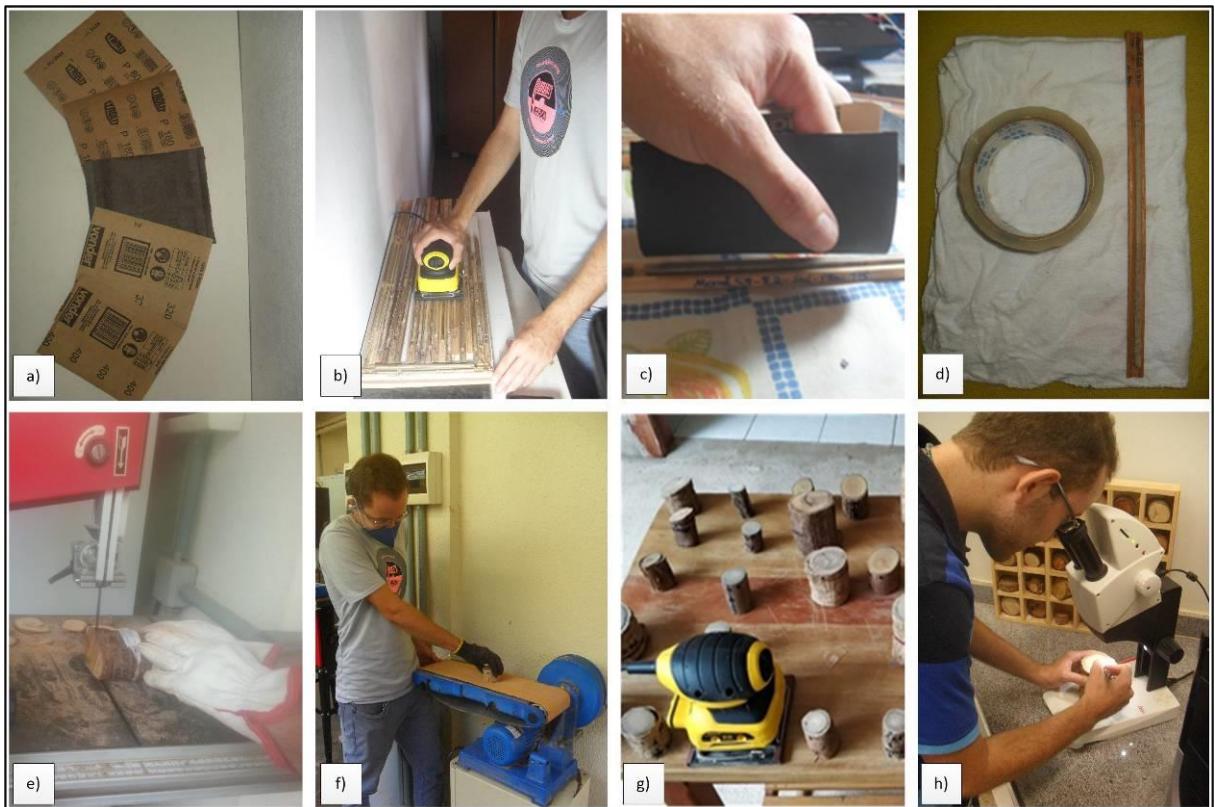


Figura 33. Procedimentos laboratoriais e desdobro, polimento e observação de raízes das espécies estudadas: Granulometrias das lixas (80, 180, 280, 320 e 400 grãos/cm²) utilizadas para polimento das amostras do lenho e das raízes (a); Processo de polimento das amostras do lenho com lixadeira orbital (b); Lixamento manual das amostras do lenho com lixa de granulometria 400 (c); Utilização de pano e fita adesiva para desobstrução dos vasos (d). Corte das raízes em larguras de 5 (cinco) centímetros em superfícies homogêneas com serra fita (e); Lixamento das amostras de raízes com lixa cinta de diferentes granulometrias (60, 100, 180, 240, 320) (f); Lixamento das raízes com lixadeira orbital e lixa de granulometria 400 (g); Análise das amostras do caule e das raízes em microscópio estereoscópico LEICA com aumento de 60X.

Ainda, uma etapa complementar de polimento das raízes foi necessária, utilizando lixadeira de disco cinta V.I.M.A, com lixas de granulometria 60 a 320 e 400 para acabamento (Figura 33f e g). Para desobstrução dos vasos das amostras das raízes e do caule foi utilizado pano e fita adesiva (Figura 33d). As demarcações dos anéis de crescimento no lenho das amostras foram feitas manualmente com lapiseira, através de um microscópio Estereoscópico LEICA de aumento de 60 vezes (Figura 33h e Figura 34).

A demarcação dos anéis de crescimento foi feita nas posições horizontais e verticais das raízes (Figura 34). Depois disso, foi realizado o escaneamento de todas as amostras das raízes expostas, enterradas e do caule em Scanner com alta resolução (1200 dpi).

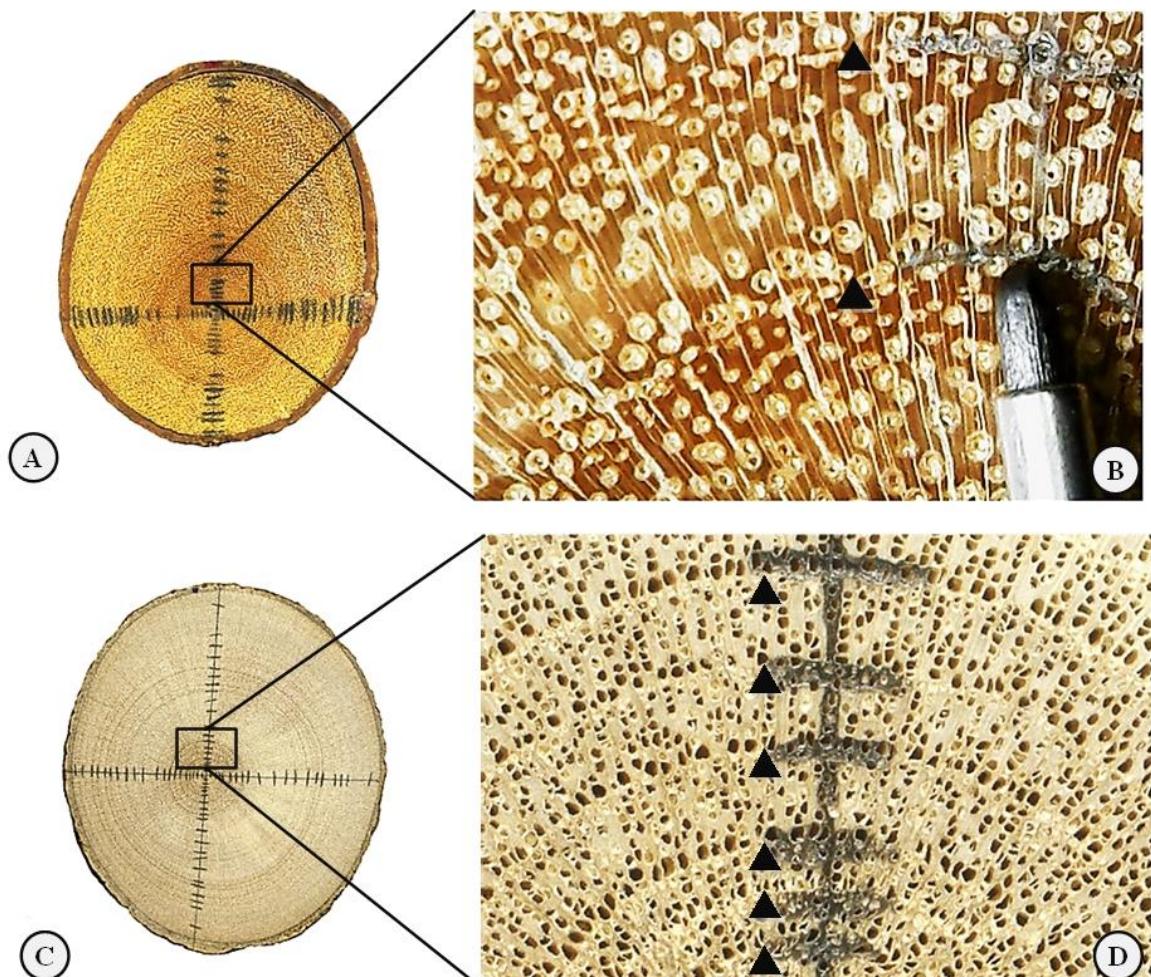


Figura 34. Procedimento de marcação dos anéis de crescimento nas raízes. Aumento de até 60 vezes em microscópio estereoscópico de *A. peregrina* (**a** e **b**) e *S. morototoni* de forma manual (lapiseira) (**d**, **e**). As setas pretas indicam os anéis de crescimento.

Todos estes procedimentos foram necessários para facilitar a identificação macroscópica (Figura 34b, d) do limite dos anéis de crescimento e consequente determinação da largura através do software *Image Pro Plus* (Figura 35).

Verificou-se ainda, em alguns casos a formação de anéis de crescimento descontínuos (duplos ou múltiplos), presentes provavelmente devido à elevada excentricidade (no caso das raízes expostas) observada na seção transversal das raízes. Nestes casos, procedeu-se uma avaliação mais detalhada em microscópio estereoscópico para a correta delimitação do segmento do anel (Figura 35a) e posteriormente medição da largura (Figura 35b).

A medição da largura dos anéis de crescimento das amostras do tronco (baguetas), também foi realizada seguindo os mesmos procedimentos descritos acima, como pode ser observado na figura 35c.

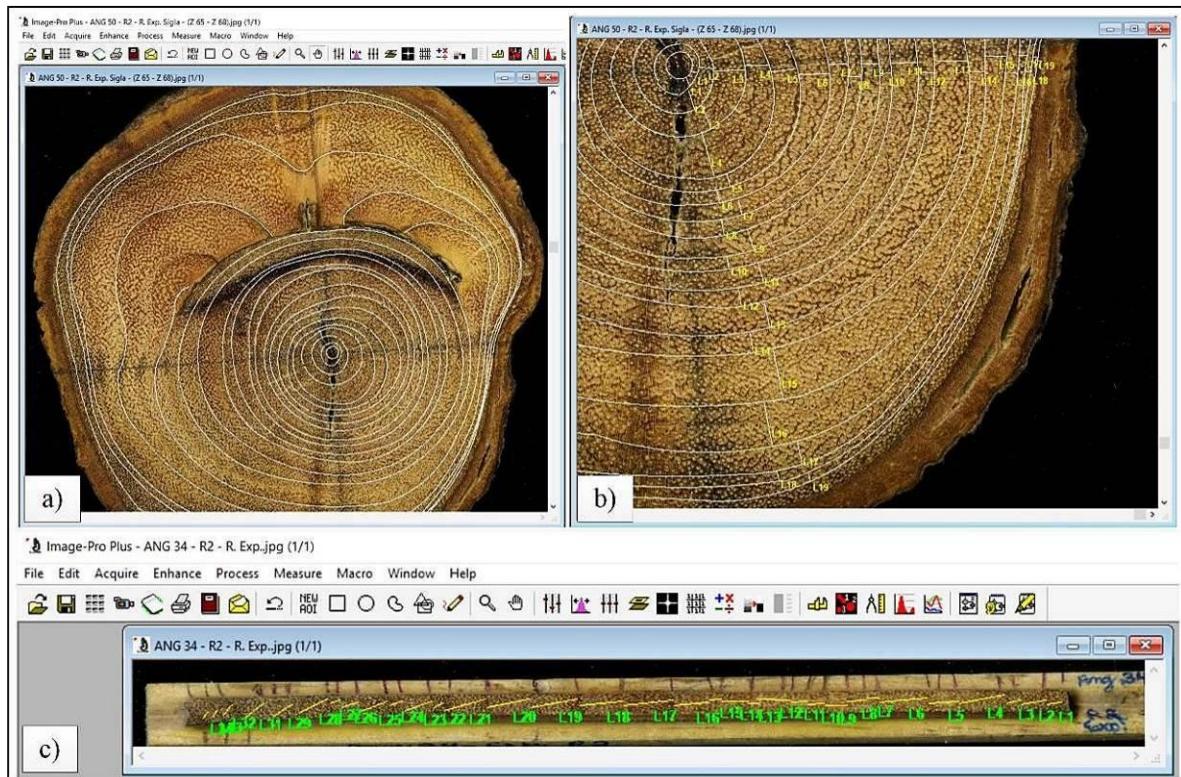


Figura 35. Delimitação dos anéis de crescimento em raiz exposta de *A. macrocarpa*– ID: (ANG 50), no software *Image Pro Plus*, para maior veracidade na delimitação dos anéis de crescimento e exclusão de anéis falsos. Delimitação do seguimento do anel (a). Delimitação da largura dos anéis (b).

Para determinação da idade dos indivíduos arbóreos realizou-se o controle de qualidade da datação realizada através do software *Image Pro Plus*. Este procedimento possibilita a identificação e exclusão de falsos anéis de crescimento mediante o uso do software estatístico COFECHA, amplamente aplicado em estudos dendrocronológicos.

Esse software opera gerando uma série cronológica “máster” de anéis de crescimento, que representa todas as séries de anéis de crescimento individuais (amostras). Posteriormente correlaciona esta série máster com cada série individual, em segmentos pré-definidos, na verificação da qualidade da datação (HOLMES et al., 1986).

Os dados resultantes de Incremento médio acumulado (IMA) foram resultantes das análises do software estatístico COFECHA.

A tendência de crescimento das árvores foi realizada com o auxilio do software ARSTAN, que ajusta uma função de regressão aos dados de largura de anéis de crescimento, e tem como objetivo remover as tendências não climáticas e possibilitar que os valores padronizados das árvores individuais com suas diferenças de crescimentos, sejam calculados juntos em uma média (HOLMES et al., 1986).

Os parâmetros de *input* no COFECHA referentes ao caule foram de janela “segments” de avaliação de 30 anos, com comparações entre as séries residuais “lagged” a

cada 15 anos. Os parâmetros de entrada no COFECHA relacionados às raízes expostas, enterradas das árvores expostas e enterradas das testemunhas constituíram em janela ``*segments*`` de avaliação de 20 anos, com comparações entre as séries residuais ``*lagged*`` a cada 10 anos.

No *software Excel* foi feito a correlação através de linhas de tendências polinomiais de ordem 2, para determinar a correlação de crescimento das árvores entre si, dos grupos amostrais das testemunhas, sedimentadas e com raízes expostas.

Após as análises no programa COFECHA, foram gerados os índices de correlação crítica para cada amostra, das quais foram comparados com os valores relatados no trabalho de Grissino-Mayer (2001), que classificou os anéis como sendo de sensibilidade baixa (0,10 a 0,19), média (0,20 a 0,29) e alta (>0,30).

Além disso, *in loco* foi realizado a medição do DAP (Diâmetro a Altura do Peito) de cada árvore na área de estudo, que é um parâmetro importante para avaliação do crescimento das árvores com a idade. Outro parâmetro de suma importância são os valores da correlação crítica do programa COFECHA, que é geralmente o valor mínimo a ser alcançado para alcançar uma boa correlação entre as amostras das árvores avaliadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterizações macroscópica da madeira do caule

A presença de anéis de crescimento distintos nas espécies *A. pelegrina*, *A. macrocapa* e *S.morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyermark e Frodin constatada neste estudo foi corroborada por Mota (2016) e Silva (2013), que realizaram seus estudos em áreas de Mata Atlântica (Figura 36).

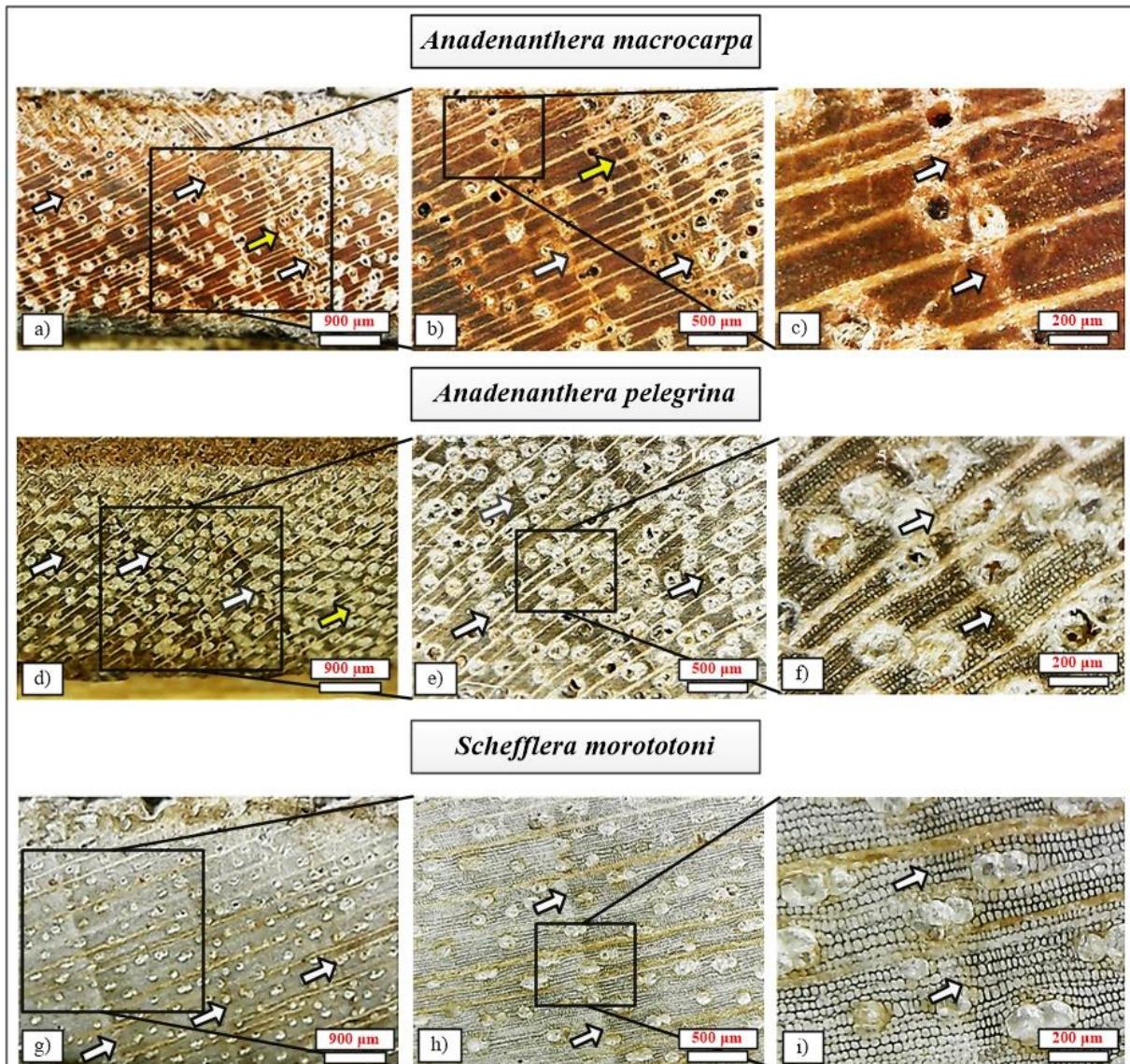


Figura 36. Anéis de crescimento distintos: Confirmação da formação de anéis de crescimento na espécie de *A. macrocarpa* remete a ampliação de 900 µm a 200 µm (a, b, c). Anéis de crescimento em espécie de *A. peregrina* (d, e, f) com ampliação de 900 µm a 200 µm. Anéis de crescimento em espécie de *S. morototoni* (g, h, i) com ampliação de 900 µm a 200 µm. As setas indicam o limite dos anéis de crescimento. **Fonte:** Microscópio estereoscópico LEICA com aumento de até 60X do Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio).

Neste trabalho, confirmou-se a presença de anéis de crescimento na madeira de *A. macrocarpa*, caracterizados pela diminuição abrupta do diâmetro e redução da frequência de vasos no sentido lenho inicial-tardio e a presença de zona fibrosa, mais especificamente, no lenho tardio, além do alinhamento de vasos ao longo dos anéis de crescimento, como pode ser observado na figura 36a, b, c.

A *S. morototoni* apresenta parênquima marginal com coloração mais escura que as demais regiões do tecido, além da visualização da diminuição da área ocupada dos vasos ao se aproximar da zona fibrosa (Figura 36). Segundo Silva (2013) os anéis de crescimento da *S.*

morototoni são marcados por paredes espessadas e radialmente achatadas das fibras, porosidade difusa e vasos solitários e múltiplos radiais de 2-3, mas que ocorre em múltiplos de 4-7. De acordo com Botosso (2011) os vasos de *S. morototoni* (Aubl.) estão dispostos em arranjoamento, preferencialmente de forma paralela aos raios e perpendiculares aos anéis de crescimento. Contudo, a variável determinante na identificação dos anéis de crescimento nesta espécie foi à coloração de mais clara do lenho inicial para mais escura no lenho tardio.

Os anéis de crescimento e descrição geral da madeira da *A. peregrina* também foram verificados por Teixeira (2008) com vasos visíveis apenas sob lente, com porosidade difusa, numerosos com formato arredondado (ovalado a circular). Segundo o autor, os vasos são solitários e múltiplos geminados e o parênquima axial é paratraqueal vasicêntrico confluentes, com raios multisseriados homogêneos e conforme observado na figura 36 d, e, f.

O estudo de Mota (2016) revelou que as espécies de *A. peregrina* e *A. macrocapa* possuem estrutura da madeira semelhante, porque em ambas foram observadas as características de limites de anéis de crescimento distinto, marcado por fibras de paredes espessas e radialmente achatadas, vasos com pequenos diâmetros, porosidade difusa e elementos de vasos solitários e múltiplos que vão de 2 (dois) a 9 (nove).

Os indivíduos da espécie *G. guidonia* avaliados, apesar de apresentarem grande distribuição espacial, abundância e raízes expostas próximas à voçoroca e ravinas, não apresentaram anéis de crescimento bem definidos e distintos a olho nu (Figura 37).

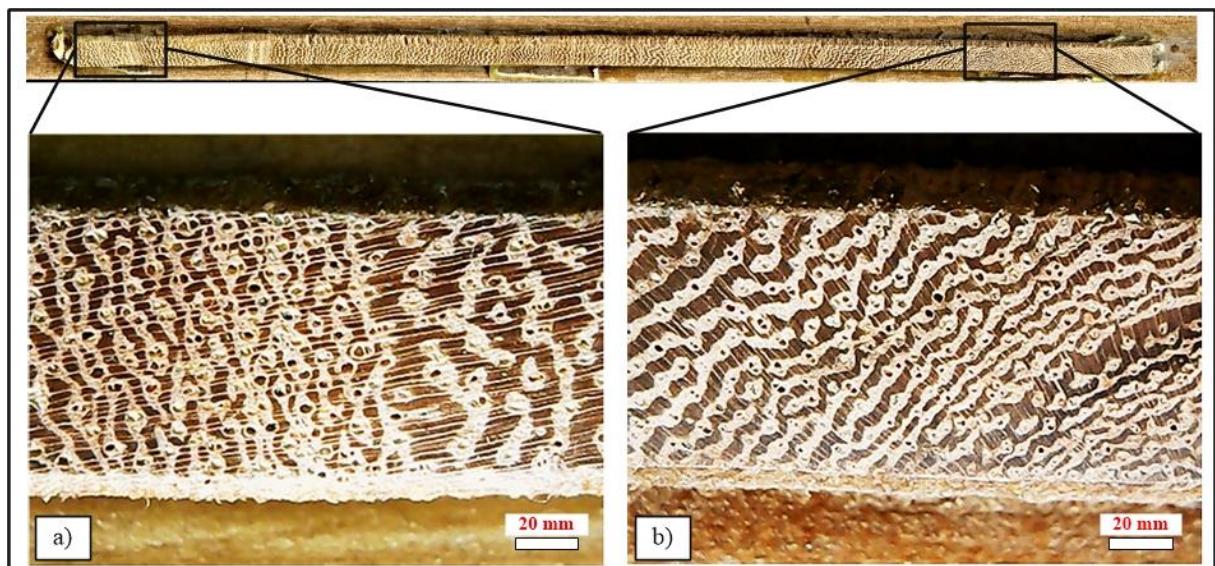


Figura 37. Seção transversal da madeirado caule da espécie de *Guarea Guidonea* Zonas fibrosas com formato irregular, dificultando a identificação e comprovação de anéis de crescimento, escala de 20 mm. **Fonte:** Microscópio Óptico estereoscópico *Discovery V8 – Stereo*, Zeiss do Instituto de Ciências Biológicas (ICB).

Com conclusões semelhantes à deste trabalho, Worbes (1999) com sua pesquisa dendrocronológica na floresta tropical da reserva florestal de Caparo na Venezuela verificou o padrão indistinto de anéis de crescimento de *G. guidonea*. Os anéis de crescimento nos indivíduos de *G. guidonea* situados numa floresta ripária do Cerrado goiano, em Goiatuba (GO) também apresentaram pouca nitidez em sua distinção (MOMOLI et al., 2012). Contrariamente a essa tendência, estudo realizado com *G. guidonea* no Pantanal do estado do Mato Grosso do Sul, onde a estação seca é bem definida, confirmou a presença de anéis de crescimento bem definidos demarcados por linhas tangenciais mais escuras e parênquima marginal (URQUIZA, 2008), indicando que fatores ambientais e/ou climáticos podem atuar na diferenciação (ou não) dos anéis de crescimento no lenho da espécie.

A presença de anéis de crescimento pouco distintos nos indivíduos de *G. guidonea* da floresta ripária pode ser decorrente do crescimento contínuo do tronco das árvores mesmo na época da seca, devido à elevada saturação hídrica do solo durante todo o ano, provocando uma atividade cambial de sazonalidade reduzida (MOMOLI et al., 2012). Dessa forma, percebe-se que a formação de anéis de crescimento bem definidos em *G. Guidonea* depende do ambiente e condição climática, principalmente em relação à umidade do solo em que está localizada, considerando as afirmações de estudos realizados pelos autores.

4.2 Caracterização macroscópica do lenho das raízes expostas

As raízes de *S. morototoni* e de *A. macrocarpa* possuem anéis de crescimento distintos e possuem zona de parênquima marginal. Através das observações em microscópio foi constatado que no lenho tardio e inicial, existe maior frequência de vasos diminutos, especialmente no anel de crescimento que sofreram alterações pela exposição radicular. O crescimento abrupto dos anéis é o indicativo que a erosão hídrica expõe as raízes na encosta do processo erosivo na mesma data de ocorrência deste evento (Figura 38 b, c, e, f).

Resultados semelhantes são encontrados em espécies de clima temperado nos trabalhos de Gärtner (2007); Bodoque et al. (2011); Stoffel et al. (2013) e em clima tropical os trabalhos de Bovi (2013); Bovi et al. (2018); Castillo (2016).

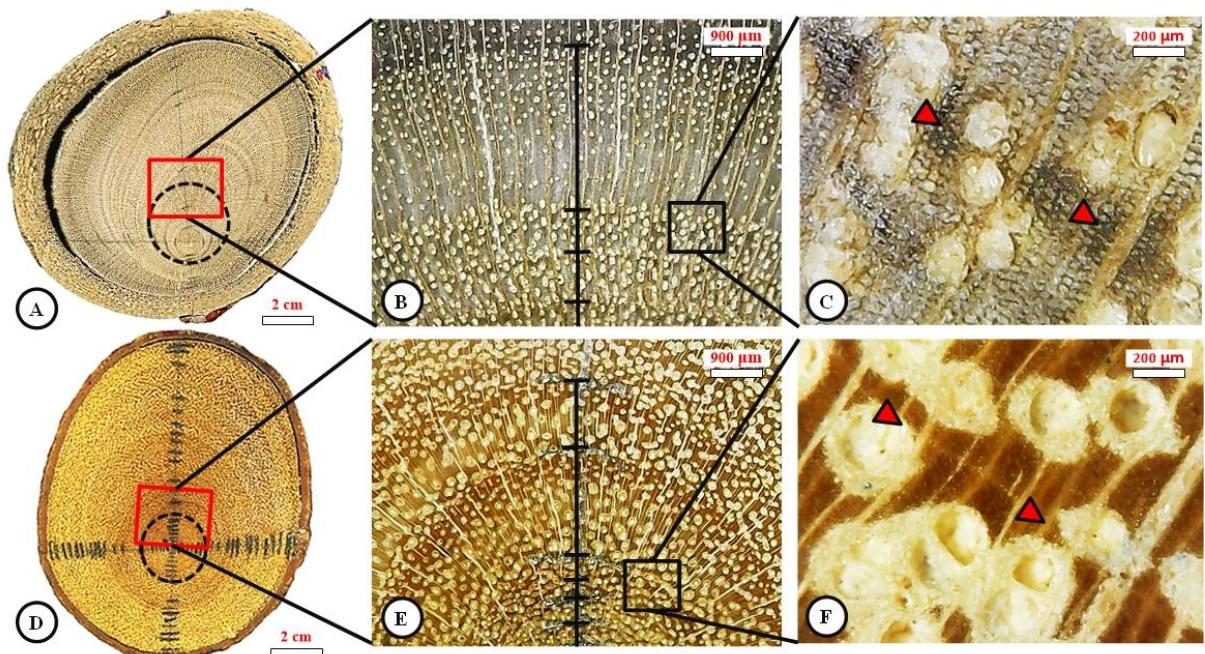


Figura 38. Formação de anéis de crescimento distintos em raízes expostas do Jardim Botânico de Goiânia/GO. Raiz exposta de *Schefflera morototoni* (Mandiocão), escala de 2 cm (a), As setas vermelhas indicam anéis de crescimento compostos pelo parênquima marginal com coloração mais escura, alinhamento e diminuição progressiva dos vasos ao se aproximar dos anéis de crescimento, com escala de 900 µm a 200 µm (b e c). As setas vermelhas indicam os a existência de anéis de crescimento em *Annadanthera macrocarpa* (Angico vermelho), evidenciando a formação de lenho tardio nas faixas castanho escuro, escala de 900 µm (e). As setas vermelhas indicam os anéis de crescimento (parênquima marginal) com faixa tênue e sutil, escala de 900 µm (f).

Fonte: Microscópio Óptico estereoscópico *Discovery V8 – Stereo*, Zeiss do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), com zoom de até 80x.

As características da zona fibrosa evidenciadas nas amostras de raiz enterradas e expostas através das análises visuais são parecidas com as do caule dos mesmos indivíduos.

A *S. morototoni* apresenta, assim como no lenho do caule, zona de parênquima com coloração mais escura que as demais regiões do tecido. Nas raízes expostas de *A. macrocarpa* existe a presença de zona fibrosa mais clara. Ambas as raízes expostas que podem ser visualizadas na figura 38, possuem diminuição abrupta da área dos vasos próxima aos anéis de crescimento.

Na figura 39a e b, é possível observar cicatrizes em dois indivíduos das espécies *A. macrocarpa* e *S. morototoni* e aumento da largura dos anéis de crescimento após o período de exposição. Entretanto, não foi observado cicatrizes nas amostras de raízes enterradas das árvores testemunhas. A excentricidade das amostras também demonstra a condição da resposta de crescimento das raízes ao processo erosivo, ou seja, a largura dos anéis de crescimento antes da ocorrência da exposição radicular é mais homogênea e por isso o crescimento é mais concêntrico e simétrico.

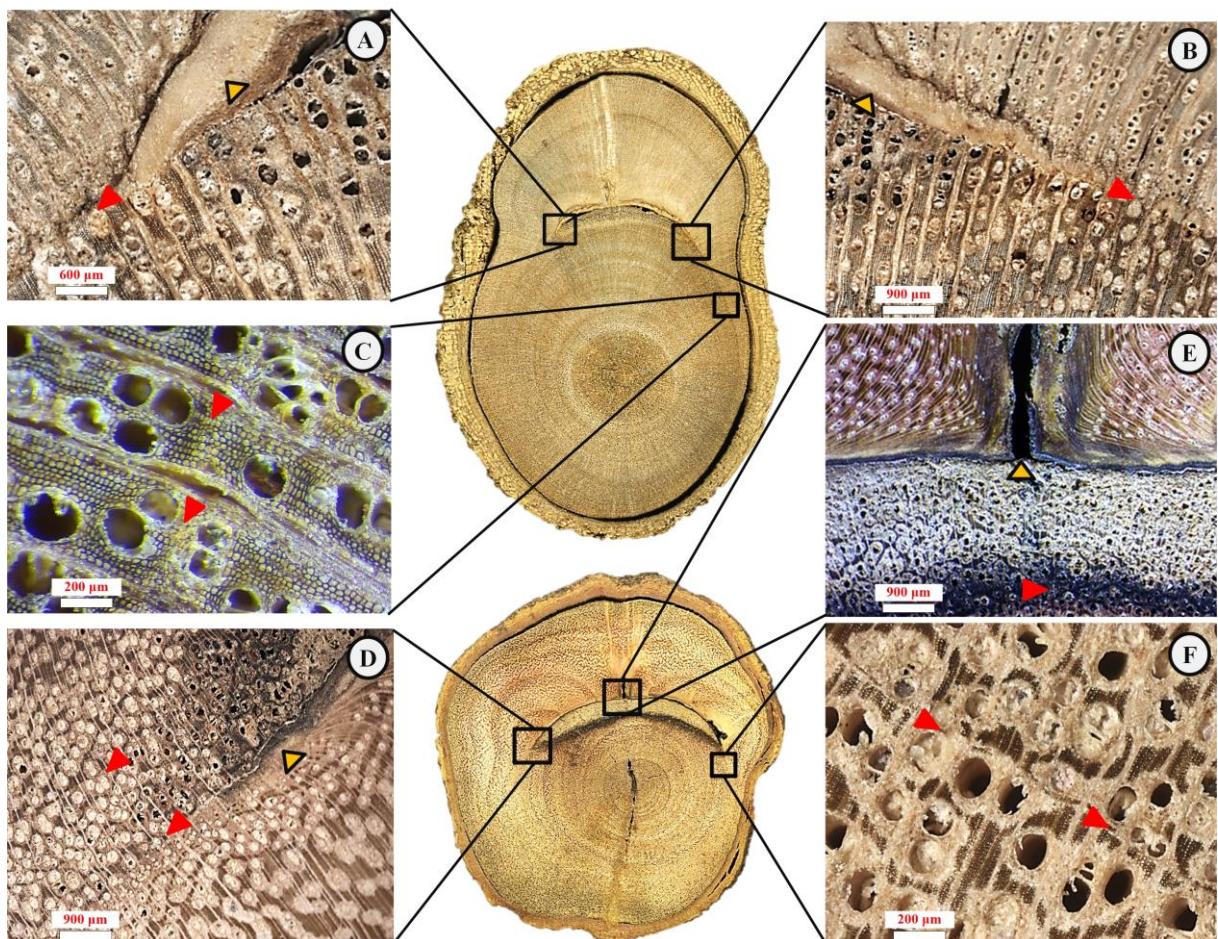


Figura 39. Exemplos de raízes expostas com cicatrizes no lenho. *A. macrocarpa*, ID: (ANG 50) com início da exposição da raiz no ano de 2006 (a); *S. morototoni*, ID: (MAND 62) com início da exposição radicular em 2014 (b). **Fonte:** Microscópio Óptico estereoscópico *Discovery V8 – Stereo*, Zeiss do Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI), com zoom de até 80x. As setas em vermelho indicam as zonas de parênquima marginal e as setas em laranja evidenciam as cicatrizes e calos.

Ferimentos e deformações nas cascas das raízes expostas geralmente ocorrem devido ao fluxo hídrico superficial que transporta sedimentos e detritos, principalmente onde existem declividades mais elevadas e que podem com impacto suficiente destes materiais, provocar destruição do câmbio das raízes e induzir a formação de tecido de cicatrização (STOFFEL e BOLLSCHWEILER, 2008).

A raiz exposta por erosão de *A. macrocarpa*, ID: (ANG 50) possui perda vertical do nível do solo até a casca da raiz de 40 centímetros ocorrida ao longo do intervalo temporal de 11 anos, enquanto a *S. morototoni*, ID: (MAND 62), possui perdas de 50 centímetros de solos em 3 anos.

As raízes mencionadas estão situadas em declividade de 10% a 15%. Essa constatação sugere que as raízes podem ter sido atingidas por fluxos de detritos e sedimentos advindos de montante (Figura 39 a, b). Portanto, as raízes expostas que possuem cicatrizes estão situadas

em declividades mais acentuadas do terreno, as quais estão no mesmo sentido dessas deformações ou mesmo injúrias provocadas nas cascas das raízes expostas (Figura 40a, b, c, d).

A figura 40a e b, da raiz exposta de *S. morototoni* ID – (MAND 75), que também está localizada na encosta da voçoroca, indicou as maiores taxas de perda de solos de até 71 centímetros, já a *A. macrocarpa*, ID – (ANG 50), (Figura 40c e d) possui 40 centímetros de perda de solos e ambas estão localizadas em relevo de 13% a 10% de declividade.

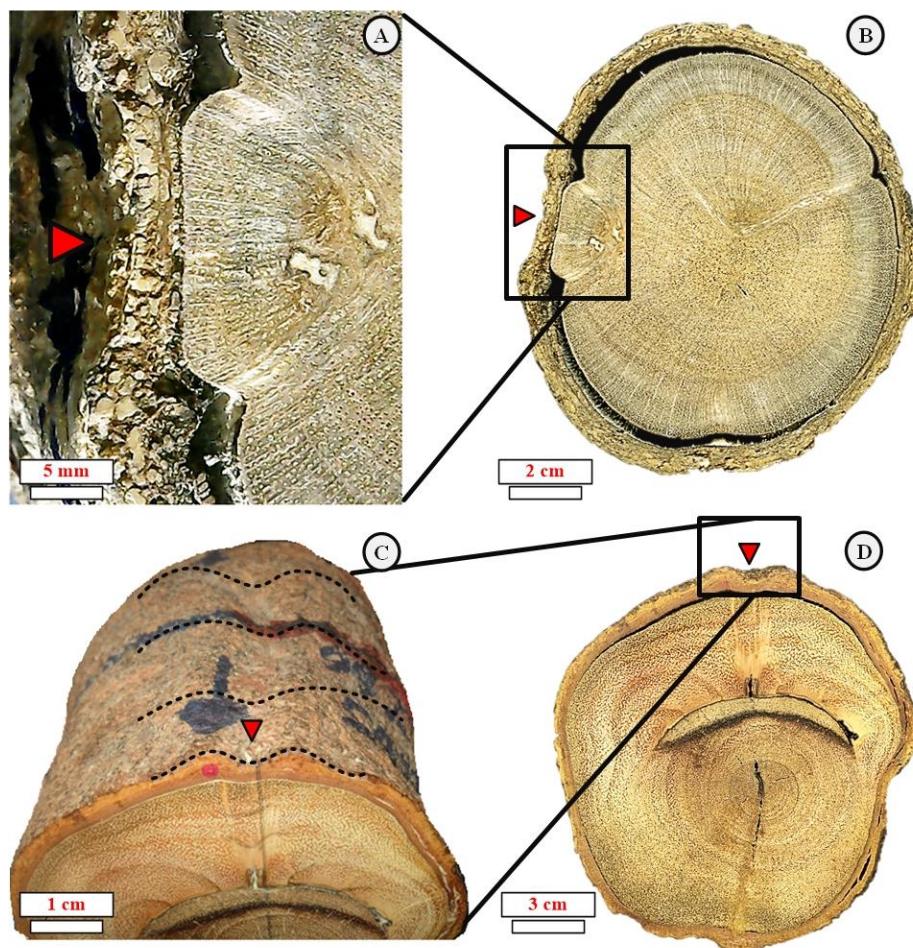


Figura 40. Deformações na casca e cicatrizes no lenho das raízes expostas: *S. morototoni* ID –(MAND 75) (a e b) e *A. macrocarpa*, ID – (ANG 50) (c e d). **Fonte:** Imagens escaneadas em 1.400 dpi no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio). As setas em vermelho na casa das raízes indicam deformações possivelmente causadas pelo impacto de fragmentos de rochas ou sedimento careado pelo fluxo hídrico superficial.

Observações microscópicas revelaram que, assim como o lenho do caule, o lenho das raízes expostas de *G. guidonea* da área de estudo possui anéis de crescimento indistintos, ou seja, de pouca ou nenhuma visualização, caracterizado pela descontinuidade da faixa de zona fibrosa mais escura (Figura 41).

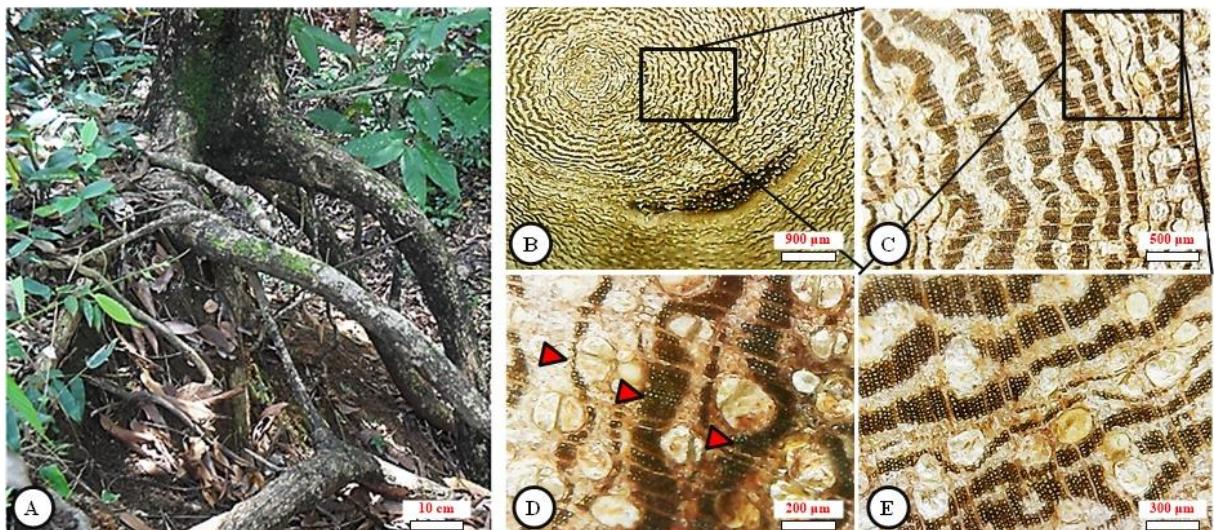


Figura 41. Raízes expostas de *G. guidonea* no Jardim Botânico de Goiânia (JBAHT) (a). Formação irregular de zona fibrosa na coloração mais escura (b; c). Anéis de crescimento indistintos de difícil visualização em raiz exposta de *G. guidonea* (d; e). **Fonte:** Microscópio Óptico estereoscópico *Discovery V8 – Stereo*, Zeiss do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), com zoom de até 80x. As setas em vermelho indicam as zonas de parênquima com coloração mais escura.

Portanto, os indivíduos de *G. guidonea* que foram selecionados serão excluídos das análises posteriores em função da dificuldade de delimitar os seus anéis de crescimento.

4.3 Dimensões e intensidade do processo erosivo

A curvatura da vertente e a declividade são atributos do relevo que, juntamente com a determinação *in loco* da erosão e da sedimentação (em centímetros) na base do caule dos indivíduos arbóreos possibilitam o entendimento do transporte de sedimentos, nas áreas mais severamente afetadas pela erosão hídrica dos solos.

Neste contexto, o mapa a seguir (Figura 42) possibilita o entendimento de que na forma convexa da vertente, geralmente o fluxo hídrico superficial possui maior energia cinética para o arraste e desprendimento de partículas do solo. Contrariamente, as feições côncavas e que estão em relevo mais plano (0 a 8% de declividade) correspondem aos ambientes de menor energia, onde predomina a deposição das partículas desprendidas a montante.

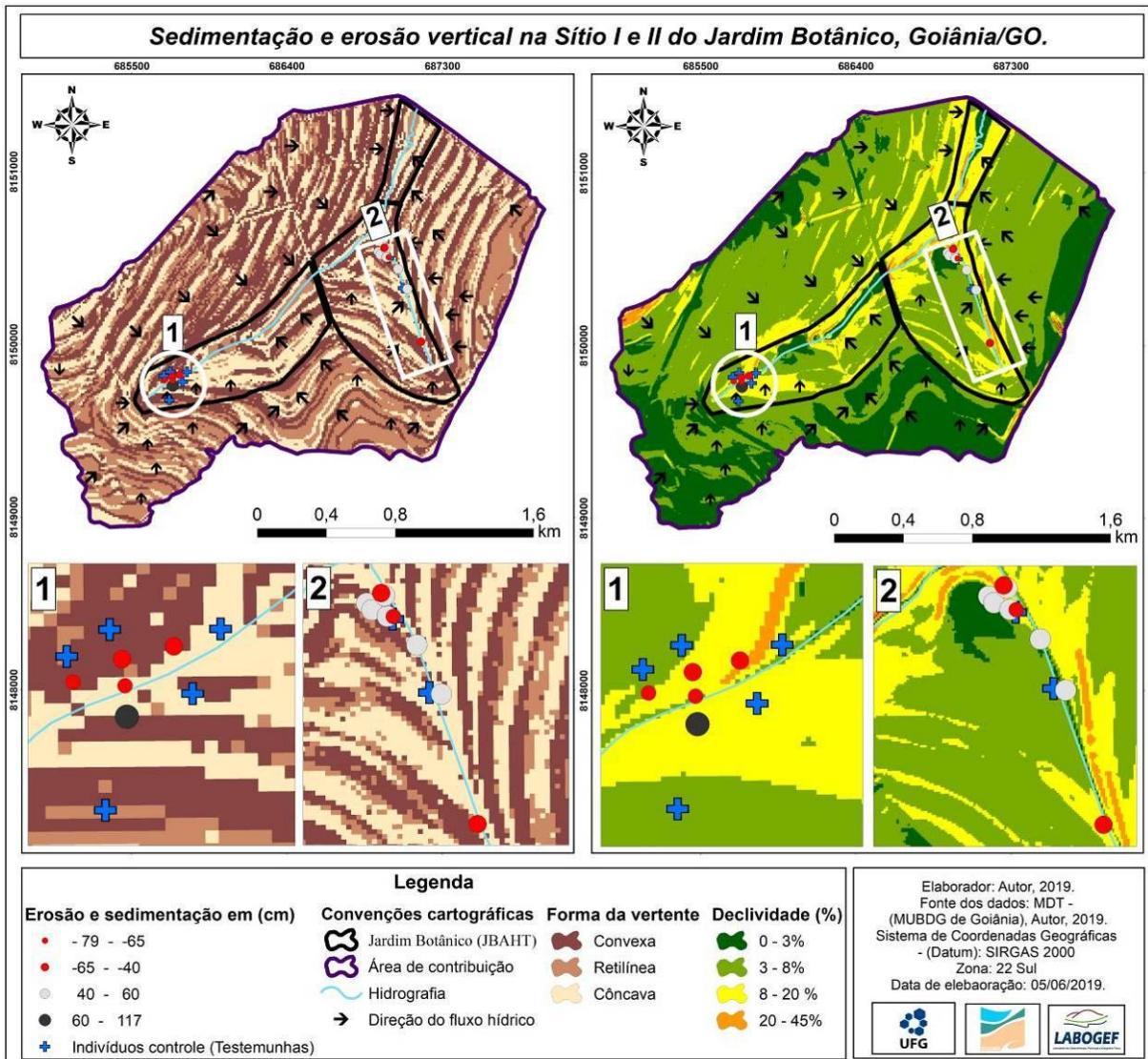


Figura 42. Quadrantes separando as áreas amostrais previamente escolhidas (sítio I e II) em função do relevo e mostrando a espessura de sedimento acumulado e erodida em centímetros (cm) na base do tronco dos indivíduos arbóreos do Jardim Botânico de Goiânia/GO. Os símbolos em cruz azul são indivíduos controles; Bolas vermelhas com raízes expostas; Bolas pretas e cinza sedimentadas.

Portanto, as regiões que possuem normalmente mais de 8 a 20% de declividade e estão em condições de curvatura convexa, normalmente são sujeitas a maiores perdas de solos, do que os ambientes de declividade de 0 a 8% e de curvatura côncava. Essa conclusão pode ser confirmada quando se observa a tabela 1 e conclui-se que as maiores perdas de solos verticais (em centímetros) dos indivíduos arbóreos estão associadas à declividades mais acentuadas em relação aos indivíduos assoreados ou sem alteração do nível do solo (Tabela 1).

A Tabela 1 e Figura 42 indicam que os indivíduos arbóreos com raízes expostas, e principalmente, aqueles com taxas de perda de solos vertical estão localizados em ambientes de maiores declividades. Portanto, a declividade mais acentuada desses locais pode

possibilitar maiores arrastes e desprendimento de partículas do solo em comparação a regiões mais planas.

Essa prerrogativa é afirmada por Cral (1992) quando justifica que nas encostas íngremes iguais ou superiores a 15% de declividade, as taxas de erosão dos solos começam aumentar drasticamente, principalmente quando se trata de ambientes antrópicos ou impermeabilizados.

Os indivíduos arbóreos localizados nas encostas com processos erosivos evidentes e que possuem raízes expostas estão situados em declividades de 8 a 21%. Em contrapartida, os indivíduos soterrados estão situados em declividades que vão de 1 a 8%. Já os indivíduos sem alterações do nível do solo (testemunhas) estão em declive de 3 a 9% (Figura 42 e Tabela 1).

Segundo Grissino-Mayer (2001) ao retirar os anéis falsos no programa estatístico COFECHA, os dados resultantes exibem a sensibilidade das árvores ao ambiente externo, que quando maiores que 0,4, são considerados elevados, portanto ressalta-se que a sensibilidade dos indivíduos de todas as amostras são maiores que 0,4, e por isso os indivíduos arbóreos de *S. morototoni* e *A. macrocarpa* tem elevado potencial dendrogeomorfológico para registrar eventos de erosão hídrica e demais eventos ambientais (Tabela 1).

Tabela 1. Indivíduos arbóreos identificados com medições realizadas *in loco* e variáveis do relevo (forma da vertente e declividade) extraídas de Modelo Digital de Terreno (MDT) de 5 (cinco) metros de resolução espacial.

Identificação (ID)	Nome científico	Taxa vertical de erosão e sedimentação (cm)	Forma da vertente e declividade (%)	DAP (cm)	Idade	Correlação Crítica COFECHA 0.42*	Sensibilidade Média Grissino-Mayer (2001)
MAN50	<i>S. morototoni</i>	-79	Côncavo 10%	96	40	0.448	0.457 Sensíveis
MAND 75		-71	Côncava 13%	99	66		
MAND 54		-65	Convexa 8%	64	47		
MAND 62		-50	Convexa 15%	78	52		
MAND 69		-46	Côncavo 13%	81	53		
MAND 59		117	Convexa 8%	109	63	0.497	0.451 Sensíveis
MAND 80		60	Côncavo 4%	62	35		
MAN44		40	Côncavo 4%	96	47		

Continua...

Tabela 1. Continuação

Identificação (ID)	Nome científico	Taxa vertical de erosão e sedimentação (cm)	Forma da vertente e declividade (%)	DAP (cm)	Idade	Correlação Crítica COFECHA 0.42*	Sensibilidade Média Grissino e Mayer (2001)
ANG 41	<i>A. macrocarpa</i>	-49	Convexa 21%	108	49	0.501	0.531 Sensíveis
ANG 50		-40	Côncavo 10%	110	42		
ANG 34		-3	Convexa 11%	110	39		
ANG 39		50	Convexa 1%	97	39	0.482	0.549 Sensíveis
ANG 40		25	Convexa 3%	74	39		
ANG 36		20	Côncavo 7%	72	26		
ANG 1		0	Convexa 5%	90	41	0.728	0.539 Sensíveis
ANG 8		0	Retilínea 4%	60	60		
ANG 33		0	Côncavo 9%	73	30		
MAND 2	<i>S. morototoni</i>	0	Côncavo 5%	102	68	0.745	0.451 Sensíveis
MAND 15		0	Convexa 6%	93	74		
MAND 51		0	Côncavo 3%	69	59		
MAND 71		0	Convexa 4%	71	80		

Os gráficos da Figura 43a e b demostram que existe uma quantidade maior de indivíduos com raízes expostas, totalizando 8 indivíduos em relação aos indivíduos controle (7 indivíduos) e aos indivíduos soterrados (6 indivíduos).

É possível observar no gráfico da Figura 43c que os indivíduos arbóreos com raízes expostas possuem maior concentração nas classes de 6 a 12% e > 12%, do que os indivíduos localizados na condição soterrada e controle, com valores superiores a 30% do total de indivíduos. Cabe destacar que nas declividades superiores a 12% não foram encontrados os indivíduos soterrados e controle.

Por outro lado, observa-se que os indivíduos controle estão em relevo mais plano, com 71% dos indivíduos nas declividades de 0 a 6%, enquanto que os soterrados possuem nesta mesma declividade valores de 67%, e os indivíduos controle e maior concentração nas classes de 6 a 12%.

No gráfico da figura 43d, as percentagens dos indivíduos que estão com raízes expostas e soterrados possuem igual distribuição na forma da vertente côncava e convexa, com 50% em cada uma dessas classes, mas não possuem nenhum indivíduo em relevo retilíneo. Dessa forma, condições opostas são observadas nos indivíduos controles que possuem um quantitativo de 14% de indivíduos na condição retilínea.

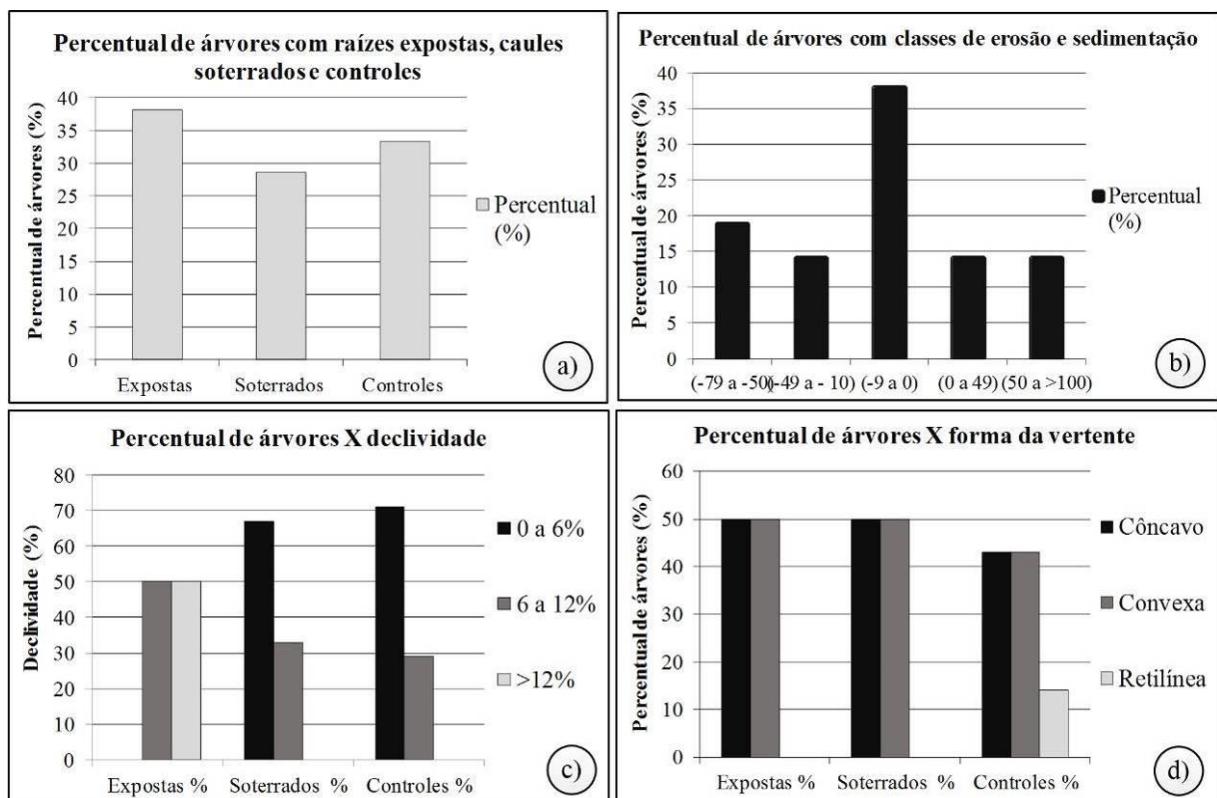


Figura 43. Percentagem do número amostral e relação do relevo com os dos indivíduos arbóreos – (*S. morototoni* e *A. macrocarpa*). Gráficos que demonstram o número amostral e porcentagem dos indivíduos arbóreos com alterações geomórficas do nível do solo com raízes expostas, soterrados e controle (a, b); Porcentagem dos indivíduos arbóreos nas diversas condições de alterações do nível do solo localizados nas diversas classes de declividade (c); Forma da vertente (d).

O processo de deposição de sedimentos, geralmente ocorre em declividades mais planas e cotas altimétricas mais baixas, local que estão situados os indivíduos soterrados. Essas declividades mais planas, de 1 a 8%, provavelmente estão recebendo aporte de sedimentos de montante, nas regiões onde as primeiras construções revolveram e compactaram a camada superficial dos solos, fazendo com que os sedimentos fossem carreados, assoreando a base dos troncos das árvores.

4.4 Datação da erosão hídrica pelo caule

Os anos prováveis de ocorrência de processos geomórficos do nível do solo, como a exposição das raízes e o acúmulo de solos na base das árvores, podem ser datados mediante a comparação no mesmo período com as árvores testemunhas, que são aquelas sem alterações do nível do solo, às quais o crescimento não foi influenciado pela erosão hídrica.

Nas Figuras 44 e 45 são apresentadas as cronologias das árvores enterradas, expostas e testemunhas das espécies *A. macrocarpa* e *S. morototoni*.

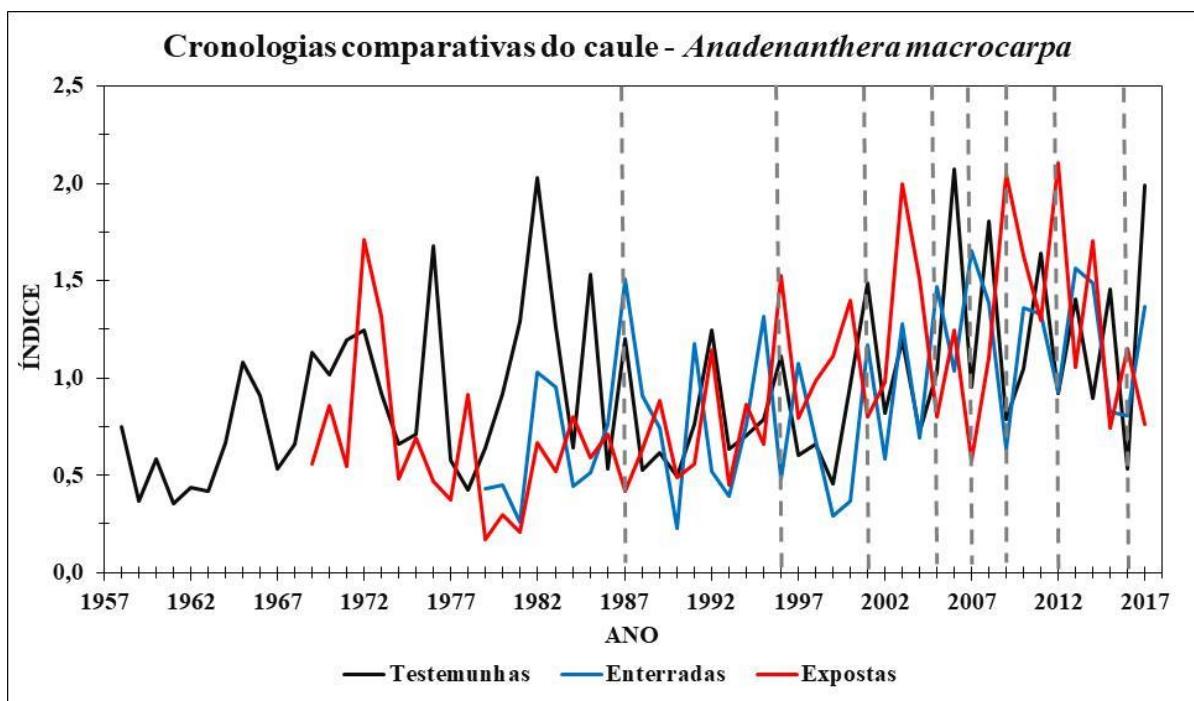


Figura 44. Variações na largura dos anéis de crescimento do caule da espécie de *A. macrocarpa* considerando as árvores nas condições de Testemunhas (sem alterações do nível dos solos), Enterradas e Expostas. As linhas pontilhadas em cinza representam os prováveis anos de ocorrência de erosão ou sedimentação. Os dados representados neste gráfico foram processados no software ARSTAN, da qual a tendência biológica do crescimento das árvores foi retirada, para identificar melhor os anos em que os processos erosivos hídricos ocorreram.

As divergências de crescimento em determinado ano entre os tratamentos das árvores enterradas, expostas ou testemunhas, se configura com possível assinatura de um processo influenciado pela erosão hídrica, ao passo que a inflexão ou decréscimo semelhante dos picos dos 3 (três) tratamentos demonstram que nenhum processo causado pela alteração do nível do solo, foi registrado na largura dos anéis de crescimento dos indivíduos (Figura 44 e 45).

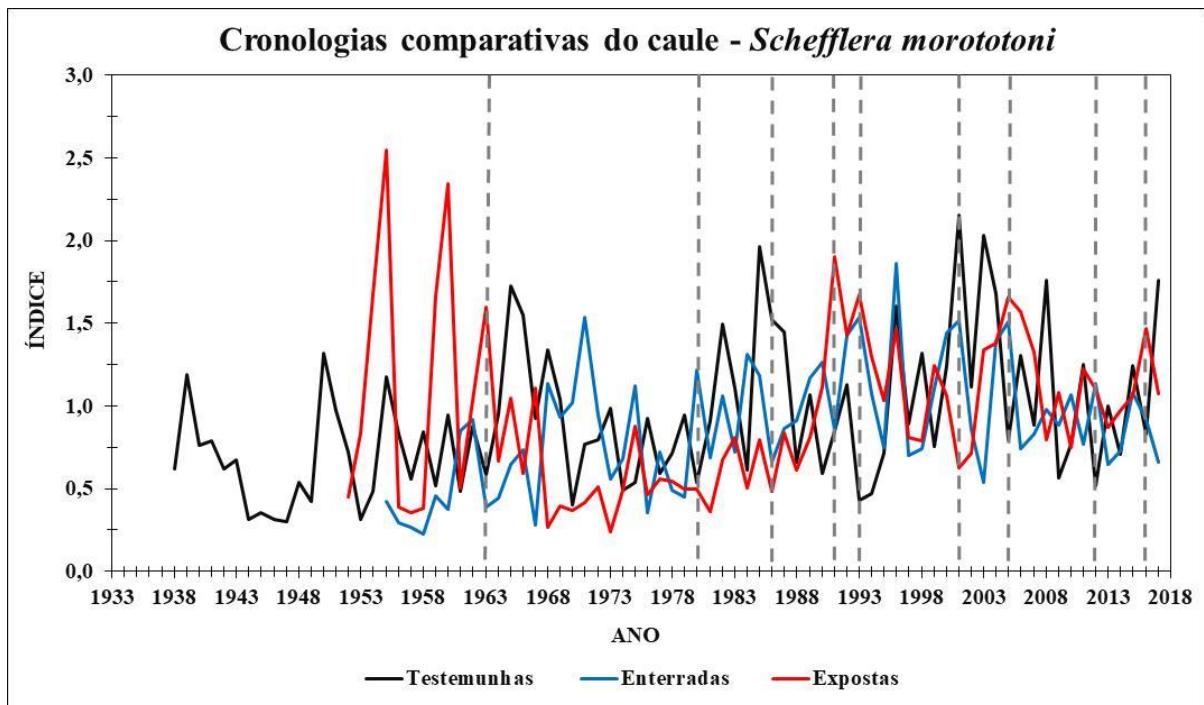


Figura 45. Variações na largura dos anéis de crescimento da espécie de *S. morototoni* considerando as espécies nas condições de Testemunhas (sem alterações do nível dos solos), enterradas e expostas. Os dados representados neste gráfico foram processados no software ARSTAN, da qual a tendência biológica do crescimento das árvores foi retirada, para identificar melhor os anos em que os processos erosivos hídricos ocorreram.

Ressalta-se que somente as inflexões ou decréscimos divergentes de crescimento de variações ou amplitudes maiores, são mais determinantes para a maior certeza dos anos em que os processos da erosão hídrica ocorreram (Figura 44 e 45). As alterações nos padrões de crescimento em função de modificações ambientais nem sempre se manifestam no mesmo ano da ocorrência do evento, geralmente ocorrem 1 ano após a data dos processos de origem antrópica (Stoffel & Bolsschweiler, 2008).

Admitindo-se que a árvore registra os processos erosivos após 1 ano da constatação das alterações abruptas dos anéis de crescimento do caule, os anos mais prováveis para ocorrência do processo erosivo para a *A. macrocarpa* são os anos de 1964, 1981, 1987, 1992, 1994, 2002, 2006, 2013, 2017 e para a *S. morototoni* os anos de 1988, 1997, 2002, 2006, 2008, 2010, 2013, 2017. É que os intervalos temporais se tornam mais estreitos a partir de 1992 entre os dois gráficos da (Figura 6 e 7), e que os anos de 2013 e 2017, são anos coincidentes. Portanto, pelas alterações antrópicas do uso do entorno da área de estudo e pelos anos comuns entre as espécies, admite-se que os eventos erosivos e de sedimentação mais pronunciados podem ter ocorrido a partir da data de 1992.

Os anos de 2001 a 2016 compreendem o período onde as taxas de impermeabilização e áreas construídas não possuem variações significativas². Apesar disso, são áreas que estão mais consolidadas e com distribuição espacial elevada de 2,19 km² e 2,85 km², que perfaz de 50% a 65% da área de estudos, e que por sua vez contribuem na diminuição da infiltração da água no solo e aumento da velocidade de escoamento superficial.

As maiores alterações de impermeabilização dos solos em um menor espaço de tempo estão relacionadas às mudanças do uso do solo em 1988 a 1992, com o asfaltamento de toda a área de estudo e aumento de 30% de áreas impermeáveis que resulta em 1,31 km².

Os anos de 2001, 2005, 2012 e 2016 houve comportamento comum entre os processos erosivos hídricos e do soterramento do caule, que ocorreram nas espécies de *A. macrocarpa* e de *S. morototoni* (Figura 44 e 45).

Essas datações do caule estão mais relacionadas à exposição radicular porque as maiores taxas de impermeabilização constatadas nestes anos podem ter aumentado o volume hídrico por escoamento superficial, que converge das vias que foram asfaltadas para a base do caule das árvores.

O período de 1964 a 1988 apresentam maiores porcentagens de áreas não construídas e de solos expostos, que vão de 76% a 49%, que corresponde a áreas ocupadas de 3,34 km² e 2,15 km², e que podem ter fornecido sedimentos para a base das árvores, porque são solos que estavam descobertos e vulneráveis ao impacto das gotas das chuvas. As certezas se fazem maiores sobre essa afirmativa quando se observa o quadro 5 e confirma-se que o período das exposições radiculares e sotterramentos dos caules estão relacionados a datas similares, que são: 1964, 1987 e 1988.

Os anos em que as raízes foram expostas se relacionam com os anos das variações de largura de anéis de crescimento pelo caule das árvores com raízes expostas em 2006, 2008, 2010, 2013 e 2017.

² Conclusões do capítulo II.

Quadro 5. Anos prováveis da erosão ou soterramento do caule das espécies de *S. morototoni* e *A. macrocarpa*. Quadro com os anos representativos da figura 44 e 45. Os números destacados em negrito se referem aos anos em que houve maiores áreas impermeabilizadas no entorno da área de estudo.

Espécies	Alterações do nível do solo	Anos prováveis da erosão ou soterramento do caule
<i>Scheffera morototoni</i>	Caule das árvores com raízes Expostas	1964
		1987
		1992
		1994
		2002
		2006
		2013
		2017
	Árvores com caule Soterrado	1981
		1987
		1994
		2006
		2013
		1988
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Caule das árvores com raízes Expostas	2002
		2006
		2010
		2013
		2017
		1997
		2008

Como pode ser observado na tabela 2, as taxas de deposição anual de solos na base do tronco das árvores são muito intensas, a exemplo da maior espessura de sedimentação que foi de 1170 milímetros de sedimento em 63 anos, que equivale a 18,6 milímetros por ano pela espécie de *S. morototoni* (ex. MAND 59), e o menor acúmulo foi de 250 milímetros de sedimento em 39 anos, que resulta em 6,4 milímetros por ano na *A. macrocarpa* (ex. ANG 40).

Tabela 2. Taxas de deposição de sedimentos em milímetros por ano com base na distância vertical - Espessura do caule ao colo da planta e da idade dos indivíduos.

ID	Nome científico	Espessura da deposição de solos no caule (mm)	Idade	Taxa de deposição de sedimentos (mm/ano)
MAND 59	<i>S. morototoni</i>	1170	63	18,6
MAND 80	<i>S. morototoni</i>	600	35	17,1
MAND 44	<i>S. morototoni</i>	400	47	8,5
ANG 39	<i>A. macrocarpa</i>	500	39	12,8
ANG 40	<i>A. macrocarpa</i>	250	39	6,4
ANG 36	<i>A. macrocarpa</i>	200	26	7,7

4.5 Datação e estimativa da erosão hídrica pelas raízes

As datas mais prováveis da ocorrência da erosão hídrica, indicadas pelas raízes expostas na encosta dos processos erosivos de *A. macrocarpa* e *S. morototoni* correspondem aos anos de 1999, 2001, 2008, 2013, 2014 e 2015, conforme pode ser observado na figura 46

e 47.

É importante ressaltar que, as datas que podem ter maior confiabilidade na indicação da ocorrência do processo erosivo estão relacionadas às datas de 2003 até 2017, onde o número de amostras (raios) utilizadas nas análises aumentam significativamente, de 15 para 28 nas raízes testemunhas e de 5 para 23 nas raízes expostas, ambas a partir do ano de 2003 (Figura 46).

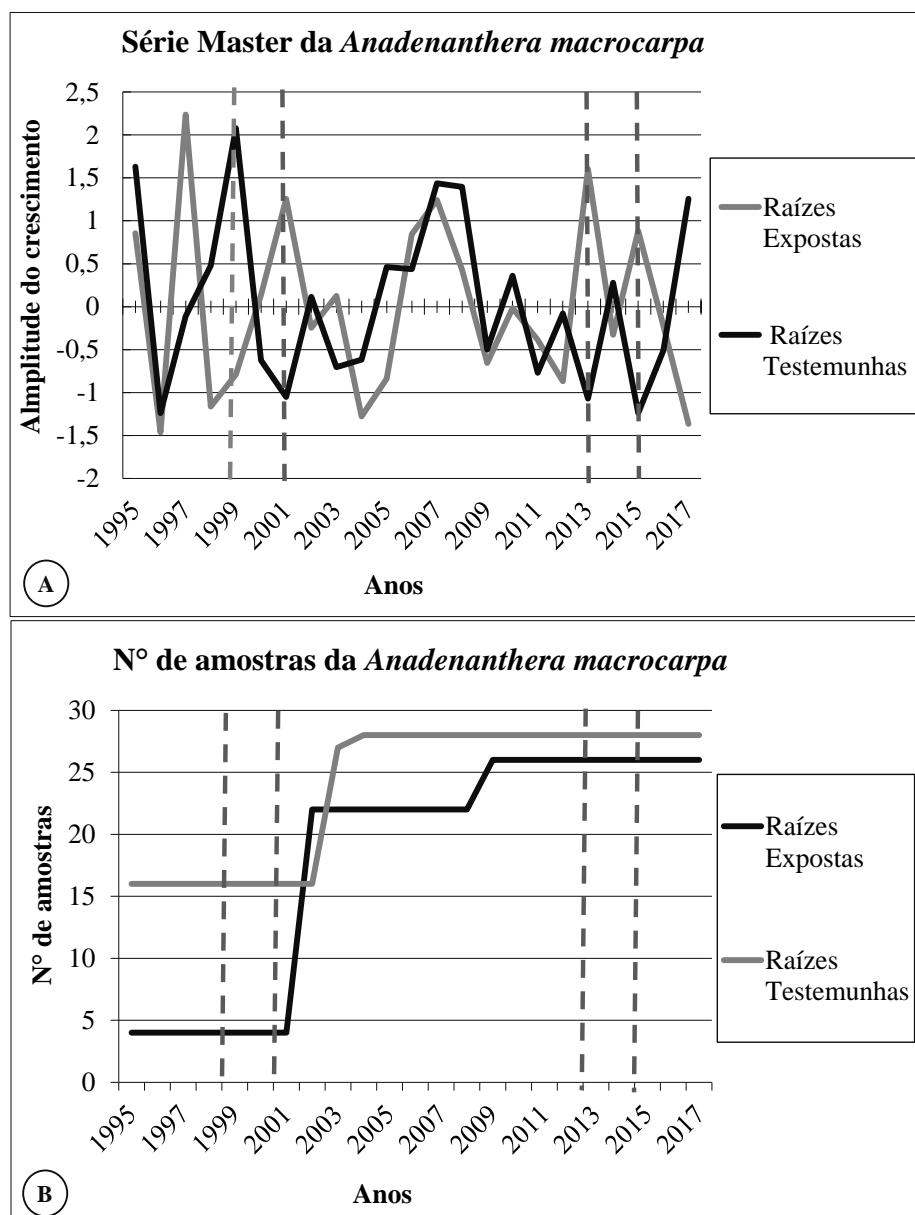


Figura 46. Série Máster de anéis de crescimento das raízes expostas e testemunhas da *A. macrocarpa*. As linhas pontilhadas que demostram as prováveis datas das perdas de solos, nas raízes que foram expostas pela erosão hídrica (A) Número de amostras (raios) das raízes expostas e testemunhas no mesmo intervalo temporal que as Séries Másters (B).

O período em que o processo erosivo hídrico pode ser constatado com maior certeza é entre os anos 2008 e 2017, cuja série possui correspondência com a do período provável de

incidência dos processos erosivos (Figura 47).

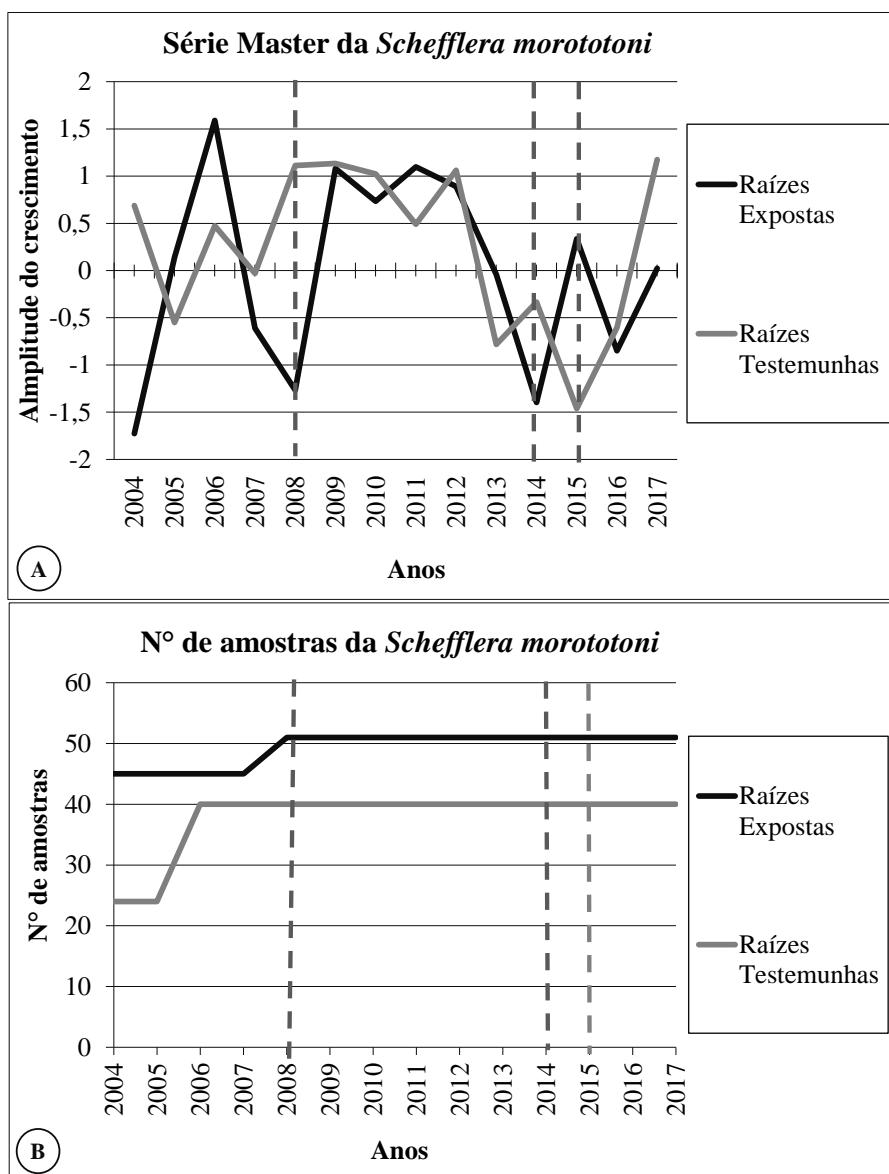


Figura 47. Série Máster de anéis de crescimento das raízes expostas e testemunhas da *S. morototoni*, com indicação das linhas pontilhadas, que demostram as prováveis datas das perdas de solos nas raízes que foram expostas pela erosão hídrica (A). Número de amostras (raios) das raízes expostas e testemunhas no mesmo intervalo temporal que as Séries Másters (B).

Os gráficos das Figuras 46 e 47 não possuem acurácia significativa na demonstração dos anos da exposição das raízes, porque tratam apenas da demonstração dos dados em forma de série máster, ou seja, de uma média entre todas as amostras para composição final do crescimento conjunto de todos os indivíduos. Para maior precisão, nas datas do início dos processos erosivos, se fez necessário a análise de cada raiz separadamente, conforme apresentado na tabela 3, em modelo semelhante ao apresentado nos trabalhos de Gärtner (2007); Bodoque et al. (2011); Šilhán et al. (2016).

Diferentemente dos gráficos das Figuras 46 e 47, a Tabela 3 indica que os anos que possuem desencadeamento mais frequente dos processos erosivos são caracterizados pelos anos de 2006, 2010 e 2013. Enquanto os anos de menor ocorrência de formação dos processos erosivos são as datas de 2008, 2009, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2017. Os dados de taxa de perda de solos vertical em mm/ano foram calculados seguindo a metodologia proposta por (Gärtner, 2007) e a taxa de perda de solos horizontal em mm/ano seguiu a metodologia proposta por (Malik, 2008).

Tabela 3. Datas e taxa das perdas de solos horizontais e verticais da encosta das erosões hídricas em milímetros por ano na Unidade de Conservação Jardim Botânico de Goiânia/GO. *Cada identificação é composta por amostras separadas de raízes que compuseram os 4 (quatro) raios das raízes analisadas.

Localização das Amostras	Espécies	ID das raízes (Amostras)*	Datas das exposições das raízes	Perda de solos vertical (mm)	Taxa de perda de solos vertical em mm/ano	Distância longitudinal entre raízes vizinhas (mm)	Taxa de perda solos horizontal (mm/ano)
Sítio I - Encosta da Voçoroca	<i>S. morototoni</i>	M75 - R1	2010 e 2013	-710	113 e 177	330 e 600	110 - 200
		M75 - R2	2010		113		
		M75 - R3	2013		177		
		M54 - R2	2012	-650	130	320	320
		M54 - R3	2012		130		
		M62 - R1	2006 e 2009	-500	45 e 62	460	115 - 460
		M62 - R2	2010 e 2016		71 e 250		
		M62 - R3	2008 e 2016		55 e 250		
		M62 - R4	2010 e 2017		71 e 500		
		M62 - R5	2013 e 2017		125 e 500		
	<i>A. macrocarpa</i>	A41- R1	2006	-490	44	-	-
		A41- R2	2006		44		
		A41- R3	2006		44		
Sítio II - Erosão Fluvial	<i>S.morototoni</i>	M50 - R1	2010	-790	113	490	490
		M50 - R2	2010		113		
		M69 - R2	2008 e 2010	-460	51 e 66	1330	125 - 665
		M69 - R3	2006 e 2012		42 e 92		
		M69 - R4	2015		230		
	<i>A. macrocarpa</i>	A50- R1	2013	-400	100	790	113
		A50- R2	2006		36		
		A34- R1	2013	-30	7	-	-
		A34- R2	2013		7		

Partindo da comparação dos gráficos da figura 46 e 47 com a Tabela 3, é possível considerar que as datas mais prováveis do início da formação dos possessos erosivos hídricos são evidenciadas nos anos de 2008, 2013 e 2015.

Neste intento, percebe-se que os anos de ocorrência dos processos erosivos são recentes, de 2006 e 2008 até 2017, e a perda de solos vertical e horizontal da encosta nas feições erosivas são bastante elevadas, chegando até 790 e 1330 milímetros de perda de solos.

É importante considerar que, na Área I do Jardim Botânico, os processos erosivos verticais são nitidamente mais intensos devido às proporções da feição erosiva, sendo que as perdas de solos verticais chegam a 500 milímetros por ano, enquanto na Área II, as perdas verticais são de no máximo 230 milímetros por ano.

Entretanto na Área II, as taxas de erosão horizontal são maiores que da Área I, porque na Área II os valores extremos alcançam a 665 milímetros por ano, que são maiores que na Área I com valores de até 460 milímetros por ano (Tabela 3), devido provavelmente ao maior adensamento de casas e lotes e da impermeabilização dos solos,

Considerando isso, as taxas de perdas de solos neste trabalho são muitas vezes superiores aos trabalhos de Bovi (2013); Bovi et al. (2018) que aplicaram a dendrogeomorfologia em uma mesma área de estudos, na região de São Paulo na Savana Brasileira (Cerrado), considerada como área periurbana, onde identificaram perdas verticais de solos com extremos de 20 a 160 mm por ano.

Entretanto o trabalho de Castilho (2016) estimou as taxas de erosão hídrica em fragmento florestal idêntico aos dos autores citados anteriormente e determinou que as taxas de perda verticais de 17 e 36,5 milímetros por ano e horizontal de solos são superiores a deste trabalho com 700 a 1.450 mm por ano. As perdas verticais deste trabalho são maiores que a do autor, ao contrário das horizontais que são cerca de 2 vezes mais intensas do que a área de estudo. A maior perda vertical neste trabalho pode estar relacionada ao tipo de solo que é diferente e das alterações antrópicas que possuem maiores taxas de impermeabilização em relação à área de estudo do autor mencionado.

O trabalho de Bright e Boardman (2009), em região tropical, localizado na África do Sul tem características de solo arenoso, considerado uma região de clima árido com variações da média anual de 423 milímetros acumulados de chuva, em declividade de 2 a 10%, solo de vegetação arbustiva e com solo exposto e não antropizado. Ainda que o autor não tenha registrado manejo inadequado dos solos, averiguou perdas elevadas de 5,6 a 16,7 milímetros por ano.

O processo erosivo na região da Patagônia Argentina, que é uma região que está localizada na faixa temperada do sul com clima árido e precipitação média anual de 258 mm, e através das raízes expostas, estimou perdas de solo na ordem de 2,4 a 3,1 milímetros por ano, considerados altos (CHARTIER et al., 2009). O solo avaliado situava-se em terreno aplinado (1 a 5%), apresentava boa drenagem e profundidade, entretanto possuía textura arenosa e era usado para pastoreio com intensidade moderada a pesada. Nesse caso, a textura arenosa e o uso intensivo condicionaram a elevada velocidade do processo erosivo com

perdas de solo de 6 a 8 vezes maiores que o valor atribuído à tolerância à perda de solo para o uso de pastagens.

A área de estudo têm aspectos distintos dos trabalhos citados, como por exemplo, a declividade mais acentuada, com amplitudes de 8 a 20%, a vegetação que é muito densa, o solo muito arenoso e precipitações acumuladas médias muitas vezes mais elevadas com total de 1610 mm/ano, além da urbanização e impermeabilização intensa do entorno com até 65% da área do entorno do parque, no ano de 2016. Por isso, acredita-se que a precipitação e principalmente as características da urbanização do entorno, são as grandes diferenças, encontradas das taxas de perdas de solos de até 19 vezes maior que da área de estudo dos autores citados. Entretanto, estudo realizado em regiões temperadas da Itália, conhecida como ``Badlands`` apresentou expressivas velocidades de perda de solo, de 58,6 a 275 milímetros por ano (BOLLATI et al., 2016). Esse tipo de paisagem se constitui de características áridas e de litologia rica em lutitos, extensamente erodida pelo vento e água e suscetível a formações de ravinas e sulcos, com precipitações que variam de 500 e 1200 mm e solos muito pedregosos, mas com textura argilosa.

Ainda assim, Bollati et al. (2016), não encontrou presença de alterações antrópicas como pastagens, agricultura e áreas urbanas e descreve que existem processos de erosão fluvial, juntamente com a denudação de taludes, além de que muitas encostas estão evoluindo rapidamente e assoreando os rios da região.

Apesar das elevadas taxas de perdas de solos dimensionadas pelo autor, neste estudo a velocidade do processo erosivo é de 2 a 3 vezes maior do que as perdas de solos estimadas por Bollati et al. (2016). Portanto, a explicação mais plausível para as grandes taxas de perdas de solos registradas neste trabalho pode estar relacionadas às alterações antrópicas referente à urbanização e impermeabilização dos solos do entorno da unidade de conservação.

Saez et al. (2011), obtiveram taxas médias de perda de solos de 5,2 a 6,2 mm/ano, em condições de solos com presença de calcário, que é um material muito suscetível à erosão e declividade elevadas de 30 a 75% na região da França. A área do presente estudo possui declividades menores que variam de 8 a 25% e os tipos de rochas são mais resistentes às intempéries, a exemplo de xistos e gnaisse. Diante do exposto, conclui-se que esses aspectos do meio físico não foram preponderantes para a intensificação da erosão na área de estudo e que os processos das erosões hídricas dos solos parecem ser mais influenciados, pelas mudanças no uso e ocupação das terras e manejo dos solos.

Estudos sobre a velocidade da erosão hídrica, através da presença de alterações anatômicas de cicatrizes e da largura dos anéis de crescimento, foram desenvolvidos na

França e Itália, em solos de textura arenosa e declividades muito elevadas (26 a 54%) e apresentaram taxas de perdas de solos que variaram de 3,5 a 8,8 milímetros por ano (BODOQUE et al., 2011; CORONA et al., 2011; PÉREZ-RODRÍGUEZ et al., 2007).

É importante ressaltar que geralmente sob condições naturais o solo pode ser formado a uma taxa de 2,5 em 300 a 1000 anos (PIMENTEL et al., 1975; BRADY e WEIL, 2013).

Diante da literatura especializada em comparação com as perdas de solos do Jardim Botânico, percebe-se que a velocidade do processo erosivo da área de estudo é muitas vezes mais expressiva, devido a perdas de solos de 500 a 660 milímetros por ano e se torna importante reforçar, que a erosão provavelmente é acelerada pela ação antrópica da urbanização ao entorno da área de estudo.

O trabalho de Momoli et al. (2012) resulta em valores inferiores ao deste estudo, com taxas de deposição de acúmulo de sedimento na base das árvores de 14 mm por ano em ambiente de mata ripária do Cerrado, envolta por matriz agrícola e com manejo inadequado e textura muito argilosa dos solos. Os valores de deposição anual, referentes à velocidade do acúmulo de sedimento, obtidos por estes autores são mais baixos que os encontrados na unidade de conservação do Jardim Botânico de Goiânia, chegando até 18,6 milímetros por ano. Provavelmente essa condição pode estar relacionada ao fato de que ambas as áreas possuem alterações antrópicas expressivas com manejo inadequado dos solos do entorno.

Apesar dos poucos trabalhos existentes de dendrogeomorfologia no Cerrado Brasileiro e principalmente em unidades de conservação inserida em ambiente antrópico, percebe-se que possivelmente as perdas de solos nesses ambientes, possuem velocidade maior que as áreas menos urbanizadas.

4.6 Tendência de crescimento do caule

A tendência de crescimento do caule da *A. macrocarpa*, considerando aquelas que estão na encosta das feições erosivas e as soterradas de sedimentos apresentaram distintos ritmos de crescimento (Figura 48 A, B, C).

No grupo amostral das testemunhas, observa-se que houve crescimento mais acentuado do indivíduo ANG 1, que se encontra em uma região dentro do fragmento florestal exposta a maior exposição e incidência solar, menor densidade de árvores e consequentemente menor influência de competição, tais condições podem explicar o maior crescimento deste indivíduo em relação aos demais (Figura 48A). É possível identificar na figura 48B que o indivíduo ANG 41 possui maior perda de solos, com 490 milímetros (49 cm), que pode ter desencadeado maior crescimento em relação aos indivíduos ANG 34, com

30 milímetros (3 cm) de perda de solos e ANG 50, com 400 milímetros (40 cm) de perda de solos (Figura 48B).

Entretanto, observa-se que as árvores com acúmulo de solos não apresentaram relação clara de crescimento que possibilitasse distinção entre a espessura de solos acumulada e o crescimento entre os indivíduos (Figura 48C).

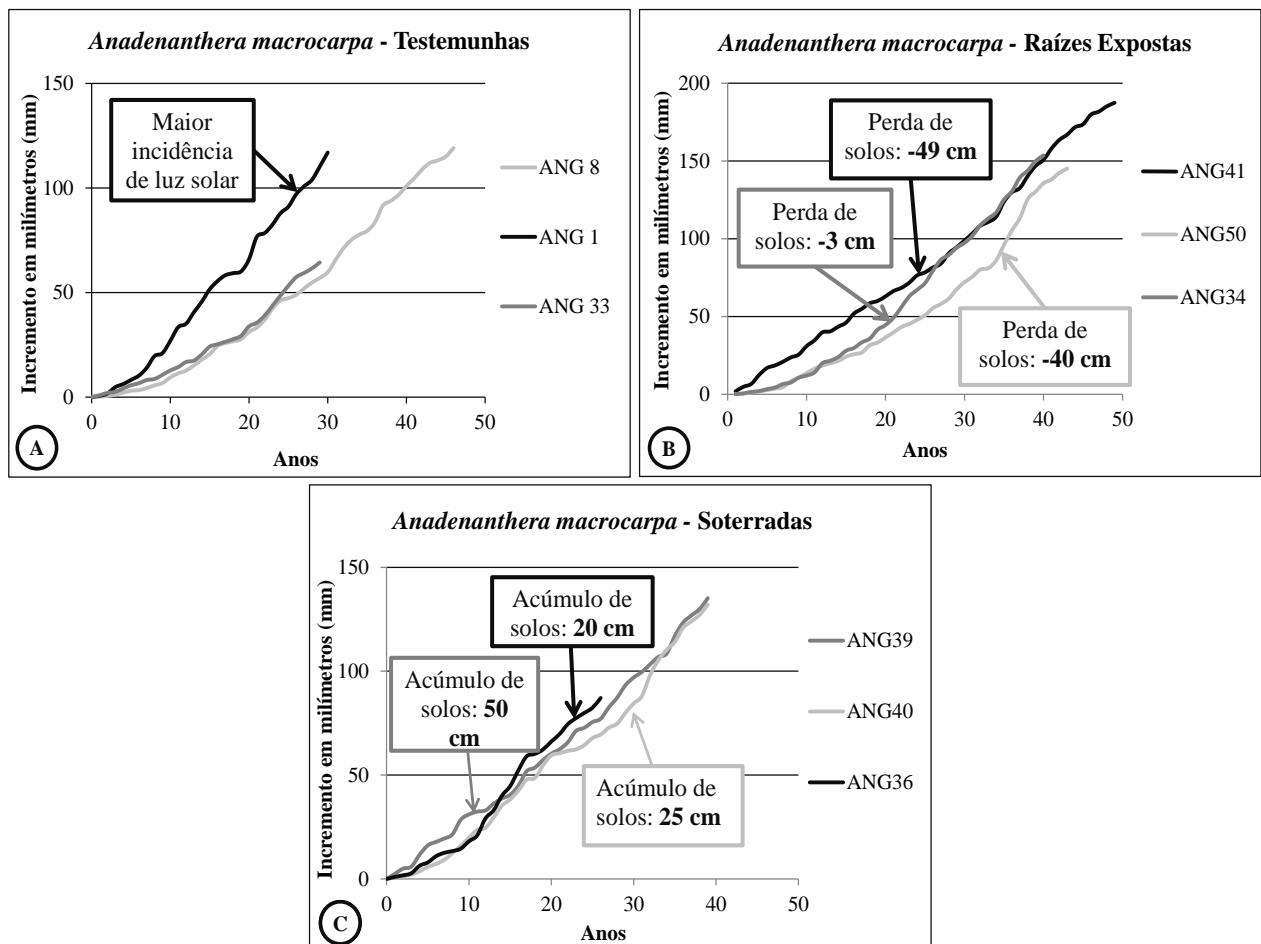


Figura 48. Incremento médio acumulado (IMA) dos indivíduos arbóreos de *A. macrocarpa*. Testemunhas (A); Raízes expostas – Encosta das feições erosivas (B); Soterradas (C).

A proximidade do curso hídrico foi preponderante no crescimento de alguns indivíduos de *S. morototoni* do grupo amostral das testemunhas, a exemplo da MAND 15 e MAND 51, que estão à aproximadamente 5 metros do curso hídrico, enquanto que a MAND 2 e MAND 71 estão de 30 a 50 metros de distância (Figura 49), por isso acredita-se que as árvores mais próximas do curso hídrico cresceram mais em um tempo menor.

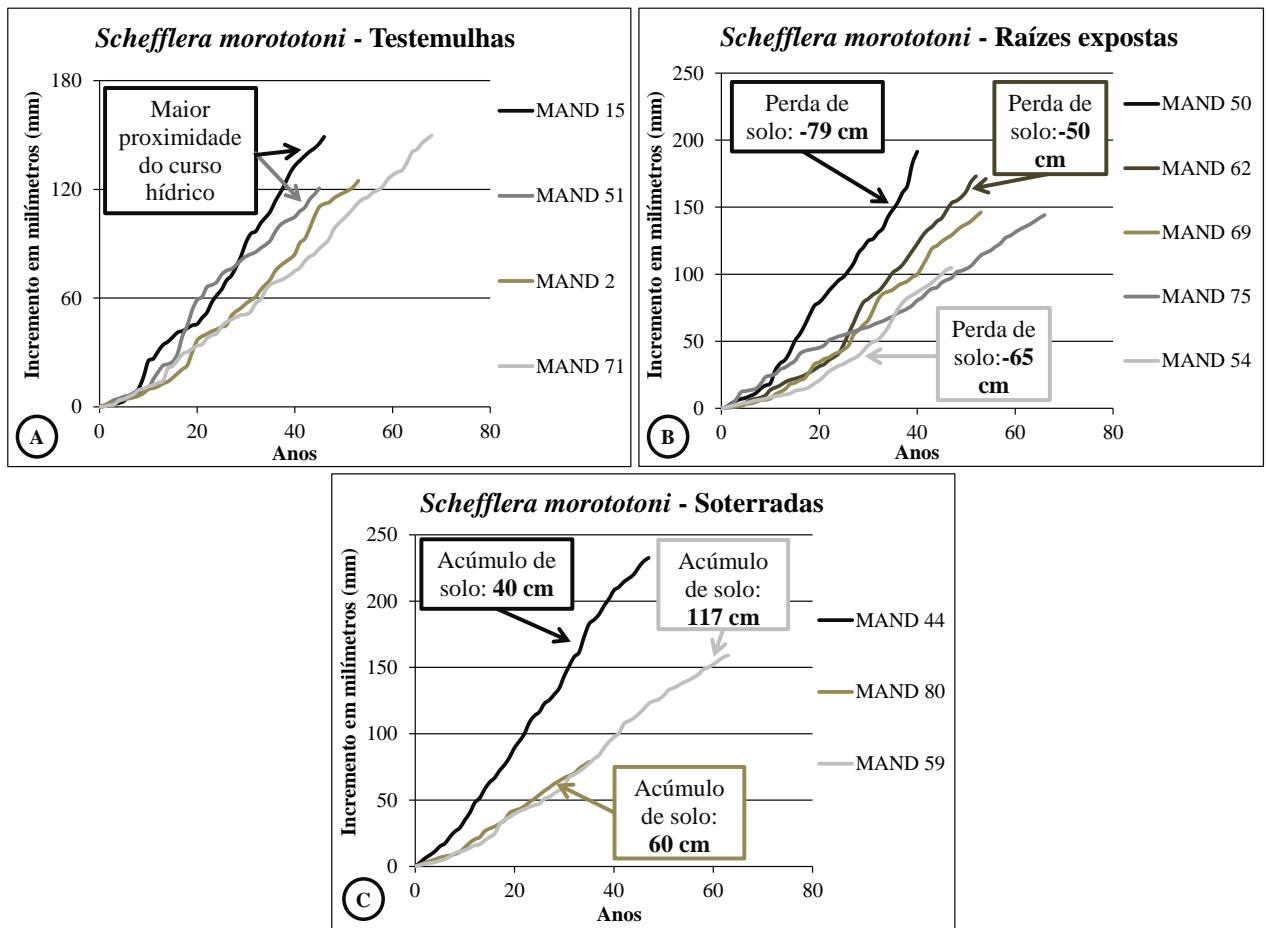


Figura 49. Incremento Médio Acumulado (IMA) dos indivíduos arbóreos de *S. morototoni*. Testemunhas (A); Raízes expostas – Encosta das feições erosivas (B); Soterradas (C).

S. morototoni apresentou variações de crescimento similar a *A. macrocarpa*, com relação aos indivíduos do grupo amostral das árvores com raízes expostas. Por exemplo, o MAND 50, que foi a árvore com maiores perdas de solos e que apresentou ritmo de crescimento mais acentuado do que os demais árvores, isso indica que a erosão hídrica pode estar fazendo as árvores crescerem mais ao longo do tempo, apesar dessa dedução ser contraditória entre os indivíduos MAND 62 e 54 (Figura 48B).

A avaliação dendrogeomorfológica do trabalho de Bodoque et al. (2005), ao analisarem o lenho do tronco das espécies *Pinus sylvestris* e *Quercus ilex*, na Espanha, demonstrou que com o início do processo erosivo a planta pode responder crescendo mais e que quanto maior a magnitude ou a espessura de solos perdidas, maior é o crescimento das espécies analisadas.

Essas mesmas observações foram relatadas no trabalho de Stoffel (2005) nos Alpes suíços, que analisou o fluxo de detritos acumulado em indivíduos de *Larix decidua* Mill. (D. M. Schneuwly) e *Picea abies* (L.) Karst e concluiu que quanto maior a magnitude e

frequência das rochas que impactavam a casca ou o lenho dos indivíduos, maior foi a largura dos anéis de crescimento, a partir da data do evento.

Todas essas evidências corroboram com as observações realizadas neste trabalho, com os grupos amostrais dos indivíduos com raízes expostas da *A. macrocarpa* e *S. morototoni*.

Do grupo amostral das soterradas da espécie *S. morototoni*, as árvores com maior acúmulo de solos na base do tronco, tiveram menor ritmo de crescimento em relação àquelas com menor sedimentação.

Essa afirmação pode ser observada na Figura 49, onde a MAND 44 com 400 milímetros (40 cm) cresceu mais que a MAND 80 que possui 600 milímetros (60 cm) de sedimentos acumulados e MAND 59, com acúmulo de 1170 milímetros (117 cm). Apesar disso, mais estudos precisam ser realizados para entender como as distintas taxas de perda ou acúmulo de solos podem provocar o aumento ou diminuição do ritmo de crescimento das plantas.

Esses resultados indicam que grandes proporções de acréscimo de solo na base do tronco das árvores, causam redução no seu crescimento e que apesar das árvores terem função de filtro retentor de sedimentos, muita das vezes a elevada carga de sedimentos acumulada, pode comprometer a longevidade dos fragmentos florestais.

Os estudos de Okello et al. (2014), corroboram com essas averiguações, pois em suas análises comprovaram que árvores de mangue (*Avicennia marina*, *Ceriops tagal* e *Rhizophora mucronata*) no Quênia, com acúmulo de sedimentos de 150, 300 e 450 milímetros possuíram aumento de crescimento, de densidade foliar e da área da copa, enquanto que indivíduos com maior acúmulo apresentaram decréscimo de crescimento.

De forma a dar maior suporte e confirmação às análises da tendência de crescimento dos indivíduos analisados neste trabalho, os estudos de Koprowski et al. (2010), afirmaram que no Parque Nacional Slowinski na Polônia, em uma região onde foi avaliado a dinâmica de dunas de areia, os sedimentos eólicos estão invadindo uma floresta de pinheiros silvestres (*Pinus sylvestris* L.). As árvores dessa espécie que tiveram o acúmulo de sedimentos em alturas superiores a 1 metro apresentaram diminuição de vitalidade e menos do que isso provocaram aumentos notórios no crescimento

Essas evidências confirmam que pode existir um decréscimo de crescimento das espécies do grupo amostral dos indivíduos soterrados, em relação à magnitude do acúmulo de sedimentos, ou seja, quanto maior a espessura de solos acumulada na base do tronco das árvores menor pode ser o crescimento da árvore até determinado ano de sua vida.

A tendência de crescimento de todas as amostras representadas através do Incremento Médio Acumulado (IMA) dos grupos amostrais das testemunhas, soterradas e raízes expostas, das espécies de *A. macrocarpa* e *S. morototoni*, foram representadas nos gráficos das figuras 50 e 51.

Observa-se que a correlação R^2 entre os indivíduos realizados no software EXCEL, dos grupos amostrais de *A. macrocarpa* é bastante elevada, de 0,88 a 0,96, assim como da relação das árvores dos grupos amostrais de *S. morototoni* que varia de 0,66 a 0,92 (Figuras 50 e 51).³

As árvores de *A. macrocarpa*, que possuem raízes expostas apresentaram crescimento mais acentuado em mesmo intervalo de tempo que as árvores do grupo amostral das com caule soterrado e das testemunhas. Os indivíduos soterrados também apresentam ritmo de crescimento maior que as testemunhas (Figura 50).

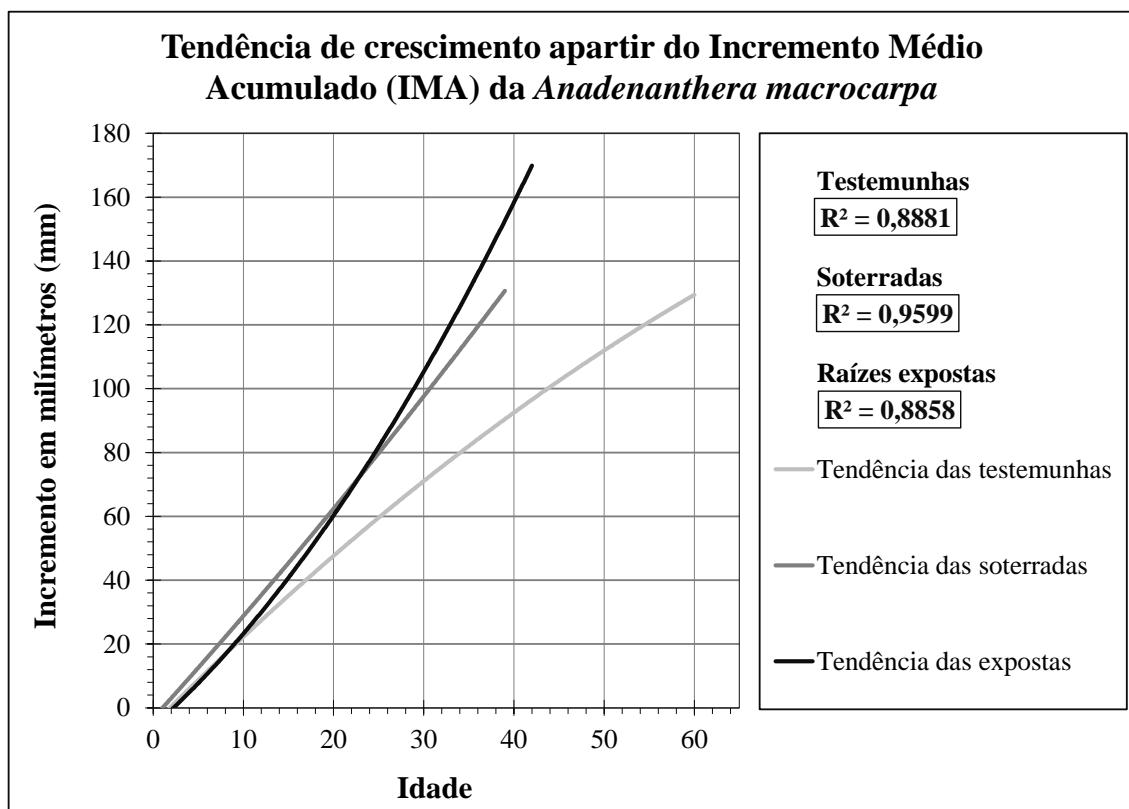


Figura 50. Incremento médio acumulado (IMA) com a representação da tendência de crescimento do caule dos indivíduos arbóreos de *A. macrocarpa*. Testemunhas; Soterradas; Raízes expostas.

Os indivíduos de *S. morototoni* possuem crescimento semelhante à *A. macrocarpa*, no que tange ao grupo amostral das testemunhas, porque possuem tendência de crescimento menor que o grupo amostral das com caules soterrados e as com raízes expostas. A maior

³ As elevadas correlações demonstram que ambas as espécies, apresentam similaridades na sincronia da largura dos anéis de crescimento e por isso elevado potencial dendrocronológico.

diferença se refere aos indivíduos soterrados que possuem ritmo de crescimento maior que as testemunhas e das com raízes expostas (Figura 51).

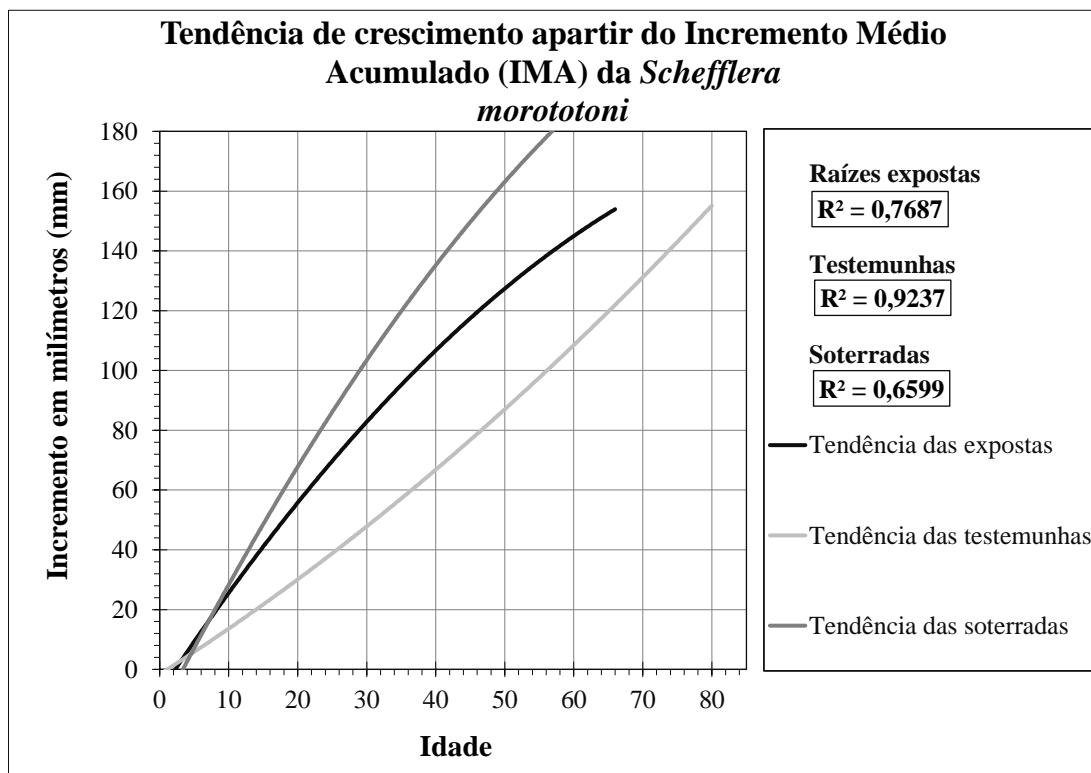


Figura 51. Incremento Médio Acumulado (IMA) com a representação da Tendência de crescimento dos indivíduos arbóreos de *S. morototoni*. Raízes expostas; Testemunhas; Soterradas.

Neste estudo foi observado o crescimento maior dos grupos amostrais das árvores com raízes expostas e soterradas em relação ao grupo das testemunhas, que é discutida pelos trabalhos de (BODOQUE et al., 2005; KOPROWSKI et al., 2010). Entretanto, Stoffel e Bollschweiler (2008) afirmam que os indivíduos com raízes expostas e caule soterrado poderiam morrer mais rápido do que indivíduos sem alteração do nível do solo, e o crescimento das árvores estariam relacionadas à magnitude do evento, por exemplo, se o evento erosivo for instantâneo com exposição completa de várias raízes, isso induzirá menor crescimento do que indivíduos com exposições parciais das raízes.

Neste trabalho observou-se que as raízes das árvores com exposição sofreram efeitos de erosão hídrica de alta magnitude, porque o evento erosivo expôs várias raízes na encosta da feição erosiva, assim como a data destes eventos são bastante recentes e remontam de 2006 a 2017.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os indivíduos das espécies de *Anadenanthera macrocarpa*, *A. peregrina* e *Schefflera morototoni* formam anéis de crescimento anuais e possuem elevada sensibilidade para registrar eventos ambientais externos e potencial para estudos dendrocronológicos e dendrogeomorfológicos na unidade de conservação Jardim Botânico de Goiânia/Goiás. Entretanto, os indivíduos arbóreos de *Guarea Guidonea* amostrados não apresentaram anéis de crescimento distintos, o que impede análises dendrocronológicas e dendrogeomorfológicas, com esta espécie, nas condições locais avaliadas.

Nas regiões tropicais a intensidade das chuvas é superior às registradas nas regiões temperadas e isso pode estar relacionado às elevadas perdas de solos, das quais são observadas na área de estudo, que vão de 7 a 500 milímetros por ano. Enquanto as perdas horizontais ou de retrocesso das encostas dos processos erosivos vão de 110 a 665 milímetros.

As elevadas taxas de sedimentação podem estar relacionadas às alterações antrópicas como a impermeabilização dos solos com total de 6,4 a 18,6 milímetros por ano.

Diante das elevadas taxas de sedimentação e erosão, conclui-se que estão fortemente relacionadas aos aspectos do relevo, como declividade e forma da vertente e principalmente pelas construções antrópicas do entorno do fragmento florestal.

Os indivíduos arbóreos localizados nas encostas da voçoroca, com perda de solos estão situados em declividades mais elevadas, que vão de 8 a 21%. Em contrapartida, os indivíduos soterrados estão situados em declividades mais planas que vão de 1 a 8%. Isso é uma evidência de que nos ambientes de maior declive, as taxas de erosão hídrica foram maiores a ponto de expor as raízes das árvores.

As datas das exposições radiculares com maior frequência estão relacionadas os anos de 2006, 2008, 2010 e 2013.

As datas averiguadas pelos anéis de crescimentos do caule possuem maior intervalo temporal que as raízes expostas e foram essenciais para as análises dos períodos de movimentação do nível dos solos, que ocorreram nos anos de 1980, 1986, 1987, 1991 e 1993.

Essas datas estão no mesmo intervalo temporal das maiores mudanças que ocorreram no uso e cobertura das terras, que tange as maiores taxas de impermeabilização dos solos que ocorreram nas datas de 1975 a 1988 e de 1988 a 1992 conforme o capítulo 2.

Houve maior ritmo de crescimento das árvores com raízes expostas e das soterradas em relação às espécies testemunhas, em ambas as espécies analisadas. Acredita-se que o maior crescimento das árvores soterradas e com raízes expostas pode estar relacionada à liberação de algum hormônio natural que agiu na defesa e aumento da vitalidade dos

indivíduos no ano dos eventos, entretanto mais estudos precisam ser realizados nesta perspectiva, assim como analisar a relação de crescimento das árvores com as chuvas intensas e erosivas, que é o objetivo do Capítulo IV.

A identificação do grau ou intensidade da pressão antrópica exercida sobre esta Unidade de Conservação municipal, que vem há muitas décadas sofrendo modificações, poderá servir como modelo para aplicação em outras unidades de conservação que possuem condições ambientais e alterações antrópicas similares.

CAPÍTULO IV: DENDROGEOMORFOLOGIA E EROSÃO HÍDRICA DOS SOLOS: RELAÇÃO ENTRE EXPOSIÇÃO RADICULAR, CHUVAS INTENSAS E ATRIBUTOS DOS SOLOS.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um dos mais importantes recursos que abriga a vida no planeta. Entretanto está sendo perdido a uma taxa que é 10 a 40 vezes mais rápida que a sua formação e aproximadamente 10 milhões de hectares de terras cultivadas são perdidos anualmente devido à erosão (PIMENTEL, 2006).

A formação dos processos erosivos acelerados depende de fatores relacionados ao clima, relevo, solos e vegetação (MORGAN, 2005). Relacionados ao clima são: Intensidade, frequência e duração das chuvas; ao relevo: forma e declividade dos terrenos; ao solo: textura, estrutura, fertilidade, uso e manejo e à vegetação: tipo, porte e densidade da folhagem (FANNING e BALLUFF FANNING, 1989).

Quando se trata de erosão hídrica dos solos, o tamanho e a distribuição das partículas sólidas do solo são de extrema importância. A erodibilidade representa a suscetibilidade do solo ao processo erosivo, que é estimada a atributos físicos dos solos (textura, estrutura e permeabilidade), além das porcentagens de matéria orgânica (BRYAN, 2000). Outros parâmetros importantes das partículas de solo são: distribuição, concentração, transporte ao longo da encosta e força de atração ou tensão crítica de cisalhamento (BOVI et al., 2017).

A dinâmica do movimento das partículas dos solos está comumente relacionada aos eventos de chuvas intensas, que podem mobilizar e destacar mais facilmente as partículas de argila que são mais leves ao longo do declive (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). No entanto, as partículas de solos muito argilosos, em ambiente tropical rico em Ferro (Fe), podem se agregar formando aglomerados que são mais pesados e difíceis de serem carreados em determinadas porções do perfil do que as partículas de argilas separadas ou desagregadas (DEXTER, 1998).

Chuvas intensas são aquelas com grande volume e curta duração, são responsáveis pelas maiores perdas de solos, comparado às chuvas convectivas que possuem tempo de separação suficiente para que a água precipitada seja totalmente infiltrada e chegue no nível freático (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

As chuvas intensas de regiões urbanas possuem diferenças quando comparadas às regiões rurais ou de vegetação densa. Por exemplo, podem existir nas grandes metrópoles, as intituladas chuvas convectivas, que são aqueles eventos que abrangem áreas de poucos

quilômetros mais que possuem tempos de recorrência menores e maior volume hídrico nestes intervalos (HAN et al., 2013).

Os efeitos normalmente causadores das chuvas convectivas são as ilhas de calor urbano, grande rugosidade da superfície e maior concentração de aerossóis. Apesar disso, muito ainda tem que ser compreendido sobre os efeitos e causas da intensidade dos processos da intensidade da precipitação em regiões urbanas (LIU e NIYOG, 2019).

É amplamente aceito na literatura o fato de que as chamadas chuvas erosivas individuais são separadas da outra, por um período de 6 horas e que em 15 minutos tenham altura pluviométrica de mais de 10 milímetros, e aquelas não erosivas são as que tenham precipitado 6 milímetros ou menos (CABEDA, 1976; WISCHMEIER e SMITH, 1978; CARVALHO et al., 1989).

Embora essas chuvas produzam inicialmente pequeno volume de enxurrada ou escoamento superficial, devido ao curto período em que ocorre, o que determina as grandes taxas de desprendimento dos solos e carreamento de sedimentos para o leito dos rios não é exclusivamente a intensidade desses eventos separadamente, mas o número ou frequência de eventos que ocorrem anualmente (ROQUE-MALO e KUMAR, 2017; ZHANG et al., 2019).

Estudos realizados na África Austral indicaram que também podem ser consideradas chuvas erosivas, em regiões tropicais, aquelas maiores que 25 mm.h^{-1} , cujo maior volume e maior intervalo de ocorrência pode carrear significativos volumes de solos (HUDSON, 1981).

As pesquisas relacionadas às chuvas intensas em áreas urbanas estão direcionadas a compreender a periodicidade dos eventos de inundações, drenagem urbana, degradação, fragilidade dos solos, recarga e variações dos níveis freáticos (TUCCI, 2008; SONG et al., 2018; PATRA et al., 2018). Contudo, existe escassez de trabalhos desenvolvidos no que tange a resposta de crescimento das plantas aos eventos de chuvas intensas.

Estudos essenciais para estes tipos de pesquisas têm sido desenvolvidos e fundamentados na dendrogeomorfologia, que analisa os anéis de crescimento do tronco e raízes de espécies arbóreas e pode auxiliar as pesquisas sobre a relação entre a chuva e crescimento de indivíduos arbóreos para datar eventos ambientais externos, sejam antrópicos ou naturais (STOFFEL et al., 2013).

Grande parte das pesquisas sobre dendrogeomorfologia com ênfase em espécies de clima temperado estão concentradas principalmente em ambientes alpinos da Europa e América do Norte (STOFFEL e BOLLSCHWEILER, 2008), bem como na Patagônia argentina e chilena (ROIG e BONINSEGNA, 1991; ROIG et al., 2001; ROIG et al., 2006). Nas regiões tropicais, principalmente no Cerrado Brasileiro, as pesquisas, ainda são escassas,

mas têm comprovado a existência de anéis de crescimento, devido ao clima de seca e chuva bem definido (TOMAZELO FILHO et al., 2004; MOMOLI et al., 2012; ANDREACCI et al., 2017; BOVI, 2018).

É evidenciado em muitos trabalhos que aplicam a dendrogeomorfologia nas regiões temperadas, que quando as raízes dos indivíduos arbóreos são expostas pela erosão hídrica, exatamente na data da exposição é observado o aumento ou diminuição progressiva ou abrupta da largura dos anéis de crescimento e surgimentos de cicatrizes devido à perda de solos (GÄRTNER, 2007; BODOQUE et al., 2011).

No Brasil, o trabalho de Bovi (2013) realizado numa região periurbana localizada entre os limites dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, revelou inexistência de relação entre o número de chuvas intensas horárias, que ocorrem anualmente, e o surgimento de cicatrizes no lenho das raízes expostas. Apesar disso Castilho (2016) na mesma área de estudo com espécie distinta, constatou que existe relação entre os anos com maior número de chuvas erosivas e os maiores quantitativos de sinais anatômicos da erosão hídrica registrados no lenho das raízes expostas, entretanto não observou relação positiva em todos os anos.

O objetivo deste trabalho é verificar se existe relação entre o aumento ou diminuição abrupta ou progressiva da largura dos anéis de crescimento e de formações de cicatrizes, devido à exposição radicular causada pela erosão hídrica com o número das chuvas intensas e erosivas ocorridas anualmente numa Unidade de Conservação urbana.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização climática

A área de estudo está localizada no Cerrado Brasileiro em ambiente predominantemente urbanizado e possui duas estações bem definidas uma seca que varia de maio a setembro e outra chuvosa de outubro a abril (Figura 52).

De acordo com a classificação de Köppen e Geiger (1928) o clima da região é tropical úmido do tipo AW, com verão úmido e inverno seco, que determina a sazonalidade climática da região.

A precipitação total média de 1964 a 2018 da área de estudos é de 1610 mm/ano. As estações chuvosas possuem alturas pluviométricas médias mensais de 125 milímetros, sendo que as alturas maiores compreendem os meses de janeiro e dezembro com 250 a 260 milímetros. No extremo oposto, a época das secas perfaz em média cerca de 30 a 50 milímetros (Figura 52).

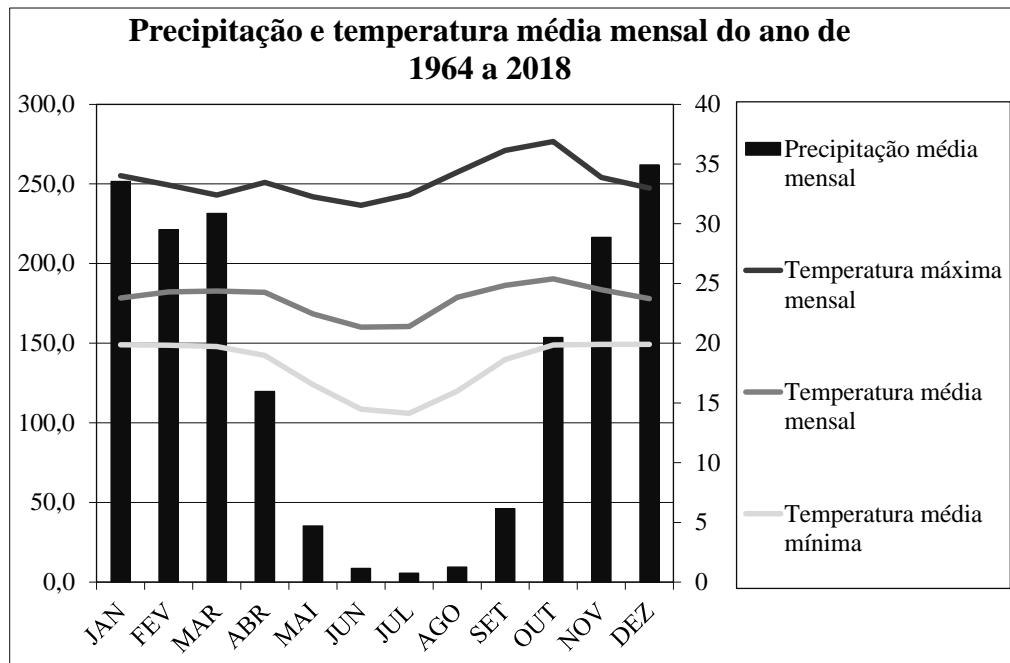


Figura 52. Série histórica (1964-2018) de precipitação acumulada e temperatura média mensal da área de estudo. Fonte: INMET e CPRM.

De forma geral, como pode ser observado na figura 52, as temperaturas próximas da área de estudos podem variar com mínimas de 14°C, médias de 25°C e máximas de 37°C.

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.2.1 Chuvas intensas e erosivas

As estações meteorológicas dos dados pluviométricos utilizados correspondem às estações mais próximas da área de estudo, sendo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) que possui distância de 1,8 quilômetros e Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) com 4,5 quilômetros de distância. Além de pluviógrafo de báscula, instalado no Colégio Estadual Pedro Xavier Teixeira no Setor Pedro Ludovico, a 500 metros da área de estudo (Figura 53).

Para determinar as chuvas individuais erosivas, foram usados dados, adquiridos através de um pluviôgrafo de báscula, cedido pelo professor Dr. Kleber Teodoro Formiga da Escola de Engenharia Civil e Ambiental que possui precisão de 0,01 milímetros, com registros e intervalos de minutos da data de 2011 a 2018.

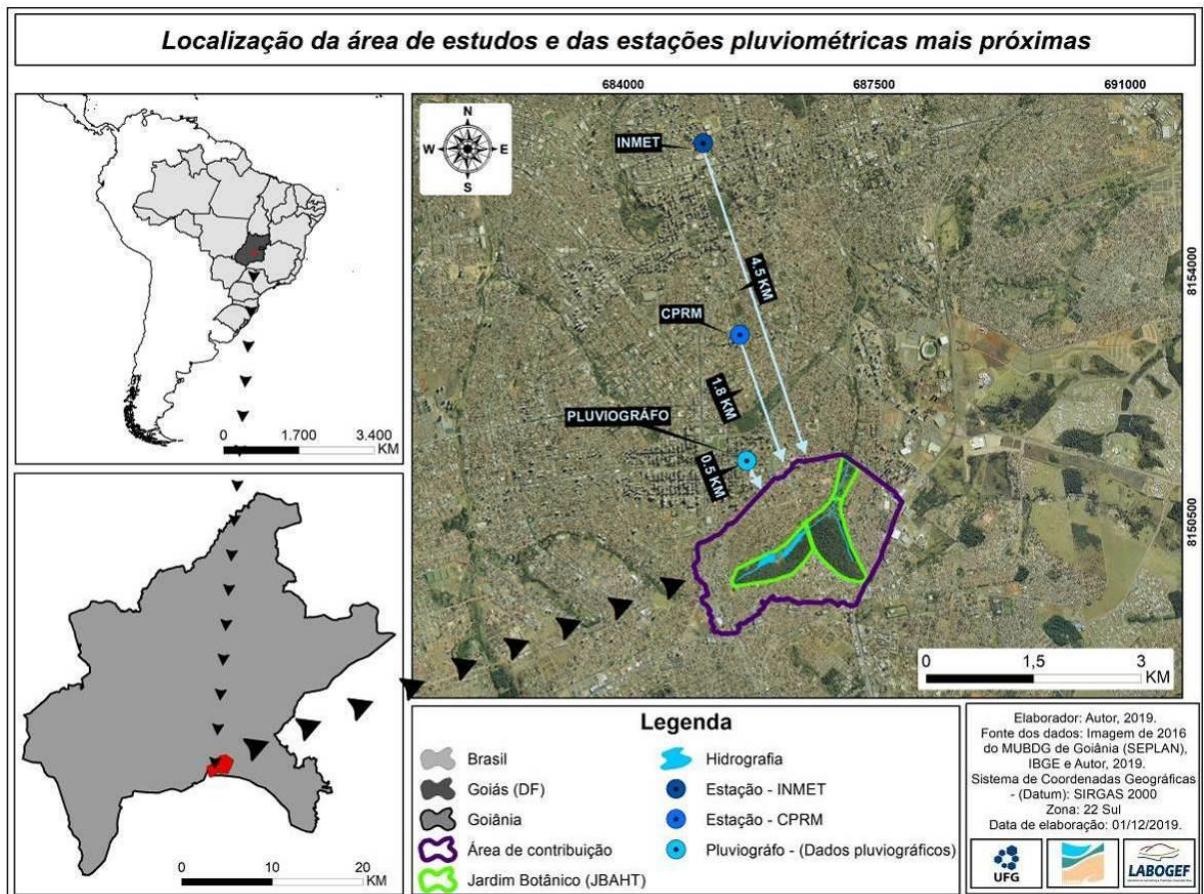


Figura 53. Localização da área de estudo e da distância das estações pluviométricas mais próximas.

Os dados pluviométricos das estações convencionais no intervalo de 24 horas utilizados neste artigo foram extraídos da base de dados do CPRM (1998 a 2018) e do INMET (1964 a 2018).

Com base nestes dados, o número de chuvas intensas anuais foi avaliado nos intervalos de 40 a 60, 60 a 80, 80 a 100 e acima de 100 milímetros. Este critério é amplamente conhecido na literatura, porque chuvas com intensidade igual ou maior que 60 e 100mm/24 horas são eventos percursores de inundação e erosão hídrica dos solos em áreas urbanas (MEHL et al., 2001; GONÇALVES, 2003; ZANELLA, 2006).

Os dados da estação automática do INMET, com intervalos de 1 em 1 hora, possuem abrangência temporal de 2001 a 2018, e se tornaram essenciais para correlação com as prováveis datas de exposição radicular, avaliadas pelos métodos dendrogeomorfológicos. Estes dados foram utilizados para estimar o número de chuvas erosivas nas regiões tropicais determinadas por Hudson (1981), que são aquelas maiores que 25 mm h^{-1} .

O número de chuvas individuais erosivas consideradas neste trabalho são aquelas que em intervalos de 15 minutos contém altura pluviométrica maior que 10 milímetros, e não erosivas as que tenham precipitado 6 milímetros ou menos, desde que um evento seja

separado do outro por intervalos de 6 horas ou mais (CABEDA, 1976; WISCHMEIER e SMITH, 1978; CARVALHO et al., 1989).

O trabalho de De Maria (1994) contribui com os estudos citados anteriormente, quando afirma que as chuvas não erosivas, possuem total pluviométrico de mais de 10 milímetros em 15 minutos.

As chuvas erosivas individuais foram separadas pelos intervalos determinados por linguagem de programação *C Sharp*, através do *software* gratuito *Visual studio community 2017*, da *Microsoft*, onde os valores do tempo e das alturas pluviométricas necessárias para cálculo das chuvas individuais erosivas foram exportados para planilha Excel.

A quantidade de eventos erosivos registrados no lenho das raízes expostas, seja pela alteração na largura dos anéis de crescimento ou pela presença de cicatrizes, foi correlacionada com diversos intervalos de tempo da precipitação. A correlação entre essas variáveis foi quantificada através de planilha no Excel pela função: "CORREL".

Essa função também foi utilizada para obter a correlação entre os números de evidências de erosão pelas alterações na largura dos anéis de crescimento e de cicatrizes no lenho das raízes expostas, considerando o ano com maior excentricidade com o número das chuvas intensas e erosivas.

2.2.2 Datação das perdas de solos

Para datação das perdas de solos, o procedimento de coleta das amostras de raízes expostas e do tronco foi realizado em 21 árvores que compuseram os grupos amostrais de raízes expostas e raízes enterradas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Angico Vermelho) e *Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyermark & Frodin (Mandioca).

Foram coletadas 2 amostras do tronco de cada árvore, totalizando 42 amostras, e 55 raízes expostas e enterradas das duas espécies amostradas, conforme a tabela 4.

Das 20 amostras de raízes expostas analisadas, 10 apresentaram cicatrizes em raízes distintas e 20 evidências de anos com aumento abrupto da largura dos anéis de crescimento. Isso é possível devido à presença, numa mesma raiz exposta, de evidências tanto de cicatriz como do aumento abrupto da largura dos anéis, associada a maior excentricidade no ano da exposição da raiz. Isso indica que as plantas podem registrar em uma mesma raiz mais de 1 (um evento) de erosão (STOFFEL et al., 2013).

As amostras de raízes enterradas, das mesmas plantas que apresentam raízes expostas, são essenciais para maior certeza na qualidade da datação (GARTINER, 2007; BODOQUE 2011), porque estão no nível normal do solo e não apresentam alterações geomórficas, por

isso com a correlação dos dados é possível saber em que datas ocorreram às alterações maiores de crescimento.

Tabela 4. Número de raízes por grupo amostral.

Espécies	ID das raízes	Número de raízes
<i>A. macrocapa</i>	Raízes expostas	7
	Raízes enterradas das árvores com exposição	7
	Raízes das árvores testemunhas	7
<i>S. morototoni</i>	Raízes expostas	13
	Raízes enterradas das árvores com exposição	11
	Raízes das árvores testemunhas	10

As amostras do lenho foram lixadas e polidas com lixas de granulometria de 80, 180, 280, 320 e 400 grãos/cm², acopladas a uma lixadeira de palmo Skill de 220 W para polimento. As demarcações dos limites dos anéis de crescimento no lenho das amostras foram feitas manualmente com lapiseira, através de um microscópio Estereoscópio LEICA de aumento de 60 vezes (Figura 54B), nos quatro raios existentes das raízes (Figura 54A). Depois disso, as amostras das raízes expostas, enterradas tiveram suas seções transversais escaneadas, em Scanner com resolução de 1400 DPI.

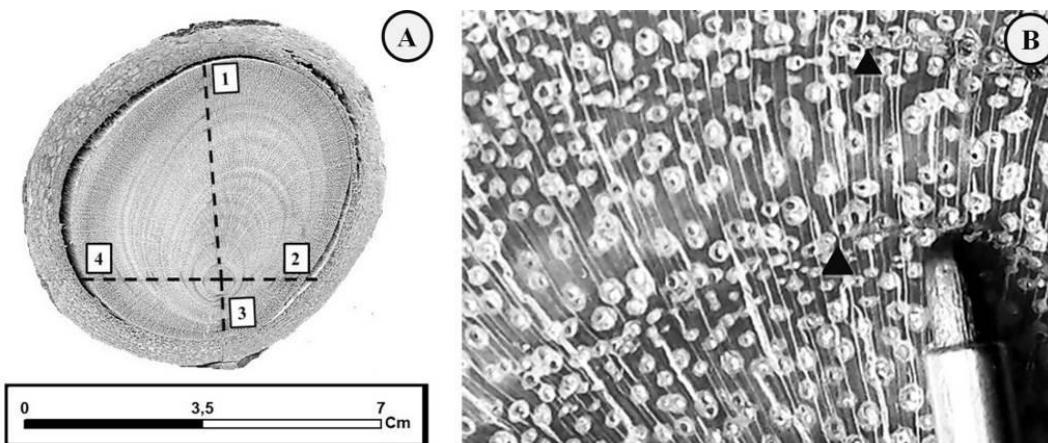


Figura 54. Raios das raízes delimitados da medula a casca da espécie de *S. morototoni* (A); Demarcação dos anéis de crescimento na espécie de *A. macrocapa* com lapiseira (B).

Posteriormente, utilizou-se o software *Image Pro Plus*, para demarcar a largura dos anéis de crescimento com precisão de milímetros.

Para a determinação da idade das raízes dos indivíduos arbóreos tornou-se necessária à exclusão dos anéis falsos, cuja qualidade do controle da datação foi realizada com o software estatístico COFECHA. Esse método tem como objetivo criar uma série máster de anéis de crescimento, que é a média de todas as séries de anéis de crescimento individuais

correlacionadas posteriormente com a série máster geral (todas as amostras) (HOLMES et al., 1986).

Para as raízes expostas os parâmetros de entrada no COFECHA relacionados às raízes expostas, enterradas das árvores expostas e enterradas das testemunhas constituíram em janela ``*segments*`` de avaliação de 20 anos, com comparações entre as séries residuais ``*lagged*`` a cada 10 anos.

Demais métodos que compõem a extração das raízes e entre outros parâmetros laboratoriais podem ser encontrados no capítulo III, a exemplo dos procedimentos relacionados ao caule, métodos realizados no COFECHA e demais parâmetros dendrogeomorfológicos.

2.2.3 Atributos dos solos

Amostras dos solos do Jardim Botânico foram coletadas próximas às árvores analisadas para verificação dos atributos morfológicos, físicos e químicos que condicionam a erosão hídrica. Foram selecionados 10 (dez) locais para coleta de amostras apenas da superfície, na profundidade de 0-20 cm e 2 (dois) locais para avaliação de perfis completos, denominados P1N e P1F (Figura 55).

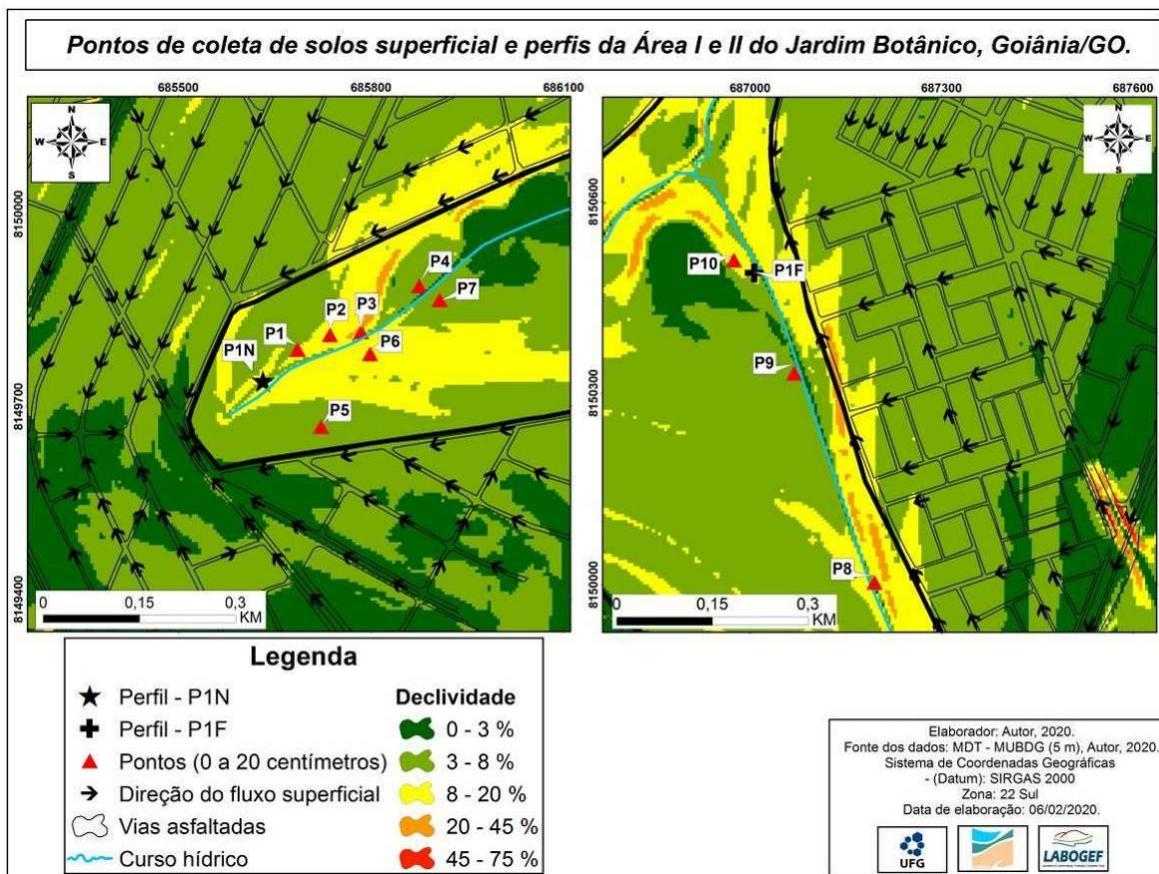


Figura 55. Localização das coletas de solos superficiais de 0 a 20 centímetros e dos perfis de solos da Área I e II no Jardim Botânico de Goiânia/GO.

Os atributos morfológicos como profundidade, textura, estrutura e cor foram descritos em campo e os atributos físico-químicos como granulometria e fertilidade foram determinados em laboratório. As amostras da camada superficial de 0-20 cm de profundidade foram analisadas apenas quanto seus atributos químicos, enquanto nos perfis completos foi realizada a análise física (granulometria) e química (fertilidade).

2.2.3.1 Descrição morfológica

Para realizar o procedimento de descrição morfológica dos solos em campo, utilizou-se o manual de descrição e coleta de solo no campo da Embrapa (2005). Primeiramente foi realizada a abertura dos perfis de solos da área de estudo e posteriormente a descrição morfológica. No perfil "P1N", localizado próximo à cabeceira da voçoroca na nascente da Área I, foram identificados 9 horizontes/camadas e amostras foram coletadas em cada um(a). No perfil denominado "P1F", situado na Área II, próximo do curso hídrico, foram identificados 11 horizontes/camadas e amostras coletadas.

Além da descrição morfológica, as análises a seguir foram realizadas a fim de contribuir para a classificação dos solos. Nos dois perfis P1F e P1N, foi coletado um total de

20 amostras de terra, sendo 11 para o P1F e 9 para P1N que foram enviados para o laboratório para análise de granulometria e fertilidade, entretanto nem todas as amostras de solos referentes aos horizontes/camadas puderam ser analisadas devido à restrição de recursos. O critério de seleção das amostras constituiu na exclusão de amostras de horizontes com os aspectos semelhantes aos inferiores e superiores no perfil, em relação à cor, textura e estrutura. Foram desprezadas (2) duas amostras do perfil P1N e 5 (cinco) do P1F.

2.2.4 Atributo físico - Granulometria

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física do Instituto de Estudos Socioambientais da UFG (LABOGEF/IESA), secas ao ar e peneiradas na peneira de 2 mm. Após isso foram separados 50g de amostras e submetidas à dispersão por NaOH, à temperatura de 24,5°C no Laboratório de Física do Solo da Escola de Agronomia da UFG (LFS/EA). Em seguida, a agitação das amostras foi realizada em mesa agitadora orbital planetária durante 12 horas a 240 rpm. Posteriormente, as amostras foram transferidas para provetas de 500 ml (Figura 56), onde a leitura foi realizada com o densímetro de Bouyoucos, conforme a metodologia exposta no trabalho da Embrapa (1997).

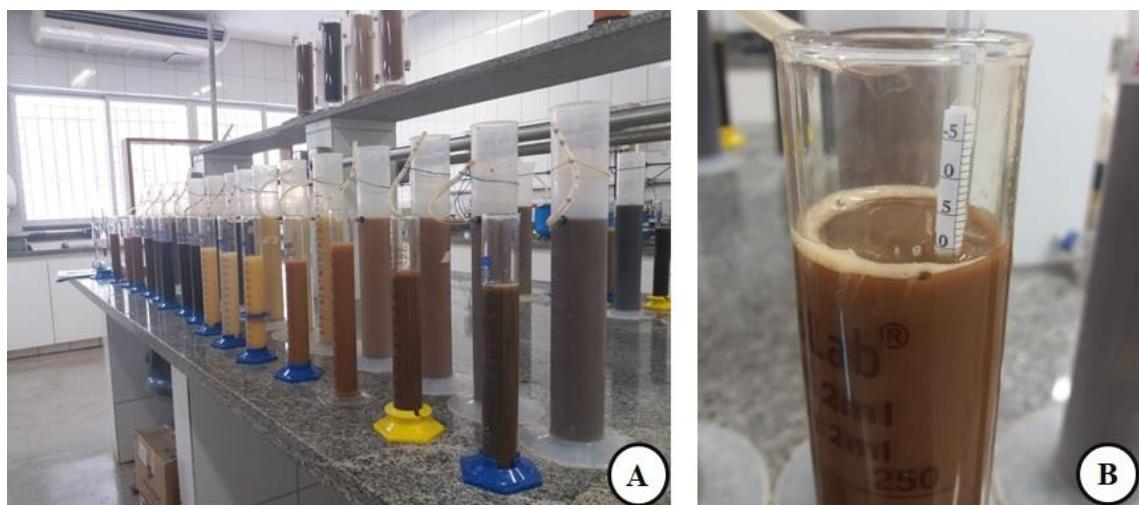


Figura 56. Amostras de solo dentro das provetas de 500 ml para realizar as leituras (A). Leitura com Densímetro de Bouyoucos dentro de uma das provetas de 500 ml (B).

2.2.5 Atributo químico - Fertilidade do solo

O total de amostras analisadas quanto à fertilidade dos solos foi de 30 amostras, das quais 10 amostras foram coletadas de 0 a 20 centímetros e 20 amostras relacionadas ao perfil de solo "P1N" e perfil "P1F".

Para determinar a fertilidade do solo da área de estudo, analisou-se os macronutrientes biodisponíveis para as raízes das plantas e índices: Matéria orgânica (M.O.), Potencial Hidrogeniônico (pH), Potássio (K^+), Fósforo (P); Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Acidez trocável (H^+ e Al^{3+}), troca de cátion (CTC efetiva), saturação em alumínio (m%) e percentagem de saturação por bases V%, utilizando os procedimentos metodológicos recomendados pela Embrapa (2017).

As análises foram realizadas no do Laboratório de Química dos solos (LQS) da Escola de Agronomia (EA) da Universidade Federal de Goiás (UFG). Para determinar a concentração de Matéria orgânica (M.O.), aplicou-se dicromato de potássio em meio úmido para oxidar a M.O e posterior uso de solução de sulfato ferroso amoniacial.

Em suma, para mensurar os elementos Potássio (K^+) e Fosforo (P) utilizou-se solução de *Mehlich-1* e espectrofotometria de chama. O Cálcio (Ca^{2+}) e o Magnésio (Mg^{2+}) foram determinados por extração com solução KCL 1 mol.L⁻¹ e espectrometria de absorção atômica. O Fósforo (P) foi quantificado com base na formação de complexo fósforo-molibdato com ácido ascórbico e determinação por espectrofotometria (EMBRAPA, 2017).

Para mensurar a acidez trocável (H^+ e Al^{3+}), o princípio aplicado é a extração da acidez potencial do solo com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinação volumétrica com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. A CTC efetiva foi calculada em pH natural do solo, somando as quantidades dos cátions trocáveis: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+} (EMBRAPA, 2017).

O equipamento usado para determinar o Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), acidez trocável (H^+ e Al^{3+}), troca de cátion (CTC), saturação em alumínio (M%) foi o *Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrometer* (Figura 57A). Para calcular as percentagens de Potássio (K^+), empregou-se o *Espectrofotômetro Corning 400 Flame Photometer* (Figura 57B). O equipamento destinado para determinação do Fósforo (P) e à Matéria orgânica (M.O.) é utilizado o equipamento Espectrofotômetro UV/VIS com comprimento de onda de 660 nanômetros, *Electronic 20* (Figura 57C), e por fim estimou-se o potencial Hidrogeniônico (pH) com o *Phmetro Digimed DM20-digigrone* (Figura 57D).

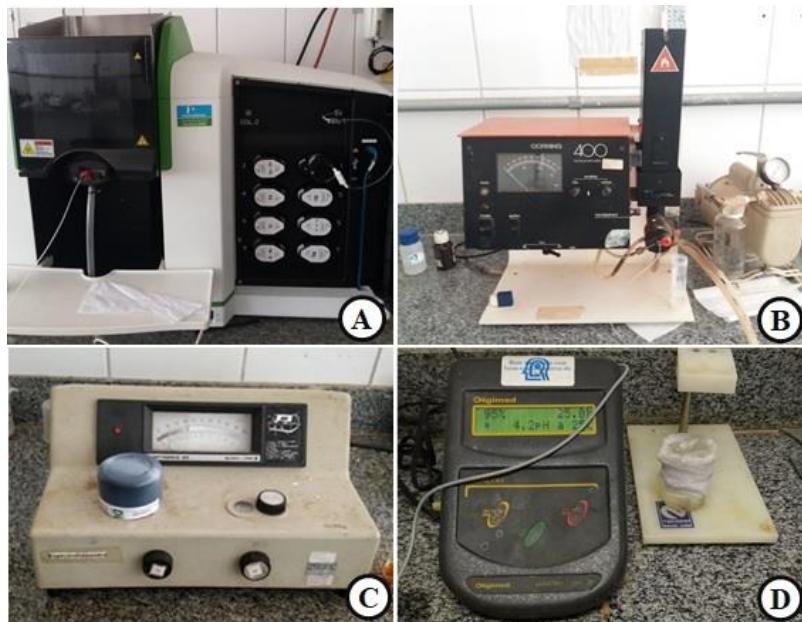


Figura 57. Instrumentos utilizados para realizar as análises da fertilidade dos solos. *Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrometer* (A); *Espectrofotômetro Corning 400 Flame Photometer* (B); *Espectrofotômetro UV/VIS com comprimento de onda de 660 nanômetros, Electronic 20* (C); *Phmetro Digimed DM20-digigrone* (D).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dendrogeomorfologia

As raízes da área de estudo, quando expostas apresentam alterações morfológicas como aumento abrupto na largura dos anéis de crescimento associados com cicatrizes. Nas observações anatômicas foram observadas em uma mesma raiz duas cicatrizes ou dois aumentos repentinos nos anéis de crescimento, ou então a presença de uma cicatriz com aumento na largura do anel de crescimento, todas essas condições foram observadas por até 3 (três) árvores em um mesmo ano (Figura 58).

O gráfico da figura 58 apresenta os anos que houve exposição radicular, observados através das alterações anatômicas como do número de cicatrizes e aumento abrupto na largura dos anéis de crescimento. Os anos em que esses sinais anatômicos nas raízes expostas ocorreram com maior frequência são 2006, 2010, 2012 e 2013. Destes anos, os que mais se destacaram foram 2006 e 2013 com 6 raízes com evidências anatômicas do processo erosivo e 2010 com 7 raízes (Figura 58).

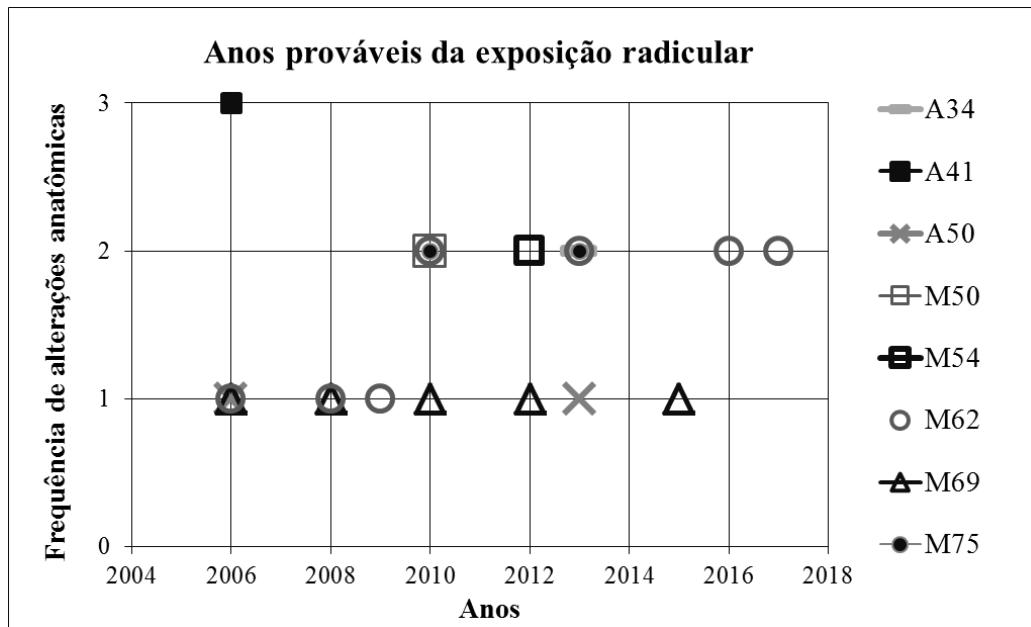


Figura 58. Anos da exposição radicular pelas alterações anatômicas nas raízes expostas de *S. morototoni* e *A. macrocapa*. Os anos de exposição são caracterizados pelo número de cicatrizes e aumento abrupto dos anéis de crescimento.

Os resultados indicam que a média da idade das plantas dos grupos amostrais é de aproximadamente 20 anos, possibilitando a avaliação da evolução dos processos erosivos da área de estudo (Tabela 5).

Tabela 5. Grupo amostral das raízes, correlação no software COFECHA e idade máxima das raízes.

Espécies	ID das raízes	Correlação crítica COFECHA	Correlação COFECHA	Idade Máxima
<i>A. macrocapa</i>	Raízes expostas	0.5155	0.521	23
	Raízes enterradas das árvores com exposição	0.5155	0.543	19
	Raízes das árvores testemunhas	0.5155	0.622	25
<i>S. morototoni</i>	Raízes expostas	0.5155	0.516	14
	Raízes enterradas das árvores com exposição	0.5155	0.520	19
	Raízes das árvores testemunhas	0.5155	0.619	18

As séries de largura de anéis de crescimento das raízes de *A. macrocapa* e *S. morototoni* apresentaram correlações mais altas que a crítica definida pelo software COFECHA. Sobre este resultados é importante destacar que as raízes testemunhas, do grupo de árvores sem alterações geomórficas do nível dos solos, apresentaram correlações superiores aos demais grupos amostrais. Esse fato, evidencia que os processos erosivos

alteram os padrões de crescimento radial das raízes das árvores das espécies, reduzindo a correlação entre as séries cronológicas individuais.

A explicação mais plausível, para as maiores correlações nos grupos amostrais das raízes testemunhas, é que devido a menor excentricidade do eixo das raízes testemunhas, houve maior sincronicidade da largura dos anéis de um ano em relação ao outro, porque o valor da largura dos anéis de crescimento foram mais similares da raiz de uma árvore em relação à outra no grupo das testemunhas. Entretanto, efeito análogo foi encontrado nas raízes expostas. Por esse fator, nas raízes expostas a formação de lenho de reação é mais acentuada devido à exposição radicular pelo efeito da erosão hídrica, como pode ser observado na figura 59.

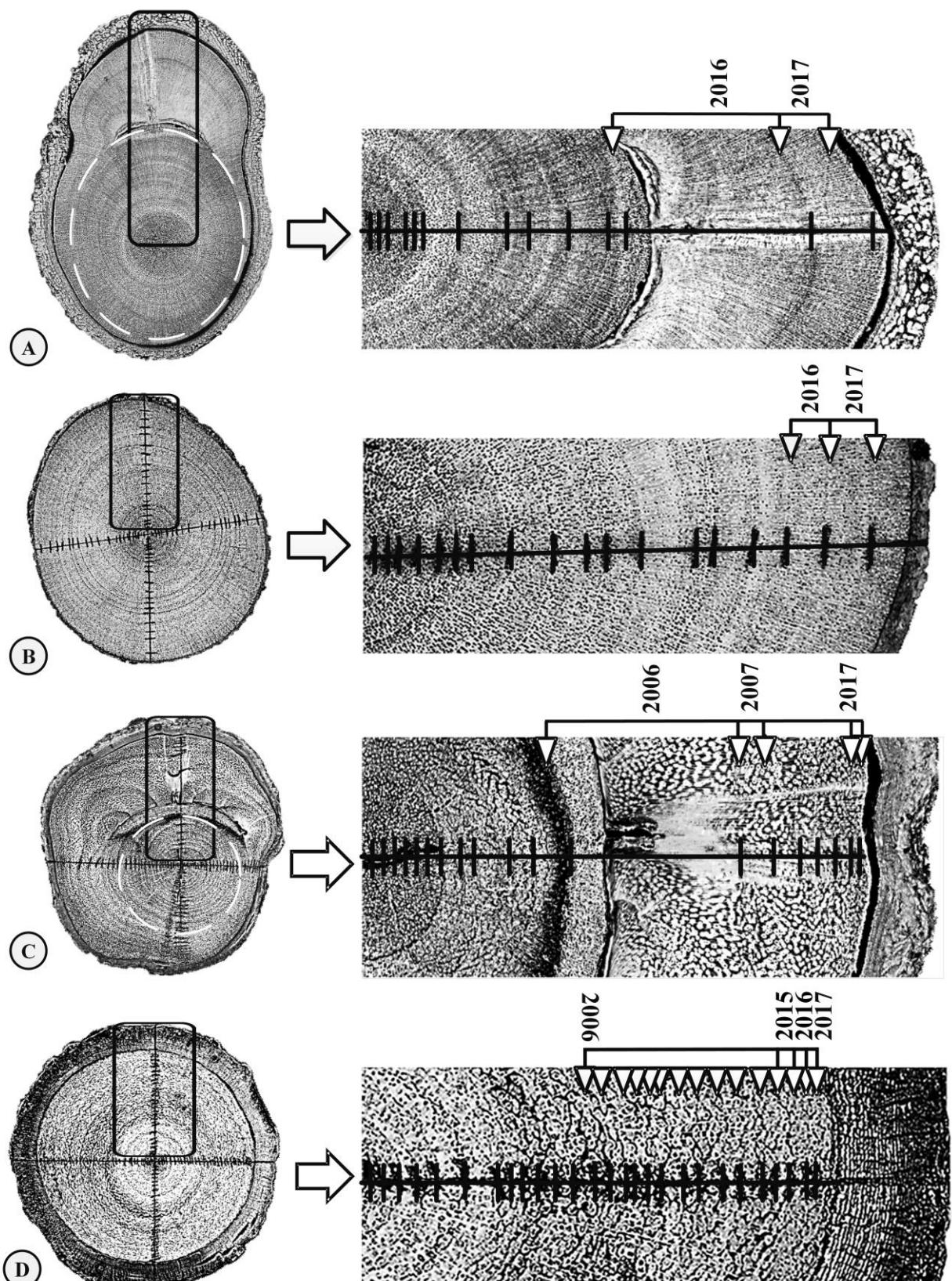


Figura 59. Evidência de cicatriz na amostra de raiz exposta de *S. morototoni* no ano de 2016 (**A**); Amostra de raiz enterrada de árvore no nível normal do solo (testemunha) de *S. morototoni* (**B**); Cicatriz formada no lenho da espécie de *A. macrocapa* no ano de 2006 (**C**); Amostra de raiz enterrada de árvore no nível normal do solo (testemunha) de *A. macrocapa* (**D**). A linha pontilhada demonstra o início da excentricidade nas raízes expostas (**A; C**).

Os anos com maiores evidências das exposições radiculares podem ser estimados através das cicatrizes, que são causadas geralmente pelo atrito causado pela enxurrada, principalmente porque 98% das árvores com evidência de erosão estavam na encosta com processo erosivo na forma de voçoroca e com raízes para fora da encosta (Figura 60A e B).



Figura 60. Raízes expostas de árvores de *S. morototoni* na encosta do processo erosivo caracterizado como voçoroca da Área I do Jardim Botânico de Goiânia/GO (A) e (B).

Como pode ser observado na figura 59, existe o aumento abrupto da largura dos anéis de crescimento assim como da evidência de cicatrizes no lenho das raízes, nos anos de exposição das raízes, causada pela enxurrada. As alterações anatômicas do lenho das raízes observadas na figura 60 são exemplos de que o processo de erosão hídrica ocorreu, de forma expressiva, em árvores de *S. morototoni*, no ano de 2016 e em *A. macrocapa* no ano de 2006.

3.2 Chuvas erosivas e exposição radicular

As plantas crescem com aumento repentino de água no solo em um mesmo ano, posterior a época da seca (SANTOS e CARLESSO, 1998). No entanto, a impermeabilização dos solos potencializa a velocidade da enxurrada, que podem levar a erosões hídricas de grandes proporções e provocar mudanças repentinhas no crescimento das plantas, quando essas, muitas vezes, afetam e expõem suas raízes.

Diante do exposto, ao analisar o lenho das raízes expostas identificou-se que as espécies estudadas apresentaram aumento abrupto da largura dos anéis de crescimento e em conjunto a esse fator a ocorrência de cicatrizes no lenho das raízes influenciadas pela exposição radicular, que ocorreram nos anos 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2016 e 2017, constitui-se como indicadores importantes para datar o início do processo erosivo dos solos.

Na figura 61, nos anos de 2012, 2013, 2016 e 2017, observa-se uma relação linear entre o número de evidências de erosão hídrica dos solos pelas cicatrizes e aumento abrupto da largura dos anéis de crescimento das raízes com o número de precipitação máximas nos intervalos de 5 a 60 minutos.

Como podem ser observadas as setas de cor preta, destacam os anos que são caracterizados pela presença de cicatrizes nas raízes expostas (Figura 61).

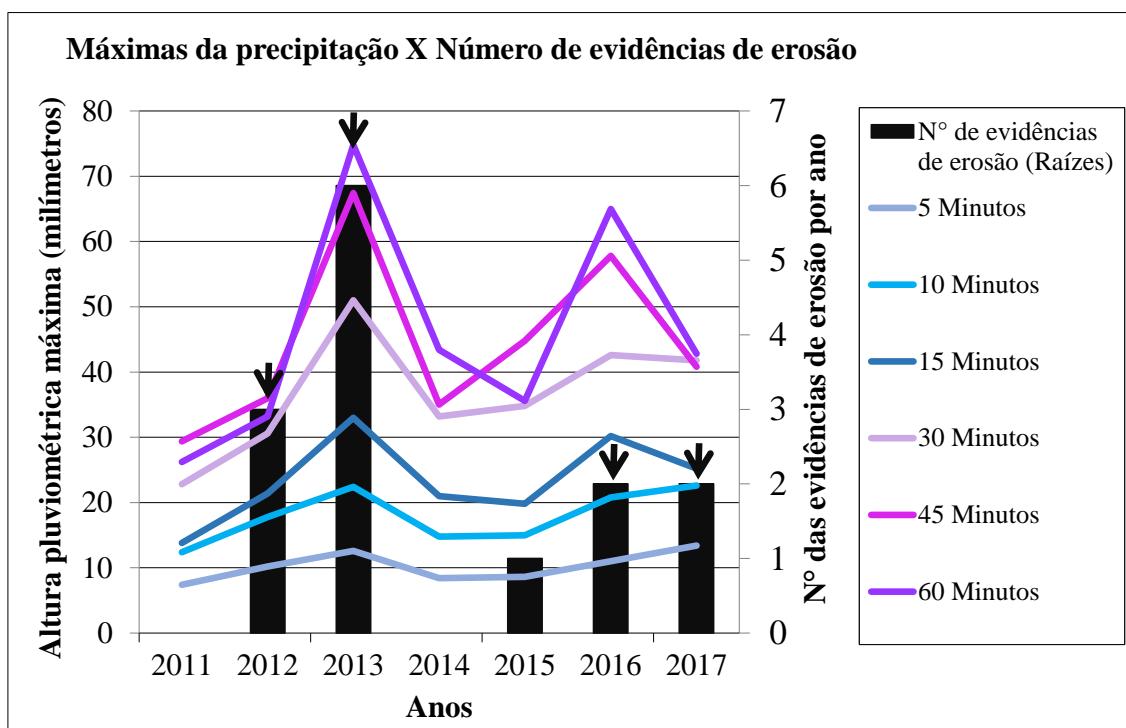


Figura 61. Eventos pluviométricos extremos de curta duração com intervalo de 5 minutos a 60 minutos e correlação com número de evidências de erosão hídrica observados pela largura dos anéis de crescimento e cicatrizes em raízes expostas. Setas de cor preta: Cicatrizes.

Os anos relacionados às chuvas de intensidade máxima de curta duração foram os anos de 2013 e 2016, com eventos pluviométricos elevados de 60 e 80 milímetros em 1 hora, que podem ter causado o surgimento de processos erosivos e, consequentemente, cicatrizes nas raízes nestes anos (Figura 61).

A intensidade da precipitação também foi avaliada em 24 horas/mm/ano (Figura 62), cujo número de evidências de erosão pelas raízes expostas coincide em determinados anos com precipitação intensa, como 2006, 2008, 2009, 2010, 2012 e 2016.

Nestas datas os totais pluviométricos ultrapassaram 100 milímetros em 24 horas, que pode ser classificada como chuva intensa.

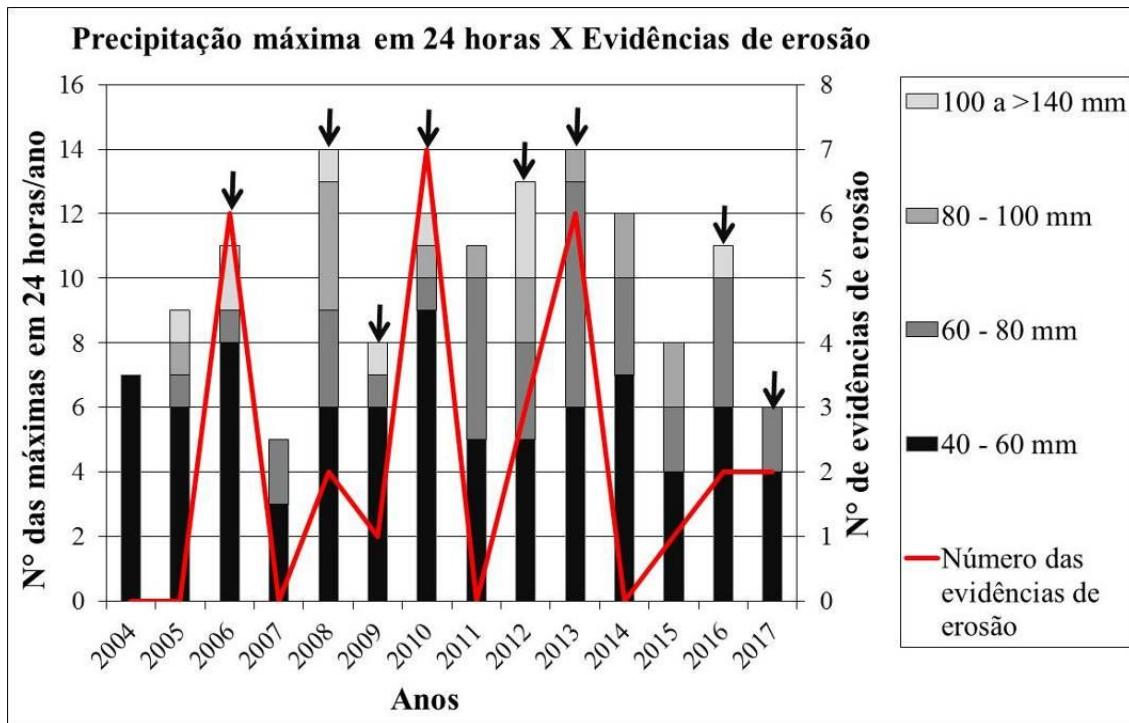


Figura 62. Eventos pluviométricos extremos em 24 horas/mm/ano e correlação com número de evidências de erosão hídrica observados pela largura dos anéis de crescimento e cicatrizes em raízes expostas. Setas de cor preta: Cicatrizes. Fonte: (CPRM).

Acredita-se que o ano de 2013 pode ter sido determinante para as maiores perdas verticais de solos por erosão, por possuir maior número de eventos de 60 a 80 milímetros registrados do que os demais anos. Assim como do ano de 2008 com maiores freqüências das chuvas de 80 a 100 milímetros e de 2012 com freqüências maiores das chuvas de 100 a maior que 140 milímetros de chuvas (Figura 62). Observa-se a correlação destes anos citados com a identificação de erosão no lenho das raízes expostas, principalmente pela formação de cicatrizes nas raízes, evidenciadas pelas setas de cor preta, que pode ser visualizada no gráfico das figuras 61 e 62.

Para os anos citados a maior altura pluviométrica registrada é do ano de 2016, com máxima em 24 horas de até 164 milímetros, e 2009 com 173 milímetros, enquanto os demais anos permaneceram com média de 120 milímetros.

A correlação entre número de evidências de erosão através do lenho das raízes expostas com a precipitação em 24 horas/mm/ano no intervalo de 40 a 60 mm, é a mais elevada com 0,55, enquanto para os demais intervalos de precipitação de 60 a 80 e 80 a 100 observou-se relação negativa. Entretanto para o intervalo de 100 a maior que 140 milímetros a correlação foi de 0,4.

Foram verificadas 161 chuvas erosivas individuais maiores que 10 milímetros em 15 minutos, e 349 chuvas não erosivas menores ou iguais 6 milímetros em 15 minutos, para o

período de 2011 a 2018. As chuvas com maior potencial erosivo compreendem-se no ano de 2012, 2013 e 2018, com destaque para o ano de 2013 com 68 eventos (Figura 63).

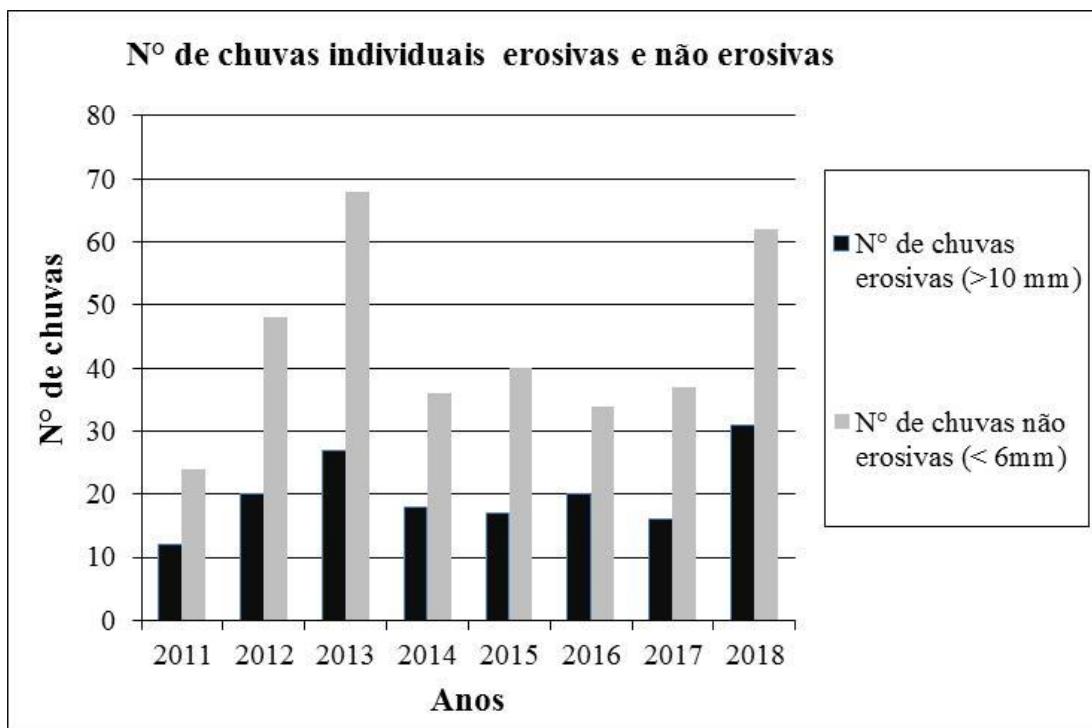


Figura 63. Chuvas individuais erosivas e chuvas não erosivas. Fonte: (Pluviógrafo instalado a 500 metros da área de estudo).

Os anos que melhor se correlacionam com número de cicatrizes nas raízes expostas e crescimento abrupto, em resposta à erosão hídrica, são: 2012, 2013, 2016 e 2017, conforme a figura 64.

A correlação entre o número de observações de erosão pelo lenho das raízes expostas com o número de chuvas individuais erosivas, figura 64 se mostrou significativa com valores de 0,9.

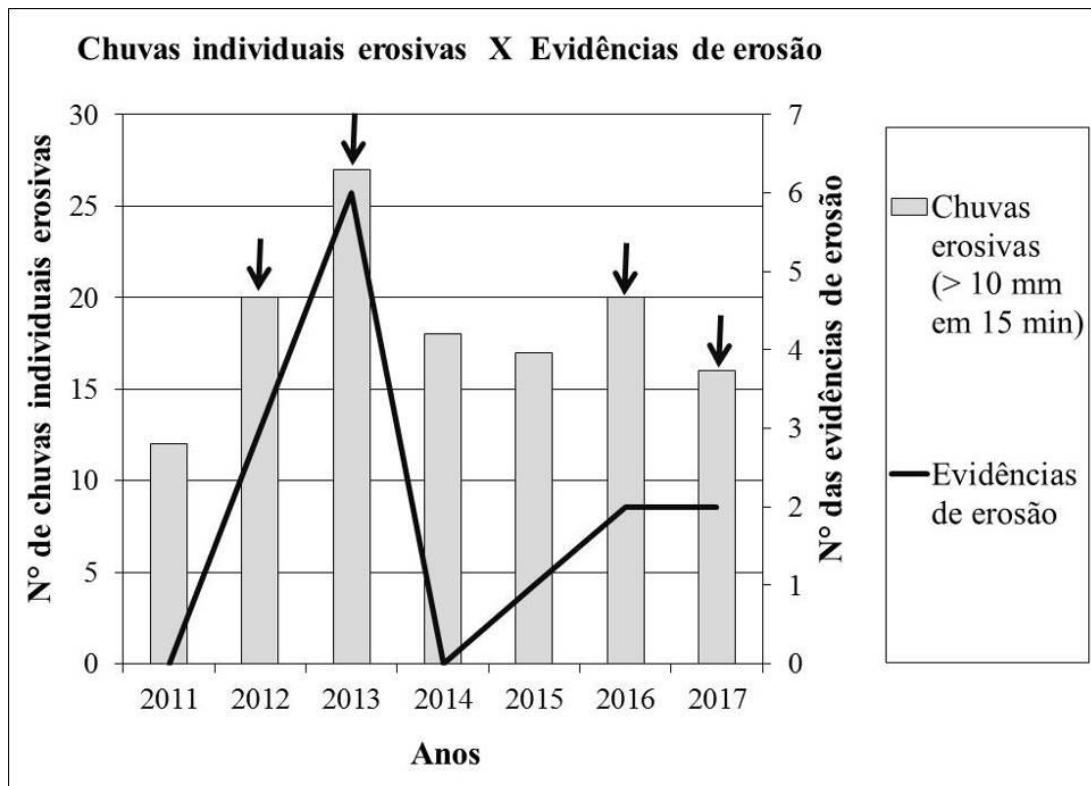


Figura 64. Chuvas individuais erosivas pelo método de (CABEDA 1976; WISCHMEIER & SMITH, 1978; CARVALHO et al., 1989) e correlação com número de evidências de erosão observados pela largura dos anéis de crescimento e cicatrizes no lenho das raízes expostas. Setas de cor preta: Cicatrizes. Fonte: (Pluviógrafo instalado a 500 metros da área de estudos).

As chuvas erosivas, definidas por Hudson (1981), em regiões tropicais, que são aquelas maiores que 25 mm.h^{-1} , foram avaliadas e apresentaram correlação elevada de 0,7 em relação ao número de erosões hídricas averiguadas pela presença de cicatrizes e da largura dos anéis de crescimento (Figura 65).

As chuvas de 25 a 40 mm.h^{-1} e 45 a 60 mm.h^{-1} apresentaram correlações de 0,6 e 0,2, respectivamente, enquanto as precipitações maiores que 60 mm.h^{-1} , resultaram em correlação de 0,5. Portanto, a maior correlação de todos os intervalos averiguados conforme exposto na figura 65, é aquela maior que 25 mm.h^{-1} , estimada em 0,7.

Essa afirmativa pode ser confirmada na figura 65, pela melhor sincronicidade da linha em vermelho intitulada como número de evidência de erosões com o número de chuvas erosivas determinadas por Hudson (1981) sendo aquelas maiores que 25 mm.h^{-1} .

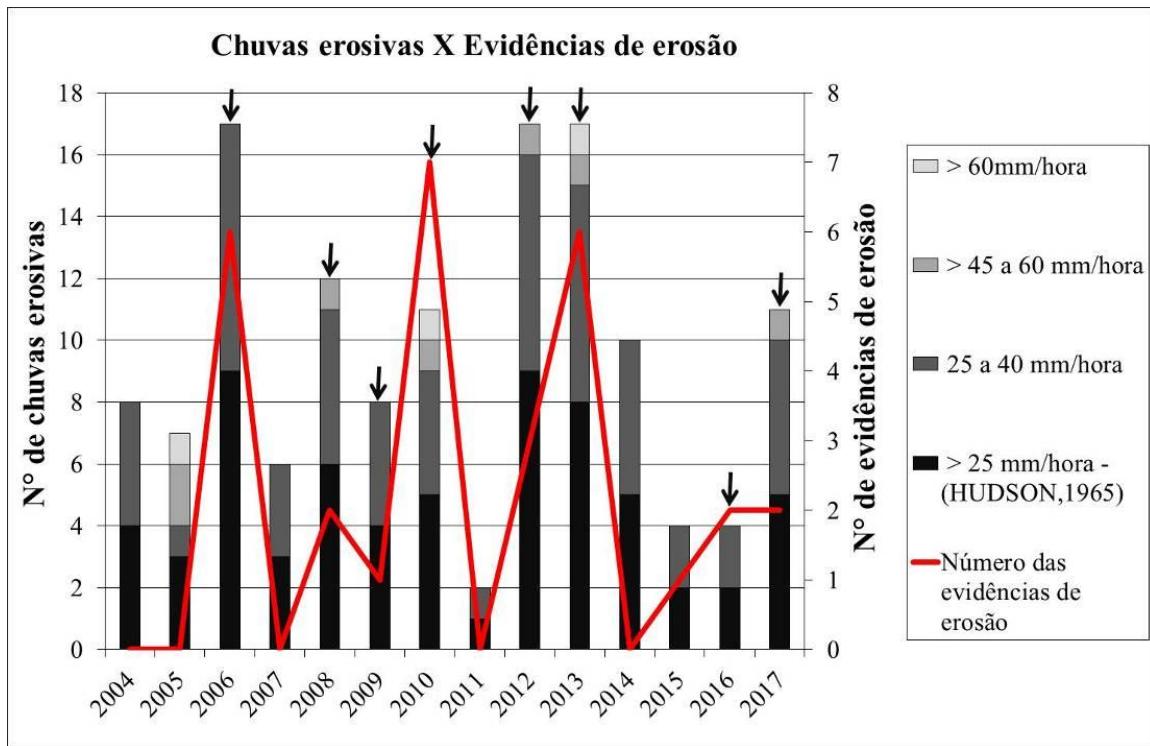


Figura 65. Relação entre o número de chuvas erosivas selecionadas pelo método de HUDSON (1965) e o número de evidências de erosão observado pela largura dos anéis de crescimento e cicatrizes no lenho das raízes expostas. Setas de cor preta: Cicatrizes. Fonte: INMET.

Os resultados evidenciam que as chuvas em intervalos de 1 hora possuem maior potencial para desagregação das partículas do solo nos intervalos maiores que 25 mm/hora e nos maiores de 60 milímetros/hora.

Bovi (2013) obteve resultados distintos, pois ao comparar as chuvas erosivas com a presença de cicatrizes no lenho das raízes expostas como indicativo do ano de ocorrência de erosão hídrica, não observou relação entre essas variáveis.

Segundo a autora, a inexistência dessa relação provavelmente é explicada pela distância de cerca de 12 quilômetros entre a estação meteorológica e a sua área de estudo, uma vez que a estação meteorológica pode não ter registrado alguns eventos chuvosos de alta intensidade ocorrido próximos às árvores amostradas e que poderiam ser determinantes para a formação das cicatrizes.

3.3 Descrição morfológica

O perfil '^P1N` da Área I apresenta feições hidromórficas de oxirredução, devido às variações do nível do curso hídrico, caracterizado pela presença de rio intermitente que contribui para a formação de plintita no horizonte B1 (Figura 66).

A descrição morfológica deste perfil permitiu identificar a ocorrência de 9 horizontes/camadas (Figura 66). Nos primeiros 80 centímetros, nota-se a presença de camadas

mais avermelhadas relacionadas à deposição de sedimentos, com restos de lixo provenientes de ambientes antrópico e possível aterro. Esses indicativos demostram que esse perfil de solo não tem unicamente características de solo natural, mas com aparência de solo alterado por causas antrópicas. Essas alterações representadas pelas camadas avermelhadas, com estrutura de fraca a moderada, está intimamente relacionada à textura quando analisada *in loco* averiguadas por percepções sensoriais como o tato, como de areia grossa, principalmente das camadas de 0 a 40 centímetros e diminuição gradual da fração arenosa em profundidade.

Esse indicativo de presença de areia nas camadas mais superficiais tem relação com os solos serem menos coesos de tamanho pequeno a médio e consistência muito friável e agregados de grau fraco, na profundidade de 0 a 50 centímetros. Em contraponto, nos horizontes e camadas mais profundas a estrutura começa a ficar mais coesa na profundidade de 50 a 80 centímetros, com grau de moderada a fraco.

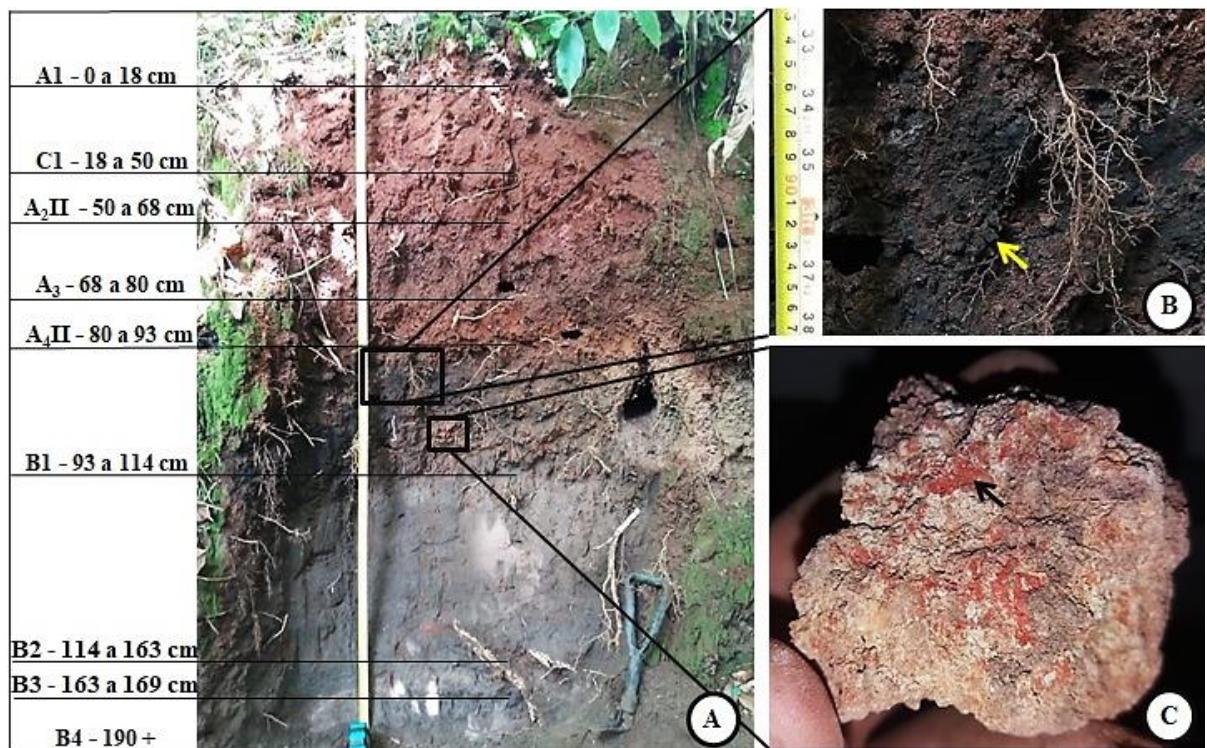


Figura 66. Perfil da Área I intitulado ´P1N` (Plintossolo) com profundidades das camadas/horizontes (A); Matéria orgânica e presença de carvões de aproximadamente 1 centímetro de diâmetro no horizonte A enterrado e posteriormente no B1 (B) Presença de mosqueados no horizonte B1 de 93 a 114 cm (C). Classificação prévia dos solos do perfil P1N realizado *in loco*.

No perfil P1N, da figura 66, é possível observar que as cores mudam drasticamente a partir de 93 centímetros de profundidade no horizonte A₄II. A transição é abrupta de um solo vermelho alaranjado para preto, com resquícios de carvão de até 1 centímetro de diâmetro encontrados nos horizontes B1 e que pode estar relacionado a presença de queimadas em anos anteriores. Além disso, o primeiro horizonte A soterrado está situado no intervalo entre 80 a

93 centímetros, devido ao acúmulo de sedimento de coloração mais avermelhada. Portanto percebe-se que o solo começa a apresentar aspectos naturais somente deste intervalo de profundidade em diante. O solo apresenta estrutura granular e granular a blocos subangulares de tamanho pequeno e pequeno a médio e grau fraco e moderado a forte nos horizontes em relação a todo o perfil. Da profundidade de 0 a 80 centímetros o solo tem consistência seca descrita como ligeiramente dura a macia e consistência úmida muito friável a firme.

No intervalo de 0 a 80 centímetros de profundidade, as camadas representam o acúmulo de sedimentos pela ação antrópica, porque foi encontrado restos de lixo neste intervalo.

As condições da consistência começam a mudar com diferenças maiores do horizonte de 80 a 114, onde existe a presença de plintita, que se refere aos horizontes A₄II e B1. Neste intervalo de profundidade, a consistência seca é muito dura a muito firme e a consistência úmida é muito firme.

O perfil P1N da Área I, a cor úmida é variegada de alaranjada a vermelha, com matiz de 5YR a 2,5 YR e croma que varia de 2.5/1 a 4/6. Foi verificada a existência de horizonte Glei no B2, B3 e B4 de 114 a 169 centímetros com cores nos matizes 2.5 YR com variações de croma de 2.5/1 a 5/1.

O perfil de solo "P1F" da Área II do Jardim Botânico possui 5 (cinco) camadas que foram depositadas ao longo do tempo, advindas do processo de transporte de material mineral de montante e totalizam espessura de 64 centímetros de sedimentos (Figura 67). Essas camadas de coloração avermelhada não possuem prosseguimento ao longo da encosta da nascente até a foz do rio, desaparecendo a apenas alguns metros deste ponto.

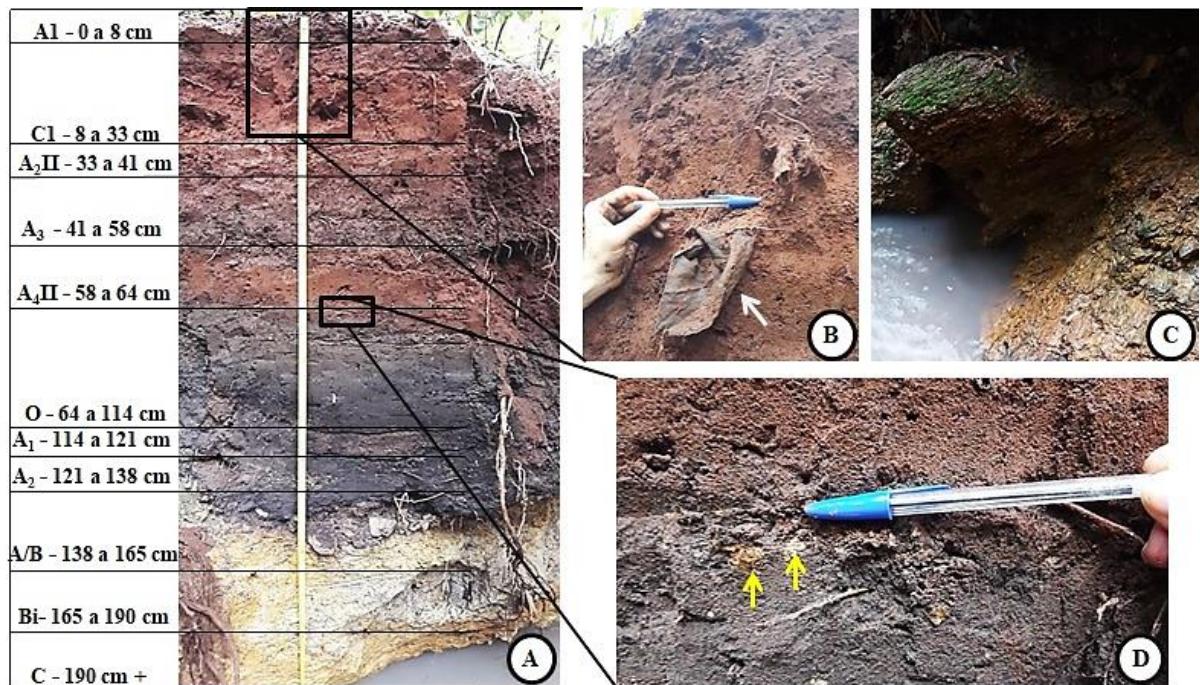


Figura 67. Perfil da Área II ‘P1F’ (Cambissolo) com profundidades das camadas/horizontes (A); Restos de materiais descartáveis na camada superficial C2 de 8 a 33 cm (B); Afloramento na calha do rio de rocha de xisto a 2 metros de distância do perfil de solos (C); Setas amarelas indicando a existência de fragmentos de muscovita/xisto de até cerca de 1 centímetros no horizonte B2 de 64 a 114 centímetros (B).

Outra evidência são os materiais de descarte como tecidos que foram encontrados até 33 centímetros de profundidade, que podem ter sido transportados pela enxurrada. Portanto, os únicos horizontes que são mais prováveis de serem formados naturalmente são os horizontes de 64 a 190 cm ou mais profundos (Figura 67).

O perfil de solos da Área II ‘P1F’ possui horizonte Bi que é pouco desenvolvido após o horizonte A orgânico. O solo original com os horizontes naturais abrange aproximadamente 1 metro de solo, sendo sua rocha matriz o xisto e contendo na matriz do perfil fragmentos de muscovita/xisto no horizonte B, conforme a figura 67 e estrutura maciça no horizonte A/B, Bi e C, nas profundidades de 138 a 190 centímetros.

É importante ressaltar que ambos os perfis amostrados não são solos originais, porque tem evidências de distúrbios e alterações antrópicas, como por exemplo, das camadas do P1F e P1N até 64 a 80 centímetros serem derivadas de deposição de sedimentos de montante ou de aterro. Ambos os perfis estão em declividades de 20% ou mais e em ruas cumpridas e esses atributos podem condicionar a maior velocidade do fluxo hídrico e acúmulo de sedimentos, do que relevos planos e não impermeabilizados.

Na porção a montante da localização do P1F casas e lotes começaram a ser construído em meados de 1968 e em 1975, o mapa de uso e ocupação das terras derivado das imagens aéreas demostram ravinamentos de grande extensão, aproximadamente 500 metros, que

provavelmente podem ter sido aterradas, pois desaparecem em 1988. Essa evidência pode explicar o porquê do grande acúmulo de sedimentos no perfil P1F.

O mapa de uso do capítulo II deixa claro que em 1964, nas imediações do perfil P1N, houve grandes áreas de solos expostos a montante, provavelmente relacionado ao início das construções urbanas e isso pode ter resultado no acúmulo de até 80 sedimentos que foram medidos e registrados anteriormente na figura 66.

3.4 Granulometria dos solos

O perfil de solo da Área I intitulado P1N, tem de 20 a 65% de areia. As maiores concentrações de areia se encontram nas camadas de 0 a 18 centímetros e de 163 a 169 centímetros com teores de 65%. Os teores de silte se encontram mais elevados na região intermediaria do perfil, especialmente em três camadas que variam de 50 a 93 centímetros, que corresponde à camada de 50 a 68 cm com 48% de 68 a 80 cm com 10% e de 80 a 93 cm com 46% (Figura 68). Que são valores considerados altos, e que ultrapassam as percentagens de areia e argila.

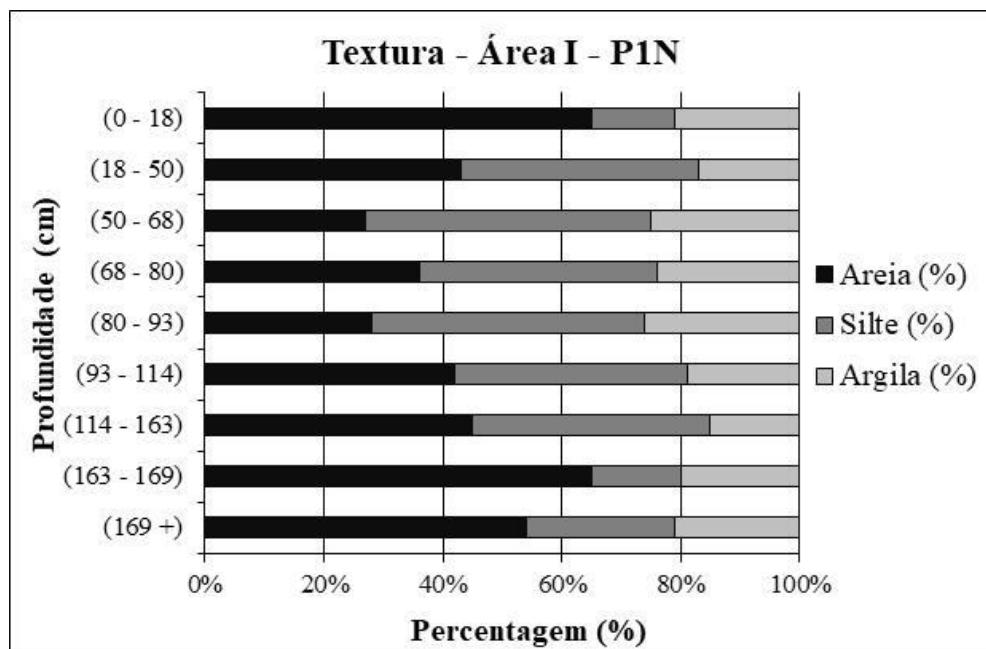


Figura 68. Textura de areia, silte e argila em solução de NaOH do perfil "P1N" da Área I do Jardim Botânico de Goiânia de Goiás.

É importante ressaltar que o silte apesar de ser maior que o tamanho das argilas, possui quantidade de cargas elétricas menores e por isso, pequena adesão entre si e, quando há quebra dos agregados, pelo impacto das gotas de chuva, são facilmente transportados pelo escoamento superficial ou subsuperficial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Em relação às percentagens de argila, encontra-se com maior concentração na porção intermediaria do perfil de 50 a 93 centímetros, com valores de 25 a 26%. As maiores variações no teor de argila são de 8% na transição das camadas de 18 a 50 e 50 a 68 centímetros (Figura 68). Contudo, essa variação não é pronunciada o suficiente para classificar como horizonte B textural.

Os maiores teores de areia e silte em superfície conforme pode ser observado na figura 70, denota que os sedimentos advindos das construções antrópicas de montante, podem ter sido transportadas pelas vias asfaltadas, tubulações de água pluvial e convergência do fluxo hídrico.

Normalmente os Cambissolos possuem elevadas concentrações de silte e areia e pequenas percentagens de argila (PEREIRA et al., 2010; EMBRAPA, 2018). A afirmação deste autor atribui maior certeza na classificação do Perfil P1F, como Cambissolo, já que esse perfil possui elevados teores de areia com abrangência de 49% a 75%. Enquanto os teores de silte também são elevados com extremos de 20 a 31% (Figura 69).

Apesar disso, ressalta-se que essas concentrações podem variar abruptamente ao longo das camadas e horizontes dos solos, e essa variação pode ser justificada pela influência do acúmulo de sedimentos provenientes do escoamento superficial ou de aterros relacionados a urbanização do entorno.

Nota-se que existe grandes variações nas percentagens de silte ao longo do perfil, que aumentam de 7 para 31% nas camadas de 0 a 58 centímetros, decaem de 18% para 4% nas profundidades de 58 a 121 centímetros voltam a aumentar na profundidade de 121 a maior que 190 centímetros (Figura 69).

Como pode ser observado na figura 69, existem maiores teores de areia nas camadas superficiais de 0 a 8 e 8 a 33 centímetros de profundidade, com percentagens de 73 a 74%. Isso significa altos teores de areia nas camadas superficiais e indica que pode estar relacionado ao transporte de sedimentos. Percentagens maiores que se destacam das demais camadas/horizontes, são claramente identificadas na porção de 114 a 121 centímetros do perfil com 75% de areia total. Por isso, percebe-se que o horizonte de 114 a 121 centímetros (Figura 69) ainda pode ter resquícios de acúmulo de sedimentos devido à urbanização e o solo original provavelmente começa somente após essa profundidade.

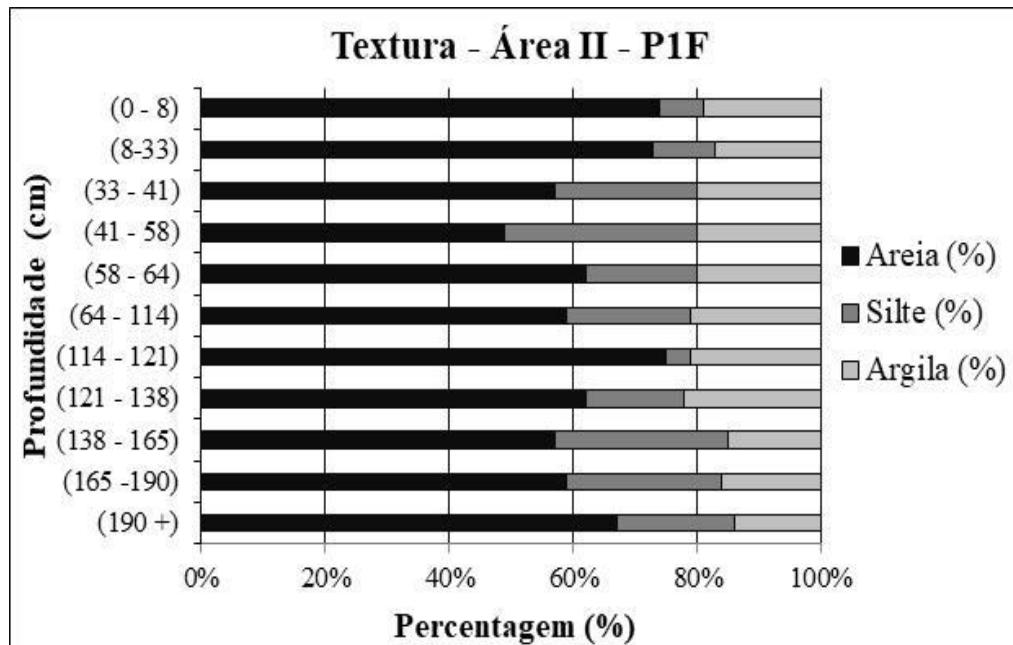


Figura 69. Textura de areia, silte e argila do perfil "P1F" da Área II do Jardim Botânico de Goiânia.

Os resultados das análises dos perfis P1F e P1N da área de estudo, indicaram que para o teor de areia os valores variam de 27 a 74%. As concentrações de areia são superiores ao teor de argila e silte e 50% ou mais do teor de areia correspondem a 65% das amostras, como pode ser observado na figura 68 e 69.

As análises de Mesquita (2014) foram realizadas a profundidades de até 40 centímetros e identificaram resultados semelhantes encontrados para a mesma área de estudo Jardim Botânico de Goiânia, porque obtiveram valores elevados do teor de areia que vão de 43 a 60 %, de silte de 23 a 11% e de argila de 25 a 33%.

Quando as frações de areia e silte são mais elevadas que as porcentagens de argila, os processos erosivos podem evoluir mais rapidamente e ter maior potencial a erodibilidade dos solos, porque as partículas não possuem cargas elétricas o suficiente para formar agregados estáveis como ocorre em solos argilosos e siltosos (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Essa afirmação pode ser comprovada na área de estudo, quando se observa que o Perfil da Área I do Jardim Botânico "P1F", comparativamente, considerando uma media de todos horizontes P1N, tem maior percentagem de areia e dimensões e velocidade mais acentuadas do processo erosivo do que o perfil da Área II "P1N", porque na Área I os valores de perda verticais de solos são de 500 milímetros por ano e na Área II são de 230 milímetros, conforme quantificado no capítulo II, pelas análises dendrogeomorfológicas.

3.5 Fertilidade

As amostras de 0 a 20 centímetros com identificação de P1 a P10 são amostras coletadas ao longo do declive da porção mais alta a mais rebaixada do relevo, conforme exemplificado anteriormente. As amostras do P1F e P1N são perfis de solos e possuem diversas camadas/horizontes.

Segundo a Embrapa (2018) os solos que possuem saturação por bases (V%), superiores a 50% são caracterizados como eutróficos e abaixo deste valor eutróficos.

Em relação às amostras superficiais de 0 a 20 centímetros, apenas 40% são consideradas eutróficas, porém as amostras dessa porcentagem possuem valores muito elevados de V%, que chegam a 91% (Figura 70).

Devido aos elevados índices de queimadas, aporte de resíduos sólidos, efluente proveniente de esgoto e aterro no fragmento florestal do Jardim Botânico de Goiânia se torna aceitável o fato dos valores das camadas ou horizontes mais superficiais de 0 a 20 centímetros, ultrapassarem 65% de saturação por bases (V%), que totalizam 33% das amostras (Figura 70).

Valores altos para o Potássio (K^+) são considerados acima de 60 cmolc. dm^{-3} , médios de 30 a 60 cmolc. dm^{-3} e baixos menores que 30 cmolc. dm^{-3} (SOBRAL et al., 2015). Neste quesito ao observar a figura 70, percebe-se que todas as amostras de 0 a 20 centímetros, possuem valores acima do aceitável, é 90% estão de 2 vezes ou mais o valor aceitável para o K^+ , e destaca-se uma das amostras em condições extremas deste elemento, caracterizada como P8 de profundidade de 0 a 20 centímetros, que tem 27 vezes acima do valor considerado alto, localizada na nascente da Área II.

Percebe-se que as amostras com maiores teores de potássio são as que foram coletadas na profundidade de 0 a 20 centímetros do que as observadas nos perfis de solo (Figura 70 e 71). Isso implica que os materiais de origem química da região urbanizada a montante da área de estudo, estão sendo transportados pelas redes de tubulação de água pluvial ou pela enxurrada e acumuladas na superfície dos solos do Jardim Botânico.

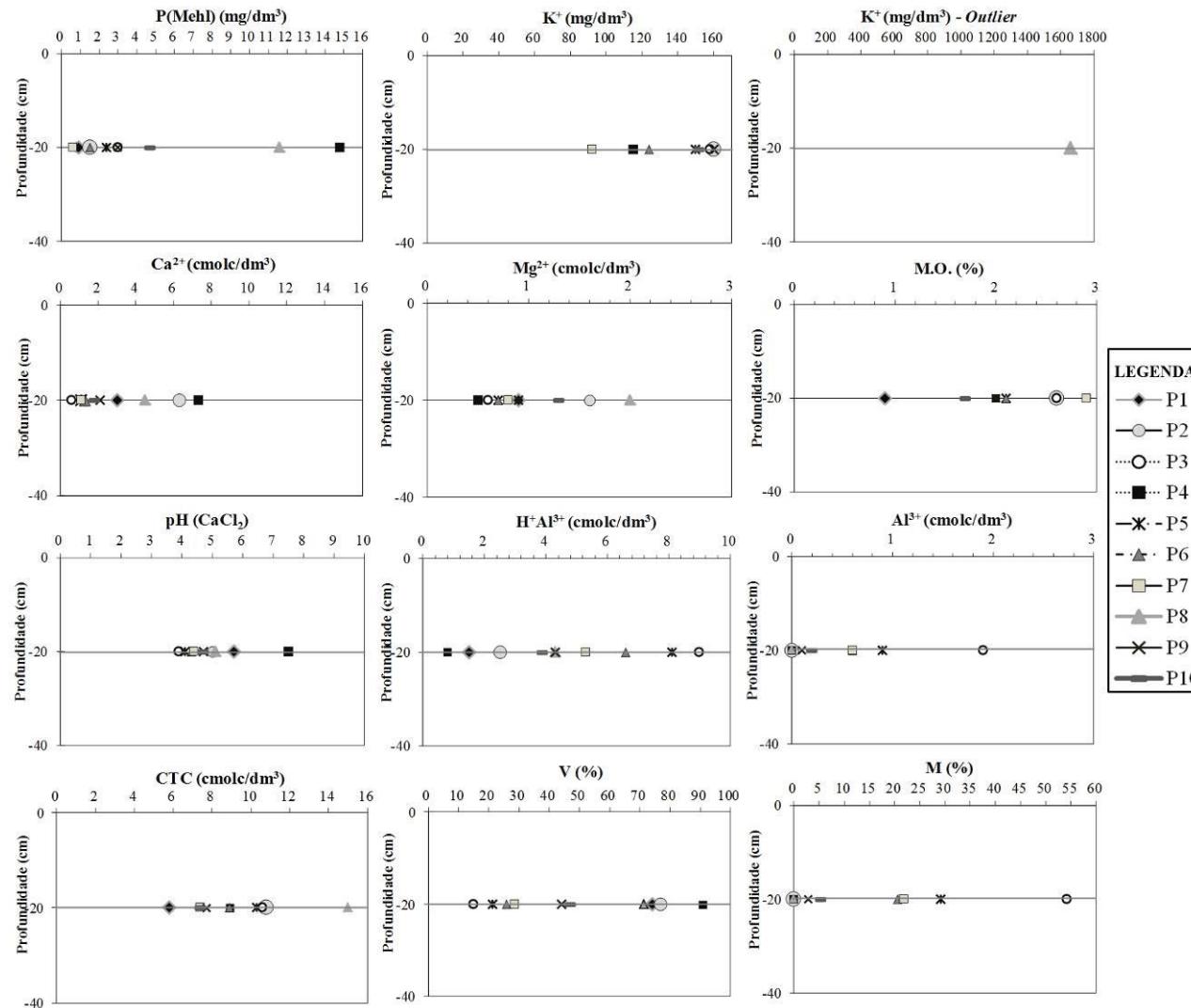


Figura 70. Concentração dos micronutrientes biodisponíveis no solo e matéria orgânica para as amostras de 0 a 20 centímetros de profundidade. Concentração em milimols de carga por decímetro cúbico de solo (mmolc.dm⁻³) e miligramas por decímetro cúbico de solo (mg.dm⁻³).

Segundo Lopes (1998) os teores dos elementos considerados altos para a V% são de 71 a 90%, enquanto para M.O são de maiores que 2,6 a 5,0 %, e CTC, maiores que 6 cmolc.dm³. Diante desses níveis, admite-se para os solos de 0 a 20 centímetros (Figura 70), que a V% e M.O são consideradas altas para 40% das amostras e em relação a CTC, 90% das amostras são consideradas com níveis altos.

Os solos das amostras de 0 a 20 centímetros de profundidade possuem totais de V% de 71 a 91% e Matéria Orgânica (M.O.) de 2.0 a 3.4% e CTC de 5,8 a 15 cmolc.dm³, conforme pode ser observado na figura 70.

Essas concentrações são maiores que as amostras dos perfis figura 71, porque se tratam de amostras coletadas na superfície do solo, locais onde a mata era muito fechada e principalmente porque material de efluentes advindo de montante como descarte de resíduos de esgoto podem ter contribuído com elevações no nível de carbono no solo.

Ressalta-se que como os teores de M.O dos solos de 0 a 20 centímetros (Figura 70) são maiores do que dos perfis de solos (Figura 71), logo a capacidade de troca de cátions (CTC) e V% também serão elevadas. Com uma CTC mais elevada logo os nutrientes também serão disponibilizados em maiores níveis para as plantas a exemplo dos cátions K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺.

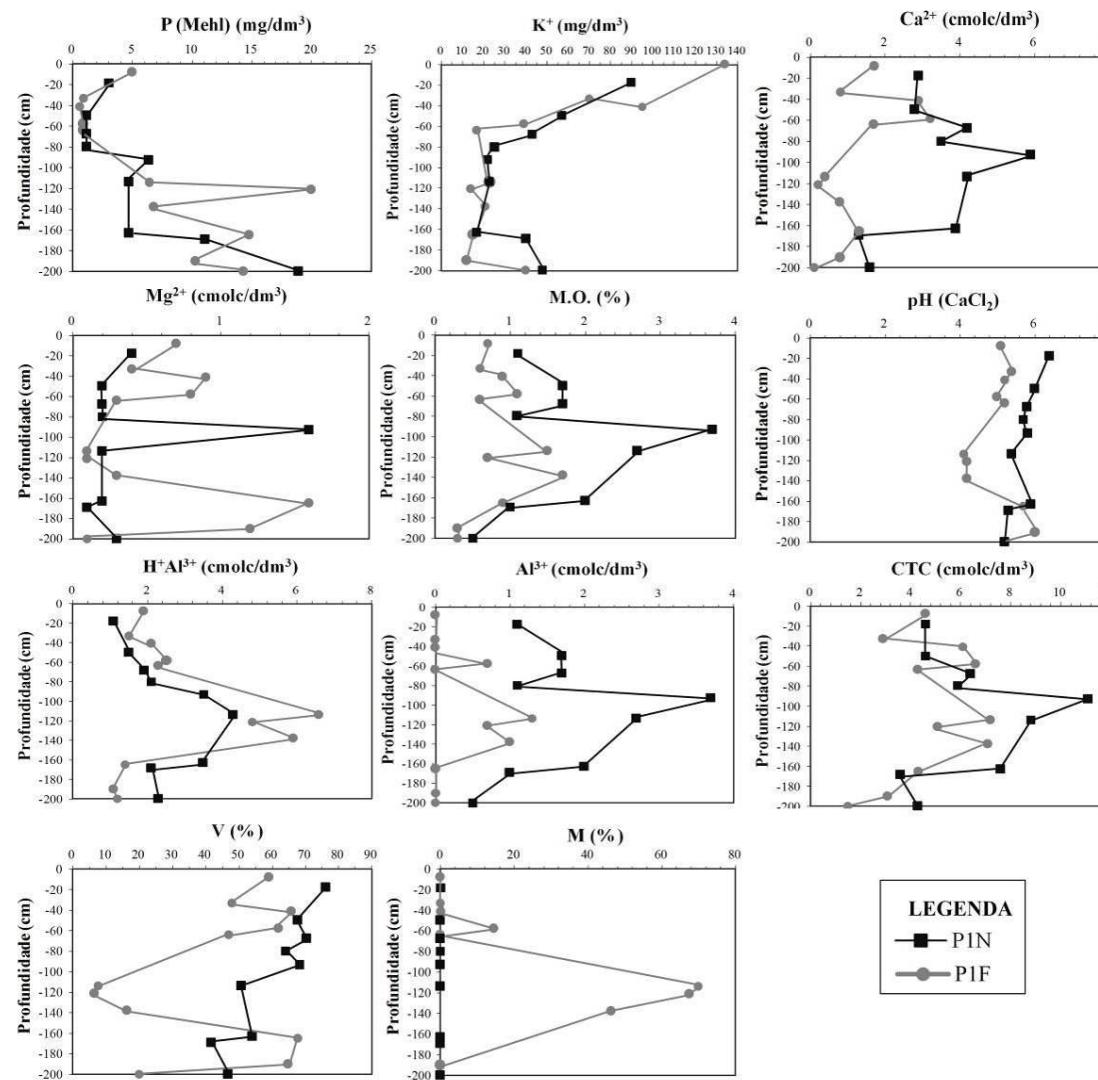


Figura 71. Concentração dos micronutrientes biodisponíveis no solo e matéria orgânica para os perfis de solos P1F e P1N. Concentração em milimols de carga por decímetro cúbico de solo (mmolc/dm³) e miligramas por decímetro cúbico de solo (mg/dm³).

A V% depende da capacidade de troca de cátions (CTC). Entretanto a CTC dos solos, podem variar em função da concentração das argilas minerais, substâncias húmicas e os óxidos de ferro e alumínio que possuem superfícies eletricamente negativas que se ligam a determinados macronutrientes a exemplo do Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ , Al^{3+} , que são característicos da elevada CTC dos solos tropicais (BRADY e WEIL, 2013).

Todas as amostras podem ser enquadradas em argilas de atividade muito baixa a moderadamente baixa, pois possuem CTC efetiva inferior a $17 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$, com valores de 4 a $8 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$, sendo que as amostras de 0 a 20 centímetros apresentaram CTC efetiva acima de $8 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$ (EMBRAPA, 2018).

Percebe-se que os perfis da área de estudo P1N e P1F, em 60% das amostras coletadas são classificados como eutróficas, enquanto as demais distróficas, conforme é exemplificado pelos níveis definidos pela Embrapa (2018), discutidos anteriormente (Figura 71).

A elevada matéria orgânica nos solos da área de estudo está relaciona ao fato da unidade de conservação Jardim Botânico, se constituir por mata densa e fechada, caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual.

A elevada matéria orgânica nos solos quando agregada com a superfície de minerais de argila que possuem cargas elétricas negativas, condicionam a formação de agregados nos solos mais estáveis, dificultando o carreamento dos solos pelo fluxo superficial e inibindo a erosão hídrica. Entretanto, as frações de areia possuem coesão muito baixa quando comparadas as partículas coloidais de argila.

A área de estudo possui maior percentagem de areia total do que argila, com percentagens máximas de 60 a 70% de areia, como exemplificado anteriormente, mas em contraponto os teores de M.O, se fazem maiores nas camadas superficiais de 0 a 20 centímetros e esse aspecto pode proporcionar redução da energia cinética das gotas das chuvas devido ao material vegetal em decomposição, restringir o destacamento das partículas do solo pelas chuvas mais intensas.

Elevadas quantidades de Potássio (K^+) que estão presentes no solo são mais lixiviados quanto maior for à quantidade de areia total, sendo que com essas características arenosas o solo é mais bem drenado e consequentemente a CTC no solo é menor (RAIJ, 1991).

Apesar do que foi considerado pelo autor, na área de estudo existe maiores percentagens de areia em relação à argila e silte, e, entretanto, as quantidades de Potássio (K^+), são muito elevadas, conforme discutido anteriormente. Essas evidências reforçam ainda

mais o fato de que grande parte dos teores de Potássio (K^+) são advindos da região urbanizada do entorno do parque.

Na figura 71, existem valores em nível altos para o Al^{3+} e compreende-se por 2 (duas) amostras do perfil - P1F, nos intervalos de 65 a 130 centímetros de profundidade, com mais de $1,0 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$, valores considerados baixos são menores que $0,5 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$ e representam mais de 70 % de todas as amostras coletadas (SOBRAL et al., 2015).

Com exceção do Potássio (K^+), os demais nutrientes e índices observados nas figuras 72 e 73, das amostras de 0 a 20 centímetros e dos perfis de solos, apresentam níveis aceitáveis para as condições dos solos do Cerrado brasileiro, considerados bastante intemperizados ou e fortemente ácidos. A exemplo do H^+Al^{3+} níveis bastante elevados são considerados maiores que $1,0 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$. Conforme a figura 70, somente 1 (uma) amostra, de identificação P4, resultou em valores abaixo de $1,0 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$, enquanto as demais estão de 2 a 9 vezes maior que o aceitável, mas que são valores normais para solos do cerrado (SOBRAL et al., 2015).

Para o Ca^{2+} , mais de 90% das amostras tem níveis normais com valores de 1,6 a 3,0 $\text{cmolc}.\text{dm}^{-3}$. Para o Mg^{2+} , maior percentual das amostras 95%, resultou em teores normais que variam de 0,4 a $1,0 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$ (SOBRAL et al., 2015).

Segundo Lopes, (1998) os níveis de fosforo (P) para os solos arenosos das regiões tropicais considerados baixos, são de 0 a 20 $\text{cmolc}.\text{dm}^{-3}$. Considerando isso, todos os pontos da área de estudo possuem valores que vão de 0,6 a 14,8 $\text{cmolc}.\text{dm}^{-3}$ e por isso são considerados com níveis baixos.

Os perfis de solo apresentaram pH variando de 5 a 6, enquanto as amostras de 0 a 20 centímetros de profundidade têm como maior predominância, os valores de pH entre 4,5 a 6. Esses valores segundo Brady e Weil (2013) enquadram os solos da área de estudo, como de acidez muito forte a moderada, que é uma condição observada nas regiões tropicais. Essas condições de acidez mais elevada, segundo o autor, podem estar também relacionadas a solos com muita matéria orgânica (M.O.) que reduzem o pH do solo.

3.6 Classificação dos solos

As análises de granulometria dos solos, fertilidade e das descrições morfológicas confrontadas com os parâmetros e atributos estabelecidos pela Embrapa (2018) para a classificação do solo, indica que o perfil P1N da área I (Sítio I) é classificado como Plintossolo Háplico eutrófico e P1F da área II (Sítio II) da área de estudo como Cambissolo Húmico álico.

Os Plintossolos da área de estudo foi classificado até o terceiro nível categórico como Plintossolo Háplico eutrófico, porque é um solo com o horizonte plíntico iniciando-se entre 100 cm a 140 cm da superfície do solo, mas não é pétrico porque não apresenta petroplintita e não é argilúvico, pois não existe camada de acumulação de argila abaixo do horizonte A superficial (EMBRAPA, 2018).

Diante da fertilidade dos solos exposto na figura 71, o perfil de solo "P1N" pode ser considerado como Plintossolo Háplico eutrófico com camadas antrópicas citados anteriormente, mas não pode ser enquadrando na classe dos alumínicos, porque é um solo com baixos teores de alumínio trocáveis (EMBRAPA, 2018). O Plintossolo da área de estudo, não é ácrico, porque a quantidade de soma de bases não é igual ou inferior a $1,5 \text{ cmolc} \cdot \text{kg}^{-1}$ e também não é êutrico, pois os valores de soma de bases devem ser $\geq 2,0 \text{ cmolc} \cdot \text{kg}^{-1}$ nem é argilúvico, porque não apresentam evidência de cerosidade nos horizontes B, e nem mesmo translocação de argila suficientes (EMBRAPA, 2018).

Segundo a Embrapa (2018) o Cambissolo é um solo que apresenta horizonte B incipiente com baixa saturação por bases (V%) ou argila de atividade baixa menor que $27 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$ de argila. Esses requisitos se enquadram no perfil da Área II do Jardim Botânico "P1F". Portanto, o perfil "P1F" (Figura 71), pode ser considerado como Cambissolo. De acordo com os valores de referência de Sobral et al. (2015), para o solos do cerrado brasileiro os valores menores que $5 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$ de CTC indicam baixo teor de argila ou predominância de argila 1:1 como a caulinita. Das amostras dos perfis 50% têm CTC abaixo de $5 \text{ cmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$ e esses valores mais baixos da CTC, estão concentrados no P1F classificado como Cambissolo.

Percebe-se que nos perfis da área de estudo, os valores médios de pH são de 5,2 e do total das amostras dos perfis 60% exibem pH menor que 5,5. Especialmente o P1N que apresentou o pH mais baixo, configurando-se como solo mais ácido, com 80% das amostras de pH 5,5. Diante do que foi exposto na literatura anteriormente, o P1F classificado como Cambissolo, pode ter presença de caulinita e dependendo de sua ocorrência neste solo, a CTC pode ser negativa e inibir a disponibilização de nutrientes para as plantas. Contudo mais estudos da mineralogia desse solo da área de estudo devem ser realizados para essa confirmação.

O Cambissolo da área de estudo, tem caráter álico nos horizontes B4 e B5 de 86 a 121 centímetros, porque existe nesta profundidade quantidade maior ou igual a 50 % de saturação

por alumínio (M%) e trocável a um teor de alumínio extraível Al^{3+} a > 0,5 cmolc. dm^{-3} , conforme a figura 73 (EMBRAPA, 2018).

O perfil P1N classificado como Cambissolo, pode ser classificado como horizonte superficial Húmico, porque possui valor de croma igual a 4,0 ou menor (úmido) e V% menor que 50% (EMBRAPA, 2018), como consta na figura 71. Diante do exposto, o solo da Área II do Jardim Botânico próximo à foz do curso hídrico, pode ser classificado como Cambissolo Húmico álico.

3.7 Análise integrada

A exposição das raízes e sedimentação está associada à eficiência do sistema de microdrenagem da área de estudo. A formação da voçoroca da Área I, discutida do capítulo II, pode estar intimamente relacionada às tubulações e bueiros entupidos de sedimentos e a falta desses elementos nas imediações do fragmento florestal, como pode ser observado na figura 72. Esse processo pode desencadear o processo erosivo devido ao volume hídrico que deveria estar sendo canalizado pelas tubulações de água pluvial, mas que estão confluindo para o parque através das vias asfaltadas e causando as elevadas perdas de solos representadas no mapa da figura 72.

As raízes das árvores podem perder ainda mais solo na encosta da feição erosiva, devido às vias asfaltadas que direcionam e condicionam o volume hídrico proveniente das chuvas intensas e erosivas.

Esses aspectos atuando em conjunto podem ser as causas das elevadas taxas de perda de solos encontradas na área I, com perdas verticais de 500 milímetros por ano pelas raízes expostas e 18,6 milímetros de acúmulo de solos na base do tronco de uma árvore de *S. morototoni* (Figura 72).

Percebe-se na figura 72, que essas elevadas movimentações de solos ocorrem em declividades de 15 a 20%. Sendo que os indivíduos sem alteração do nível dos solos estão em declividade de até 8%.

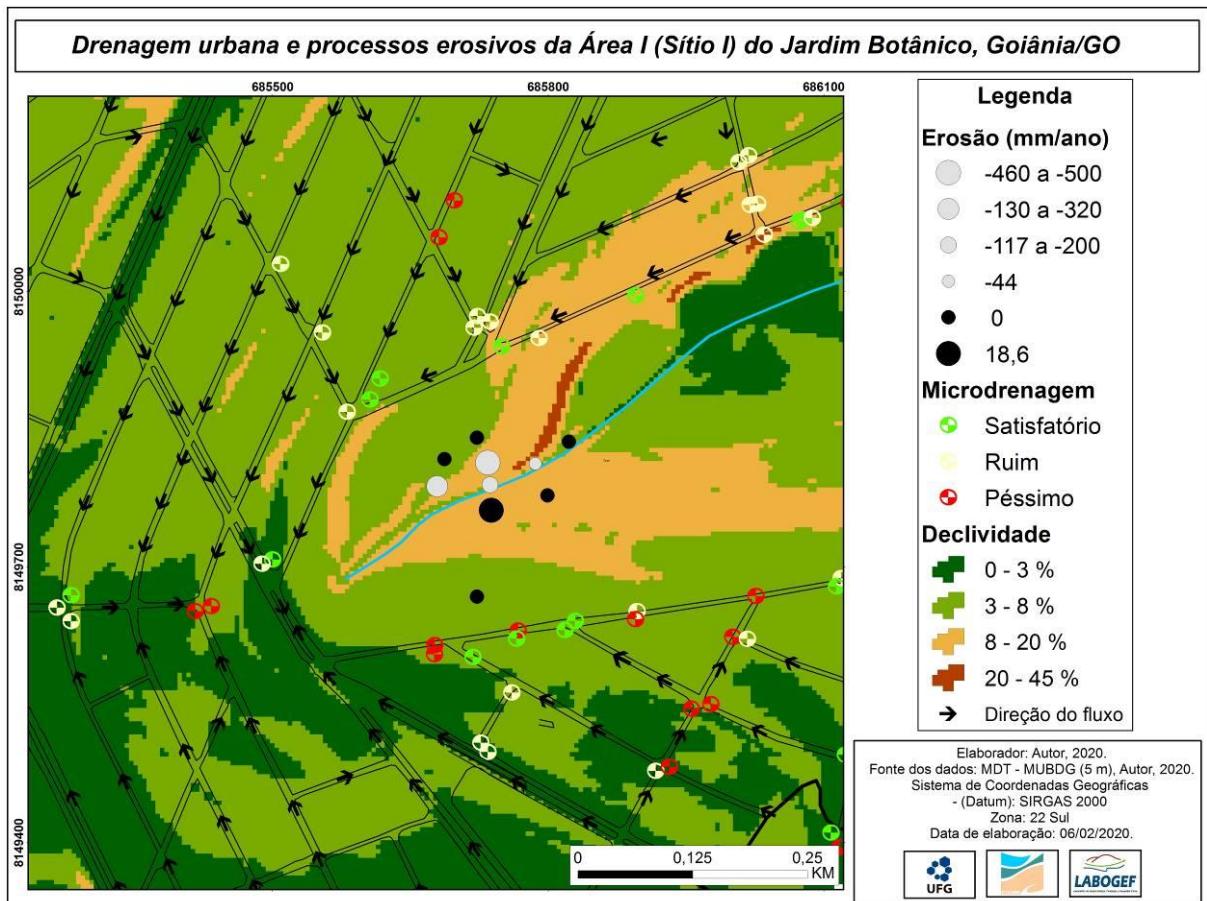


Figura 72. Drenagem urbana e processos erosivos e de sedimentação representados em milímetros por ano da Área I (sítio I).

Na Área II, os processos de erosão fluvial, são mais intensos no sentido de evolução remontante da encosta onde se encontras as árvores com raízes expostas, a aonde as taxas de erosão horizontal chegam à 665 milímetros por ano (Figura 73), que são maiores que as da Área I (Sítio I) com 460 milímetros por ano.

Taxas de sedimentação muito elevadas também são observadas na Área II (Sítio II) com 17,1 milímetros por ano, e onde apesar de haver mais elementos que constituem o sistema de microdrenagem, esses se encontram com maior número de pontos considerados péssimos, que são os bueiros e tubulações entupidas de sedimentos e lixo (Figura 73).

As declividades próximas das árvores também são mais elevadas chegando até 25% (Figura 73), é esse fato pode estar colaborando com maiores perdas e deposição de sedimentos, principalmente nos anos que possuem maior frequência de chuvas intensas e erosivas.

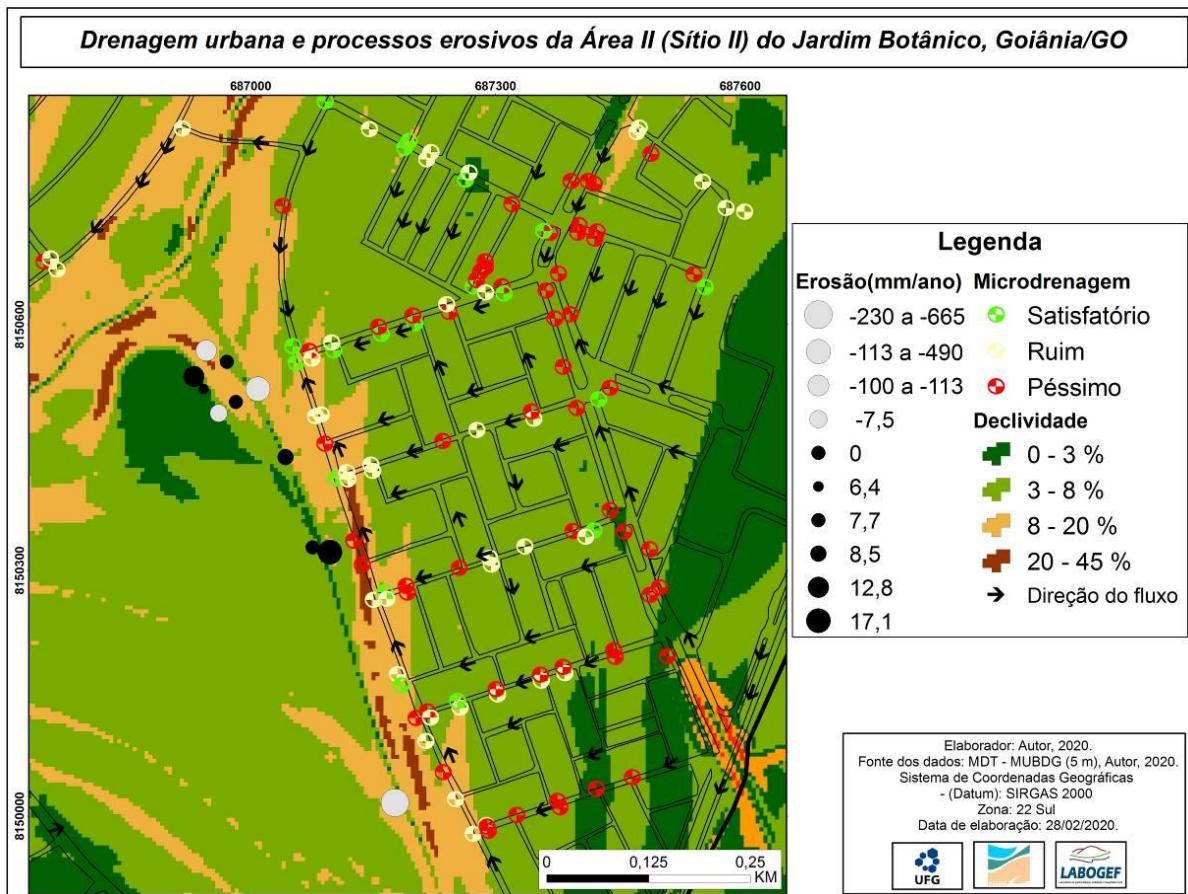


Figura 73. Drenagem urbana e processos erosivos e de sedimentação representados em milímetros por ano da Área II (sítio II).

As chuvas intensas e erosivas podem ser determinantes no processo de carreamento de sedimentos nos anos que o processo de urbanização teve maior expansão, assim como do momento em que os bueiros por falta de manutenção começaram a entupir de sedimentos e provocar maior escoamento superficial e expor as raízes das árvores na encosta dos processos erosivos da área II (sítio II).

Neste intento as chuvas intensas e erosivas podem ter grande importância quando comparadas com os sinais anatômicos registrados pelas raízes expostas como das variações da largura dos anéis de crescimento e da presença de cicatrizes.

A figura 74 representa a concentração dos elementos da fertilidade de muito baixo a muito alto para o Sítio I, e essas classes foram criadas com base no intervalo dos teores das respectivas amostras de solos de 0 a 20 centímetros, para compreender se existe relação entre a fertilidade nesta profundidade com o crescimento das raízes expostas e enterradas.

Dessa forma, como pode ser observado na figura 74, as raízes expostas possuem maior ritmo de crescimento do que as raízes enterradas (testemunhas) em um mesmo período de tempo (2006 a 2017).

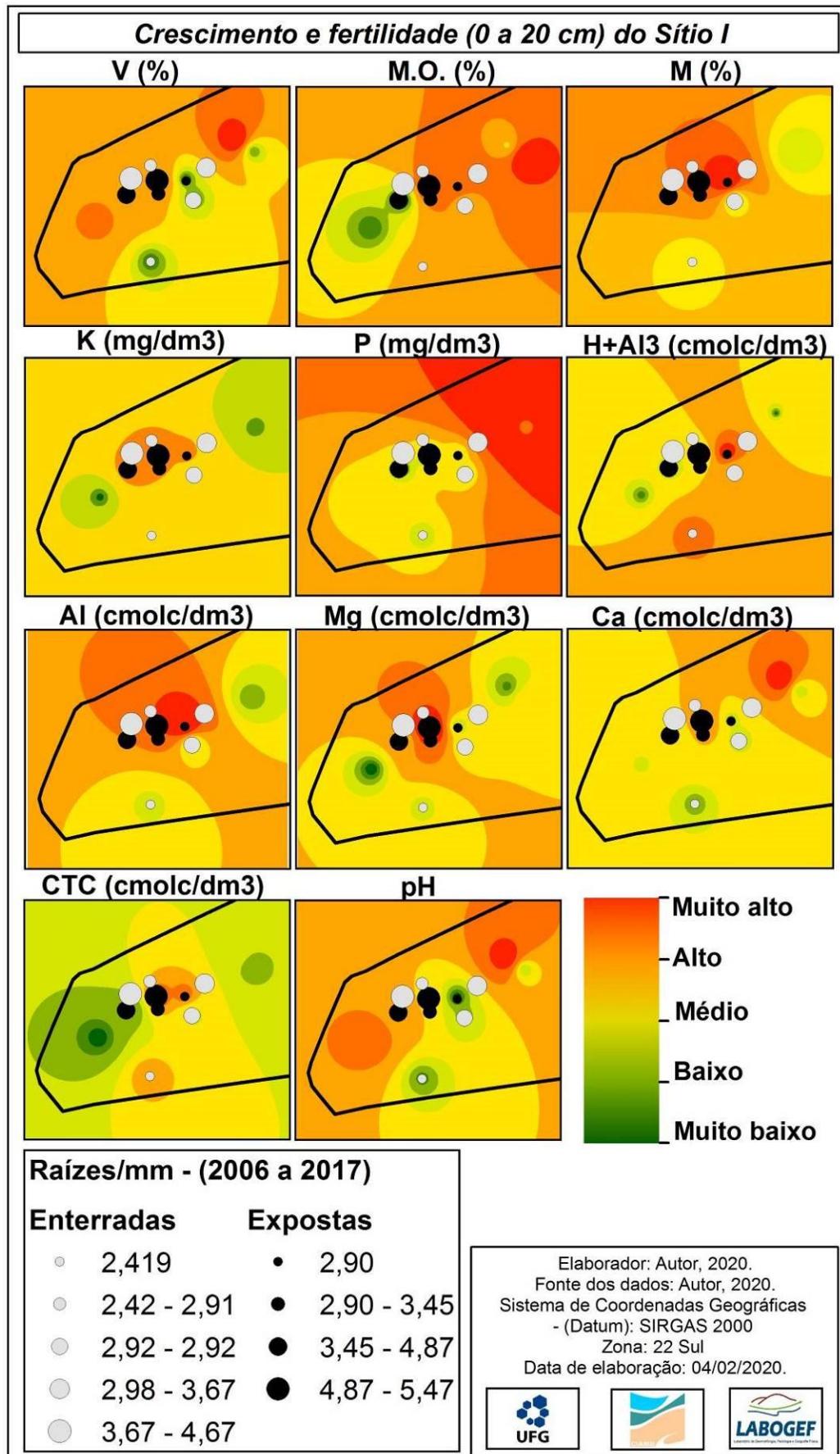


Figura 74. Crescimento das raízes expostas e enterradas (testemunhas) e sobreposição com a fertilidade dos solos de 0 a 20 centímetros do Sítio I (Área I) do Jardim Botânico de Goiânia.

As árvores com raízes expostas localizadas no Sítio I, estão situadas em locais onde alguns elementos e índices com valores maiores do que os locais onde há árvores com raízes enterradas, a exemplo da V(%), M.O. (%), M(%), K⁺, Al³⁺, Mg²⁺, CTC e pH que estão concentradas em maior número nas classes alta a muito alta (Figura 74). O fato das raízes expostas estarem situadas nas classes que apresentam teores maiores destes elementos citados pode explicar o porquê das raízes expostas terem crescimento médio anual maior que as enterradas, pois a V(%), M.O. (%), CTC e K⁺, são aspectos importantes para o crescimento das plantas.

Entretanto, ressalta-se que a raiz quando exposta pela erosão, muitas vezes pode apresentar aumento de incremento muitas vezes maior que a de uma raiz enterrada no mesmo ano da exposição, que foi ressaltado anteriormente.

Diante do exposto, percebe-se que maior proporção dos pontos das raízes enterradas estão localizadas nas classes muito baixa a baixa, é são intervalos que as raízes expostas não estão situadas, a exemplo da V(%), onde 3 árvores estão localizadas em níveis muito baixos a médios, enquanto que da classe das raízes expostas, apenas 1 árvore está em uma condição Baixa (Figura 74).

No elemento Potássio é claramente observado, que existe uma relação de alto a muito alto para todos os pontos das raízes expostas, e condição oposta é observado para as árvores com raízes enterradas, com teores menores desse elemento que estão em nível de médio a alto.

Percebe-se que os teores mais elevados estão relacionados a 7 dos 11 elementos, sendo eles M.O. (%), M(%), K⁺, H⁺Al³⁺, Al³⁺, Mg²⁺ e CTC, se encontram nas porções centrais do polígono em preto, relacionado ao Sítio I (Área I) (Figura 74), local onde as maiores taxas de perda de solos foram registradas, através dos sinais anatômicos de cicatrizes e aumento abrupto dos anéis de crescimento, como dos indivíduos (MAND 75, MAND 54, MAND 62 e ANG 41), com perdas de solos de 44, 200, 320 e 500 milímetros por ano.

No sítio II (Área II) do Jardim Botânico, percebeu-se que as raízes expostas não tiveram valores mais altos que as raízes enterradas, mas a variação de crescimento não foi expressiva como a relação encontrada no Sítio I (Área I). Como pode ser observado na figura 75, 85% dos elementos, que são: V(%), M.O. (%), K⁺, P, H⁺Al³⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, CTC e pH, se encontram com valores muito altos para a região sul do Sítio I, representada pelo maior ponto de crescimento de raiz exposta de cor preta (Figura 75), local onde a velocidade do processo erosivo horizontal é mais elevada, com perdas horizontais de 665 milímetros por ano.

Neste local, o Potássio é o elemento com maiores concentrações em relação a toda a área de estudo com $1660 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$, que representa 27 vezes o nível normal, como foi discutido anteriormente. A sua deposição nesta região pode ter acontecido em função da convergência do fluxo hídrico, que está relacionado às diversas vias asfaltadas e tubulações de água pluviais que se encontram em um único ponto, próximas a nascente da Área II do Jardim Botânico.

Para a região sul do Sítio II, que é o local onde existe o maior crescimento da raiz exposta, o valor de CTC é de $15 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$, V(%) de 71% e M.O de 3,4%, e são mais elevados do que todos os pontos da área de estudo. De acordo com Lopes (1998) os teores dos elementos considerados altos para a V(%) são de 71 a 90%, enquanto para M.O são maiores que 2,6 a 5,0 %, e para a CTC maiores que $6 \text{ cmolc}.\text{dm}^{-3}$. Neste quesito, percebe-se que na região sul, os valores para esses elementos são considerados de alto a muito alto (Figura 75).

Os elevados teores desses elementos químicos podem estar atrelados ao que foi observado *in loco* neste ponto da região sul do sítio II, como tubulações de esgoto que podem ter contribuído com dejetos e material orgânico de origem humana e que podem ter sido depositados nas camadas mais superficiais dos solos, tornando-os mais orgânicos nessa região.

Portanto, percebe-se que todos os nutrientes considerados de alto a muito alto estão concentrados na porção sul do sítio II. No extremo oposto à porção central do sítio II se encontram os teores mais baixos de todos os nutrientes, com níveis que variam de muito baixo a médio. E na região norte, os valores dos nutrientes estão de muito baixo a muito alto como pode ser observado na figura 75.

Diante da espacialização dessas informações, deduz-se que os locais onde os nutrientes foram enquadrados nas classes alto e muito alto, estão sobrepostos pelos pontos das árvores com as maiores perdas de solos e de forma análoga nos pontos onde existe a presença de raízes enterradas das árvores sem alterações do nível do solo (testemunhas), os níveis dos nutrientes são considerados de muito baixos a médios (Figura 75).

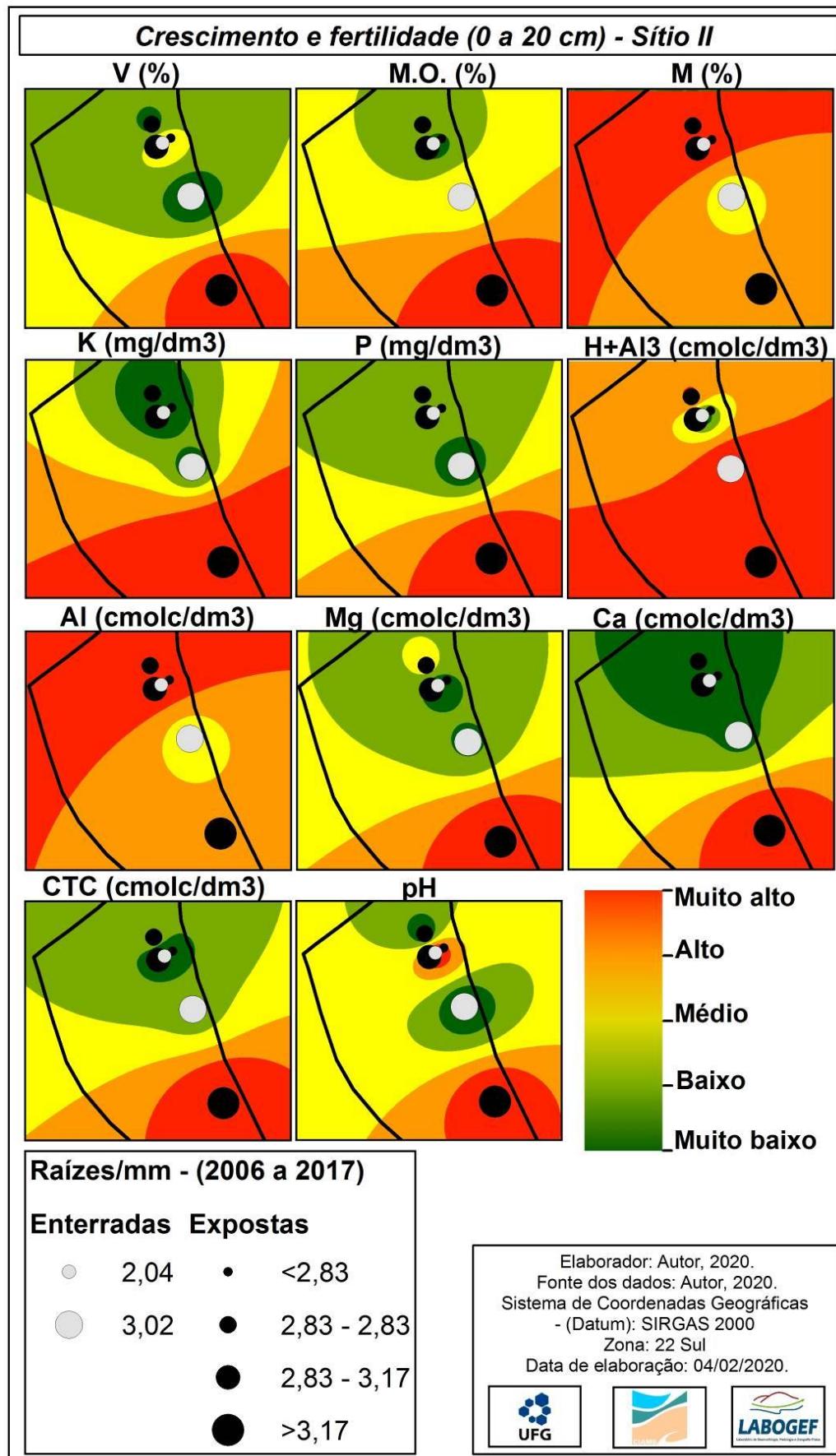


Figura 75. Crescimento das raízes expostas e enterradas (testemunhas) e sobreposição com a fertilidade dos solos de 0 a 20 centímetros do Sítio II (Área II) do Jardim Botânico de Goiânia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As raízes das árvores das espécies arbóreas analisadas apresentam anéis de crescimento de formação anual que registraram variações das chuvas mais intensas e erosivas.

Os estudos dendrogeomorfológicos ainda são escassos considerando ambientes de fragmentos florestais inserido em ambientes urbanos e em regiões de clima tropical. Neste intento, o presente trabalho inserido em ambiente altamente antropizado, avaliou que as espécies de *S. morototoni* e *A. macrocapa* apresentaram alterações significativas de crescimento dos anéis e de cicatrizes na data de exposição e elevada sensibilidade para registrar eventos ambientais externos.

A erosão hídrica dos solos, datadas pelas raízes expostas neste capítulo e pelo caule avaliado no capítulo III, tiveram início dos processos erosivos similares nos anos de 2006, 2008, 2010, 2012, 2013, 2016, devido ao maior quantitativo acumulado, máximas pluviométricas mais elevadas e chuvas erosivas e do número das alterações anatômicas registradas no lenho das raízes expostas que também apresentaram curvas de inflexão nos gráficos nestes anos.

Nestes anos, observou-se um maior número de cicatrizes e aumento abrupto na largura dos anéis de crescimento nas raízes expostas das árvores, que, segundo a literatura, são características que evidenciam o início da erosão hídrica dos solos.

As chuvas individuais erosivas em intervalo de 15 minutos, confrontadas com o número das evidências de erosão registradas pelo lenho das raízes expostas neste trabalho, apresentaram correlação significativa com nível de confiança de 90% e as chuvas erosivas definidas para as regiões tropicais no intervalo de 1 hora apresentaram correlação relativamente elevada de 70%.

Todas as metodologias das chuvas erosivas utilizadas neste trabalho apresentaram correlações elevadas com os indicativos de erosão registrados no lenho das raízes expostas das espécies, sendo que a maior proximidade das estações pluviométricas da área de estudo, pode ter sido determinante para essas correlações encontradas. Portanto, as chuvas intensas e erosivas influenciaram na perda de solos que expuseram as raízes das árvores levando a alterações anatômicas no lenho das raízes.

Neste quesito, valores mais elevados da correlação entre as chuvas erosivas com as evidências no lenho das raízes expostas podem ser passíveis de serem alcançadas, para isso recomenda-se que para trabalhos futuros, haja maior número amostral de raízes, assim como

de estações ou pluviógrafos mais próximos e com intervalos temporais equivalentes a idade das raízes, que são de suma importância para as análises.

As análises da granulometria e fertilidade dos solos revelaram que os solos próximos aos cursos hídricos do Jardim Botânico se constituem de Plintossolo Háplico eutrófico no Sítio I e Cambissolo Húmico álico no Sítio II, com camadas de sedimentos depositadas advindas da urbanização a montante, que podem ter sido causadas pelas primeiras construções que revolveram e compactaram a camada superficial dos solos, fazendo com que os sedimentos fossem carreados, assoreando a base dos troncos das árvores.

O macronutriente Potássio (K^+) está em níveis mais elevados do que o normal, é esse valor pode estar relacionado ao dejeto de produtos químicos advindos da região urbanizada de montante, que foram transportadas por tubulações de água pluvial ou de esgoto, ou mesmo pelo processo de queimadas recorrentes no fragmento florestal.

Os demais nutrientes estão com nível aceitáveis de referência, segundo a literatura para solos de mata do Cerrado Brasileiro.

Diante do exposto, este trabalho contribui como tentativa ainda recente na literatura, no Cerrado Goiano, de correlacionar as datas de exposição das raízes por erosão hídrica com as chuvas individuais erosivas, no Jardim Botânico de Goiânia.

CONCLUSÕES

A dendrogeomorfologia é uma ciência interdisciplinar e que possui amplitude e precisão anual importantes para determinar e compreender a velocidade dos processos erosivos. E destaca-se de outras metodologias que necessitam de dados históricos de imagens de satélite e climáticos, que muitas vezes não estão disponíveis. Além disso, constitui-se de uma ferramenta de baixo custo de aplicação e pode ser aplicado para gestão de unidades de conservações urbanas e para estudos de recuperações de áreas degradadas.

Neste contexto, o presente trabalho inserido em ambiente altamente antropizado, avaliou que as espécies de *S. morototoni* e *A. macrocapa* apresentaram alterações significativas de crescimento dos anéis e de cicatrizes na data de exposição e elevada sensibilidade para registrar eventos ambientais externos.

Neste trabalho percebeu-se que a erosão hídrica em solos urbanos, se constitui como um dos principais impactos provenientes da ocupação desordenada das terras e pode se intensificar ainda mais, pela condição ruim ou péssima da microdrenagem urbana e pelas chuvas intensas ou erosivas.

Portanto, os objetivos geral e específicos foram atendidos, que foram avaliar de forma espaço-temporal as condições e eficiência da microdrenagem urbana, perceber sua relação espacial com os focos erosivos na área de estudo e quantificar as variações temporais das alterações antrópicas pelo uso e cobertura das terras e sua relação com os anos das perdas e deposição de sedimentos registrados no caule das árvores e raízes expostas.

Todas essas repostas tiveram relação linear, porque os arruamentos com maior número de elementos da microdrenagem com condições ruins e péssimas estavam próximas das localidades dos processos erosivos e as maiores perdas em milímetros por ano determinadas pelas raízes expostas. Neste intento, as análises da granulometria e fertilidade dos solos foram fundamentais para entender o tipo de solo da área de estudo e se esses solos possuem atributos que facilitem a erosão hídrica.

Os problemas da pesquisa foram atendidos, porque os resultados indicaram que as espécies arbóreas responderam com variações nas larguras dos anéis de crescimento aos processos erosivos e de sedimentação, uma vez que o ritmo de crescimento das espécies de *S. morototoni* e *A. macrocapa* sedimentadas e aquelas com raízes expostas cresceram mais do que as sem alterações do nível do solo.

Ressalta-se que as espécies de *A. macrocarpa* e *S. morototoni* possuem potencial dendrogeomorfológico e são ótimas bioindicadoras de registro dos processos erosivos hídricos.

Os solos da área de estudo, classificados como Cambissolo Húmico álico e Plintossolo Háplico eutrófico, trouxeram evidências morfológicas de alterações antrópicas, como aporte de sedimentos. Estes podem ser provenientes de áreas a montante com construções civis, microdrenagem com condição ruim e péssima (presente em 69% da área de estudo) onde as chuvas intensas contribuíram para o transporte e depósito de sedimentos na superfície. Por isso, essas variáveis podem ter contribuído com maior velocidade do escoamento superficial, arraste pela enxurrada de elevado teor de areia. Essas afirmações se tornam ainda mais concretas, devido a essas elevadas concentrações estarem contidas essencialmente nas camadas superficiais de 0 a 20 centímetros.

Conclui-se que houve correlações positivas das datas em que ocorreram as chuvas mais intensas e erosivas, com as alterações no lenho das raízes expostas como, por exemplo, da presença de cicatrizes e aumento abrupto da largura dos anéis de crescimento.

As datas mais prováveis em que os processos erosivos hídricos tiveram aumentos verticais e horizontais foram nos anos de 2006, 2008, 2010 e 2013, verificados a partir do raízes e nos anos de 1964, 1988, 1992, 2006, 2008, 2013 e 2017 verificados a partir do caule. Nos mesmos períodos foram constatadas as maiores alterações do uso e ocupação das terras e as chuvas mais erosivas e intensas e maiores acumulados da precipitação. Nos anos de 2015 e 2017 ocorreram as maiores perdas de solos verticais, totalizando 500 milímetros por ano na Área I e perdas de solos horizontais de 665 milímetros por ano na Área II. O maior soterramento do caule verificado foi de 1170 milímetros de sedimentos em 63 anos, que equivale a 18,6 milímetros por ano.

Diante deste cenário, a primeira ação eficaz que deve ser tomada pelo poder público é o disciplinamento das águas de escoamento superficial, com o melhoramento da condição e eficiência da microdrenagem, a exemplo da revitalização de guias e sarjetas e desentupimento das tubulações ou bocas de lobo com sedimentos ou lixo. Além disso, recomenda-se o cercamento da unidade de conservação, para que não haja entrada de pessoas, para evitar a compactação dos solos e diminuir o volume hídrico superficial, que é direcionado para o fragmento florestal.

Posteriormente, recomenda-se para mitigação da evolução dos processos erosivos na área de estudo, a revegetação das espécies nativas do cerrado, que estão presentes na unidade de conservação.

Simultaneamente, devem ser tomadas medidas de contenção das voçorocas e ravinas, o retaludamento da encosta, a fixação de mantas biodegradáveis e incorporação de sementes com hidro-semeadura ou utilização de gabiões. Apesar desses processos terem elevado custo, devido às dimensões dos processos erosivos, podem ser realizados mediante critérios, planejamento e rigor científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. O suporte geoecológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p.15-25.

AGÊNCIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – (AMMA). **Diagnóstico Ambiental Preliminar do Córrego Botafogo Goiânia – Goiás**. Diretoria de gestão ambiental - Gerência de contenção e recuperação de erosões e afins (GECRE). Relatório Técnico - Nº. 37/2015. Goiânia/GO, 2008. 53p.

ALESTALO, J. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. **Fennia**, v. 105, p.1-140. 1971.

ALHUMAID, M.; GHUMMAN, A. R.; HAIDER, H.; AL-SALAMAH I. S.; GHAZAW, Y. M. Sustainability Evaluation Framework of Urban Stormwater Drainage Options for Arid Environments Using Hydraulic Modeling and Multicriteria Decision-Making. **Water**, v.10, n.581, p.1-21, 2018.

ALVIM, P. T. **Tree growth periodicity in tropical climates**. In: Zimmermann, M.H. (ed.) The Formation of Wood in Forest Trees. Academic Press, Nueva York. 1964. p. 479-495.

ALVIM, P. T.; ALVIM, R. **Relation of climate to growth periodicity in tropical trees**. In: Tomlinson, P.B. & M.H. Zimmermann (ed.) Tropical Trees as Living Systems. Cambridge University Press, Cambridge. 1978. p. 445-468.

ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Fenologia Vegetativa e Crescimento de Cedrela fissilis na Floresta Atlântica, Paraná, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p.1-11, 2017.

BALLESTEROS-CÁNOVAS, J. A.; BODOQUE, J. M.; LUCÍA, A.; MARTÍN-DUQUE, J.F.; DÍEZ-HERRERO, A.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; RUBIALES, J.M.; GENOVA, M. Dendrogeomorphology in badlands: Methods, case studiesandprospects. **Catena**, v. 106, p. 113-122, 2013.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014. 355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** Piracicaba: Livroceres. 1990.392p.

BOARDMAN, J.; POESEN, J.; EVANS, R. Socio-economic factors in soil erosion and conservation. **Environmental Science & Policy**, v. 6, p.1-6, 2003.

BODOQUE, J. M.; DIEZ-HERRERO, A.; MARTIN-DUQUE, J. F.; RUBIALES, J. M.; GODFREY, A. PEDRAZA, J.; CARRASCO, R. M.; SANZ, M. A. Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain. **Catena**, v. 64, n. 1, p. 81-102, 2005.

BODOQUE, J. M.; LUCIA, A.; BALLESTEROS, J. A.; MARTIN-DUQUE, J. E.; RUBIALES, J. M.; GENOVA, M. Measuring medium-term sheet erosion in gullies from trees: a case study using dendrogeomorphological analysis of exposed pine roots in central Iberia, **Geomorphology**, v. 134, p. 417–425, 2011.

BOLLATI, I.; VERGARI, F.; DEL, MONTE M.; PELFINI, M. 2016. Multitemporal dendrogeomorphological analysis of slope instability in upper orcia valley (southern tuscany, italy). **Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria**, v.39, p.105-120, 2016.

BOLLSCHWEILER, M.; STOFFEL, M.; SCHNEUWLY, D. M. Dynamics in debris-flow activity on a forested cone - A case study using different dendroecological approaches. **Catena**, v. 72, p. 67-78, 2008.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; OOST, K. V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, **Nature Communications**, v. 8, p.1-13, 2013.

BOTOSO, P. C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 65p.

BOTOSO, P. C.; MATTOS, P. P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação.** Embrapa Florestas. EMBRAPA, Documento 75. Paraná, 2002. 25 p.

BOVI, R. C. **Avaliação espacial e temporal de processos erosivos e dendrogeomorfologia em um fragmento de Mata Atlântica em Piracicaba-SP.** Dissertação (Mestrado em Ciência) - Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz| USP, Piracicaba, 2013. 158p.

BOVI, R. C.; CHARTIER, M. P.; DOMÍNGUEZ-CASTILLO, A. V.; CHAGAS, M. P.; FILHO, M. T., COOPER, M. Application of growth rings and scars in exposed roots of *Schizolobium parahyba* as a tool for dating geomorphic processes in the State of São Paulo, Brazil, **Dendrochronologia**, v. 50, p.1-9, 2018.

BOVI, R. C; SILVA, L. F. S; ZENERO, M. D. O.; CARVALHO, C. C. COOPER, M. Sediment Morphology, Distribution, and Recent Transport Dynamics in a Reforested Fragment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, p.1-16, 2017.

BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil,** Brasília, DF. Planalto. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 02 Agosto de 2019, às 20:00 horas.

BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil,** Brasília. Planalto. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm. Acesso em: 02 Agosto de 2019, às 20:00 horas.

BRIGHT, J. K.; BOARDMAN, J. Evidence from field-based studies of rates of soil erosion on degraded land in the central Karoo, South Africa. **Geomorphology**, v. 103, 455-465p. 2009.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p.3-22, 2005.

BRYAN, R. B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. **Geomorphology**, v. 32, 385–415p. 2000.

BUTLE, D.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage.** 3º Ed. Spon Press: New York; London, 2011. p. 625.

CABEDA, M. S. V. **Computations of storms EI values.** West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p.

CAMPOS, M. B.; MELO, J. G. S.; SOUZA, N. M. A. Problemática das Áreas Verdes na Dinâmica Urbana da Metrópole: O Caso do Jardim Botânico de Goiânia-GO. **Conjuntura Econômica Goiânia**, n. 26, p. 42-51, 2013.

CARRARA, P.; CARROLL, T. The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado. **Earth Surf. Proc. Land**, v. 4, p. 307–317, 1979.

CARVALHO, F. A.; BRAGA, J. M. A.; NASCIMENTO, M. T. Estrutura da comunidade arbórea de fragmentos de Floresta Atlântica Ombrófila Submontana na região de Imbaú, Município de Silva Jardim, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguesia**, v. 60, n. 3, p. 695-710, 2009.

CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES, FILHO, J.; CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico VermelhoAmarelo eutrófico textura argilosa / muito argilosa de Mococa/SP: primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.13, p.237-242, 1989.

CASTILHO, V. D. **Aplicação da dendrogeomorfologia na caracterização e datação de processos erosivos em voçorocas na região de Piracicaba, SP.** Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz, 2016. 135p.

Centro de Documentação e Biblioteca da Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação – (SEPLAN) do município de Goiânia/GO. Acesso e escaneamento dos dados das imagens antigas em preto e branco impressas e imagens históricas.

CHAGAS, M. P.; MÁRIO TOMAZELLO, F.; LISI, C. S.; BRITO, J. O.; SCOLFORO, J. R. **Tree-rings characterization and wood density of candeia eremanthus erithropappus trees by x-ray densitometry.** In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC. São Paulo, Brazil, 2005. p.1-5.

CHARTIER, M. P.; ROSTAGNO, C. M.; ROIG, F. A. Soil erosion rates in rangelands of northeastern Patagonia: A dendrogeomorphological analysis using exposed shrub roots. **Geomorphology**, v. 106: p.344-351. 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. "Impactos no meio ambiente ocasionado pela urbanização no mundo tropical". In SOUZA, M. A A.; SANTOS, M.; SCALARTO, F.C.; ARROYO, M. **Natureza e Sociedade de Hoje: uma Leitura Geográfica.** São Paulo: Hucitec, 1993. 244p.

COELHO, M. M. L. P.; LIMA, J. G. A. Eficiência Hidráulica de Bocas de Lobo Situadas em Sarjetas de Greide Contínuo. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16 n.2, p. 133-143, 2011.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.743-753, 2003.

COSTA, S. G. F.; SILVA, R. M. Potencial natural e antrópico de erosão na bacia experimental do riacho Guaraíra. **Cadernos dos Logepa**, v.7, n. 1, 72-91p, 2012.

CRAUL, P. J. **Urban Soil in Landscape Design.** 1º Ed. United States of America: JOHN WILEY & SONS, INC. 1992. 416p.

CORONA, C.; SAEZ, J. L.; ROVÉRA, G.; STOFFEL, M.; ASTRADE, L.; BERGER, F. High resolution, quantitative reconstruction of erosion rates based on anatomical changes in exposed roots at Draix, Alpes de Haute-Provence — critical review of existing approaches and independent quality control of results. **Geomorphology**, v. 125: p.433-444. 2011.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia, Campinas**, v. 74, n. 2, p.224-233, 2015.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Estimation of soil loss by sheet and rill erosion in Perobas stream watershed (São Paulo State) in 1962 and 2011. **Revista Ra'eGa**, v.46, p. 110 -131, 2019.

Departamento Estradas de Rodagem do município de Goiânia – (DERMU). **Erosões Urbanas em Goiânia.** Convenio entre Universidade Federal de Goiás – UFG (Instituto de Química e Geociências e Departamento de Geografia e DERMU. 1993, 81p.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil strucuture. **Soils & Tillage Research**, v.11, p.199-238, 1988.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. - 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos).

EMBRAPA. Manual de descrição e coleta de solo no campo. SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. - 5. ed. rev. e ampl. – Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2005. 92p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos - (SBICS). Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.]. – 5.ed.,ver. E ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FANNING, D. S; BALLUF FANNING, M. C. Soil: Morphology, genesis and classification. John Wiley & Sons: New York. 1989. 416p.

FILHO, A. G. A.; SZÉLIG, A. M. R.; ENOMOTO, C. F. Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. **Ciências exatas e da terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v.6, n.1, p.69-90, 2000.

FONTANA, C.; PÉREZ-DE-LIS, G.; NABAIS, C.; LOUSADA, J. L. P. C.; OLMEDO, G. M.; BOTOSO, P. C.; OLIVEIRA, J. M. Climatic signal in growth-rings of *Copaifera lucens*: An endemic species of a Brazilian Atlantic forest hotspot, southeastern Brazil. **Dendrochronologia**, v. 50, p.23–32, 2018.

FRITTS, H.C. **Tree rings and climate.** New York: Academic Press, 1976. 567p.

GÄRTNER, H. Tree roots — Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. **Geomorphology**, v. 87, p. 243-251, 2007.

GONÇALVES, N. M .S . Impactos Pluviais e Desorganização do espaço Urbano em Salvador. In. Clima Urbano. MONTEIRO & MENDONÇA. Contexto, 2003.

GRISSINO-MAYER, H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research**, Tucson, v. 57, n. 2, p. 205-221, 2001.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; ALEXANDRE, S. T. Erosão e Conservação de Solos no Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 37, p.81-91, 2014.

GUIMARÃES, R. Z.; LIGNAU, C.; RIZZI, N. R.; SCHECHI, R. G. & BIANCHI, R. C. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na micro-bacia do rio Campinas, Joinville, Santa Catarina. **RaTEGa**, v. 23, p.32-64, 2011.

HAN, J. Y.; BAIK, J. J.; LEE, H. Urban Impacts on Precipitation. **Asia-Pacific J. Atmos.** V.50, n.1, p.17-30, 2013.

HARRI, L. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 3º Ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009, 384p.

HART, E. A.; MILLS, H. H.; LI, P. Measuring erosion rates on exposed limestone residuum using erosion pins: a 10-year record. **PHYS GEOGRAPHY**, v. 38, n. 38, p.1-15, 2017.

HITZ, O. M.; GÄRTNER, H.; HEINRICH, I.; MONBARO, M. Application of ash (*Fraxinus excelsior* L.) roots to determine erosion rates in mountain torrents. **Catena**, v. 72, p. 248–258, 2008.

HOLMES, R.; ADAMS, R.; FRITTS, H. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: **Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin.** Tucson: Arizona University, 1986. p.15-35.

HUDSON, N. **Soil conservation.** 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 324p.

HUPP, C. R.; BAZEMORE, D. E. Temporal and spatial patterns of wetland sedimentation, West Tennessee. **Journal of Hydrology, Amsterdan**, v.141, p.179-196, 1993.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dados históricos de precipitação. Site:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acessado às 21:00 horas do dia 02 de Setembro de 2019.

JAZOULI, A. E.; BARAKAT, A.; GHAFIRI, A.; MOUTAKI, S. E.; ETTAQY, A.; KHELLOUK, R. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco). **Geoscience Letters**, v. 4, n.25, p.1-12, 2017.

JIMÉNEZ, J. A. G. Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales Dendrocronology in the tropics: Current and potential applications. **Colombia Forestal**, v. 14, n. 1, p.97-111, 2011.

JIONGXIN, X. U; GUOHUA, Z. **Benggang erosion in sub-tropical granite weathering crust geo-ecosystems: an example from Guangdong Province.** In: Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions, Washington USA: IAHS Publisher, n. 209, 1992, p. 455-463.

JOLLEY, R. L., LOCKABY, B. G.; CAVALCANTI, G. G. Changes in riparian forest composition along a sedimentation rate gradient. **Plant Ecology**, v. 210, n. 2, p.317-330, 2010.

JONES, A. J.; LAL, R.; HUGGINS, D. R. Soil erosion and productivity research: A regional approach. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 12, p.185-192, 1997.

JÚNIOR, M. C. S.; LIMA, R. M. C. **100 árvores urbanas brasileiras.** Brasília: Guia de campo. Ed. Rede de sementes do Cerrado, 2010. 280p.

JUSTIN, M. G.; BERGEN, J. M.; EMMANUEL, M. S.; RODERICK, K. G. Mapping the Gap of Water and Erosion Control Measures in the Rapidly Urbanizing Mbezi River Catchment of Dar es Salaam. **Water**, v. 10, n. 64, p.1-15, 2018.

KIM, J.; IVANOV, V. Y.; FATICHI, S. Environmental stochasticity controls soil erosion variability. **Scientific Reports Nature**, v. 6, p.1-7, 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KOPROWSKI, M.; WINCHESTER, V.; ZIELSKI, A. Tree reactions and dune movements: Slowinski National Park, Poland. **Catena**, v. 81, p.55–65, 2010.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation e Development**, v 12, n. 6, p. 519-539, 2001.

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**, v. 29, n. 4, p.437-450, 2003.

LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTIN, C.; STEWART, B. A. **Methods for assessment of soil degradation**. New York: CRC. Press, 1998.

LEPSCH, I. F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2^a Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 215 p.

LIU, J.; NIYOGI, D. Meta-analysis of urbanization impact on rainfall modification. **Scientific reports**, p.1-14, v.9, p. 1-14, 2019.

LOBÃO, M. S.; ORTEGA, G. P.; AMARAL, E.; AMORIM, P. G. R.; AMARO, M. A.; ROIG, F. A.; MARIO, FILHO T. Análise de similaridade das árvores de Cedrela sp. sob diferentes condições de crescimento no leste do estado do Acre, Brasil. **Scientia Florestalis**, v. 44, n. 109, p.231-239, 2016.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed., rev. e ampl. Piracicaba: Potafos, 1998. 177p.

MALIK, I. Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland). **Geomorphology**, v.93, p.421-436, 2008.

MARIA, I. C. Cálculo da erosividade da chuva. In: LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. de; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R. & MARIA, I.C. de. **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas, IACSCS, 1994. n. p.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES DE CHUVAS OCORRENTES EM SANTA MARIA (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.475-483, 2001.

MENEZES, P. R. A. **Avaliação do sistema de microdrenagem urbana no entorno do Jardim Botânico de Goiânia.** TCC (Graduação em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia, 2016. 21p.

MESQUITA, G. M. **Atributos químicos e físicos de solo sob mata do Jardim Botânico em Goiânia.** TESE (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014. 75p.

METZGER, J. P. O Código Florestal tem base científica? **Natureza & Conservação**, v. 8, n.1, p.1-5, 2010.

MIGUEZ, M. G.; BAHIENSE, J. M.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P. New urban developments: flood control and LID – a sustainable approach for urban drainage systems. **WIT Transactions on Ecology and The Environment**, v. 155, p.469-480, 2012.

MOMOLI, R. S.; COOPER, M.; FILHO, M. T.; LOBÃO, M. S. Aplicação da dendrogeomorfologia no estudo da deposição de sedimentos do solo no tronco de árvores de *Guarea guidonea* em mata ciliar antropizada no estado de Goiás, Brasil. **Scientia forestalis**, v. 40, n. 93, p. 007-014, 2012.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion e conservation.** 2a Ed. Oxford: Bleckwell, 2005. 316p.

MOTA, G. S. **Características anatômicas e ecológicas de casca e madeira de Anadenanthera.** (Tese) - Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada. Lavras: UFLA, 2016, 133p.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/ Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64-65, p.27-39, 2011.

OKELLO, J. A.; ROBERT, E. M. R.; BEECKMAN, H.; KAIRO, J. G.; DAHDOUH-GUEBAS, F.; NICO KOEDAM, N. Effects of experimental sedimentation on the phenological dynamics and leaf traits of replanted mangroves at Gazi bay, Kenya. **Ecology and Evolution**, v.4, n.16, p.3187– 3200, 2014.

OLIVEIRA, C. A.; KLIEMANN, H. J.; CORRECHEL, V.; FELIPE, C. V.; SANTOS, F. C. V. Avaliação da retenção de sedimentos pela vegetação ripária pela caracterização morfológica e físico-química do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1281–1287, 2010.

OLIVEIRA, J. F.; GRIEBELER, N. P; CORRECHEL, V.; SILVA, V. C. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.955-960, 2009.

OLIVEIRA, M. J.; BAPTISTA, G. M. M.; CARNEIRO, C. D. R.; VECCHIA, F. A. S. História geológica e Ciência do clima: métodos e origens do estudo dos ciclos climáticos na Terra. **Terra**, v. 12, n. 1, p. 03- 26, 2015b.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; WENDLAND, E. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, p.1524–1532, 2015a.

OLIVEIRA, T. B.; MOMOLI, R. S. **Aplicação da dendrogeomorfologia na estimativa de erosão no Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira, Goiânia (GO)**. In: I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias – SASGEO. Anais... Uberaba/MG, Novembro, 2015. p. 1-11.

OUDEN, J.; SASS-KLAASSEN, U. G. W.; COPINI, P. Dendrogeomorphology – a new tool to study drift-sand dynamics. **Netherlands Journal of Geosciences**, v. 86, n.4, p. 355-363, 2007.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; POESEN, J.; BALLABIO, C.; LUGATO, E.; MEUSBURGER, K., MONTANARELLA, L.; ALEWEL, C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environmental Science & Policy**, v. 54, 2015.

PATRA, S.; SAHOO, S.; MISHRA, P.; MAHAPATRA, S. C. Impacts of urbanization on land use /cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level. **Journal of Urban Management**, v. 7, p.70–84, 2018.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **922 Madeiras nativas do Brasil: anatomia-dendrologia-dendrometria-produção-uso**. Porto Alegre: Cinco Continentes. 2. Ed. 2010, 461p.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas: Anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília DF: Mokiti Okada - MOA, 1997, 543p.

PEREIRA, T. S. R.; PASQUALETTO, A. Avaliação dos impactos ambientais no parque Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira, Goiânia – GO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 1077- 1090, 2012.

PEREIRA, T. T. C.; KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; ALMEIDA, C. C. Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo bambuí – minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1283-1295, 2010.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, R.; MARQUES, M. J.; BIENES, R. Use of dendrochronological method in *Pinus halepensis* to estimate the soil erosion in the South East of Madrid (Spain). **Science of the Total Environment**, v.378, n.1-2 p.156-150, 2007.

PIMENTEL, D. TERHUNE, E. C.; DYSON-HUDSON, R.; ROCHEREAU, S.; SAMIS, R.; SMITH, E. A.; DENMAN, D.; REIFSCHNEIDER, D.; SHEPARD, M. Land degradation: effects on food and energy resources. **Science**, v.94, pp. 149-155, 1976

PIMENTEL, D. Soil erosion: A food and environment threat. **Environment, Development and Sustainability**, v. 8, p.119-137, 2006.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Soil Erosion Threatens Food Production. **Agriculture**, v.3, p.443-463, 2013.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. **Science**, v. 267, n. 5201, p.1117-1123, 1995.

PIRES, L. F.; BACCHI, O. O. S.; CORRECHEL, V.; REICHARDT, K.; FILIPPE, J. Riparian forest potential to retain sediment and carbon evaluated by the ^{137}Cs fallout and carbon isotopic ratio techniques. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, n. 2, p. 271-279, 2009.

PREFEITURA DE GOIÂNIA/GO. Lei nº 7.800, de 05 de maio de 1998. Projeto original de urbanização de Goiânia, elaborado pelo arquiteto Atílio Correia Lima contempla e denomina o logradouro Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira de Goiânia/GO. Site:<http://www.goiania.go.gov.br/html/gabinete_civil/sileg/dados/legis/1998/lo_19980505_000007800.html>. Acessado às 21:00 horas do dia 14 de Agosto de 2019.

PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2 ed. Viçosa: E. UFV, 2009. 279p.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.

Rede Metropolitana de Transporte Coletivo de Goiânia - (RMTC). Site: <<http://www.rmtcgoiania.com.br/blog/2013/03/11/setor-pedro-ludovico-berco-da-regiao-sul-de-goiania/>>. Acessado às 08:00 horas do dia 01 de outubro de 2018.

RELLAN-ALVAREZ, R.; LOBET, G.; DINNENY, J. R. Environmental Control of Root System Biology. **Multidimensional Biology of Root Systems**, v. 67, p.1-26, 2016.

ROCHA, E. O.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; ASSIS, L. C.; ALVES, L. G. S. 2012. The contribution of conservation practices in reducing runoff, soil loss and transport of nutrients at the watershed level. **Water Resources Management. JCR**, v.26, 2012, p.3831-3852.

RODRIGUES, L. L.; BLANCO, C. J. C. Vazão de pico em uma bacia hidrográfica com diferentes níveis de urbanização em Santarém/PA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.62-75, 2018.

ROIG, F. A.; BONINSEGNA, J. A. Estudios sobre el crecimiento radial, basal, en altura y de las condiciones climáticas que afectan el desarrollo de *Pilgerodendron uviferum*. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 64, p.53-63, 1991.

ROIG, F. A.; SIEGWOLF R.; BONINSEGNA, J. A. Stable oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) in *Austrocedrus chilensis* tree rings reflect climate variability in northwestern Patagonia, Argentina, **International Journal of Biometeorology**, v.51, p.97–105, 2006.

- ROIG, F. A.; LE-QUESNE, C.; BONINSEGNA, J. A.; BRIFFA, K. R.; LARA, A.; GRUDDK, H.; JONES, P. D.; VILLAGRÁN, C. Climate variability 50,000 years ago in mid-latitude Chile as reconstructed from tree rings. *NATURE*, v.410, n. 29. p.567-570, 2001.
- ROMERO, V.; FORMIGA, K. T. M.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo hidromorfológico de bacia hidrográfica urbana em Goiânia/GO. *Ciência e Natura*, v. 39, n. 2, p.320-340, 2017.
- ROQUE-MALO, S.; KUMAR, P. Patterns of change in high frequency precipitation variability over North America. *Scientific reports*, v.7, p.1-12, 2017.
- RUBIALES, J. M.; BODOQUE, J. M.; BALLESTEROS, J. A.; DIEZ-HERRERO, A. Response of *Pinus sylvestris* roots to sheet-erosion exposure: an anatomical approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n. 8, p. 223–231, 2008.
- SAEZ, J. L.; CORONA, C.; STOFFEL, M.; ROVÉRA, G.; ASTRADE, L.; BERGER, F. Mapping of erosion rates in marly badlands based on a coupling of anatomical changes in exposed roots with slope maps derived from LiDAR data. *Earth surface processes and landforms*, v. 36, p.1162–1171, 2011.
- SANTORO, R.; JUCKER, T.; PRISCO, I.; CARBONI, M.; BATTISTI, C.; ACOSTA, A. T. R. Effects of Trampling Limitation on Coastal Dune Plant Communities. *Environmental Management*, v.49, n. 3, p. 534-542, 2012.
- SANTOS, D. S.; SPAROVEK, G. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.35, n.5, p.1811-1818, 2011.
- SANTOS, R. B.; ALMEIDA, A. Q.; SANTOS, W. A. Soil Loss Estimates for Different Vegetation Cover Scenarios in the Piauitinga-SE River Basin. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v.42, 2019.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SCALENGHE, R.; AJMONE-MARSAN, F. The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, v. 90, p.1-10, 2009.
- SCARPINELLA, G. A; MIRANDA, R. B.; MAUAD, F. F. Estimativa da erosão em carreadores de cana-de-açúcar através da Equação Universal de Perdas de Solo Estimation of erosion in earth roads of sugar cane using Universal Soil Loss Equation. *Eng Sanit Ambient*, v.24, n.5, p.959-963, 2019.
- SCHWEINGRUBER, F. H. *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology*, 1st ed.; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, the Netherlands, 1988, 276p.
- SHEPPARD, P. R. Dendroclimatology: extracting climate from trees. *John Wiley & Sons, Ltd*, v.1, p.343-352, 2010.

ŠILHÁN, K. Dendrogeomorphological analysis of the evolution of slope processes on flysch rocks (vsetínské vrchy mts; czech republic). **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**, v. 7, n. 3, p. 39–49, 2012.

ŠILHÁN, K.; RUŽEK, I.; BURIAN, L. Dynamics of gully side erosion: A case study using tree roots exposure data. **Open Geosciences**, v.8, p.108-116, 2016.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.253-260, 2001.

SILVA, D. G.; PELÁ, M. C. H. As multiterritorialidades do jardim botânico amália hermano teixeira. **Revista Acadêmica Educação e Cultura em Debate**, v. 3, n. 1, p. 57-77, 2017.

SILVA, M. S. **Anatomia ecológica e potencial econômico da madeira de espécies nativas da Mata Atlântica, Serra da Jiboia, Bahia, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Botânica, - Feira de Santana, 2013. 167p.

SMITH, R. M.; STAMEY, W. L. How to establish erosion tolerances. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.19, n. 3, p.110-111, 1964.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

SOLOMINA, O. N. Dendrogeomorphology: research requirements. **Dendrochronologia**, v. 20, n.1-2, p. 233-245, 2002.

SONG, Y. H.; YUN, R.; LEE, E. H.; LEE, J. H. Predicting Sedimentation in Urban Sewer Conduits. **Water**, v.10, n. 462, p.1-16, 2018.

SOUSA, S. B.; JÚNIOR, L. G. F. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **RA'EGA**, v.26, p. 75-99. 2012.

SPONGA, M.; COELHO, I. Recuperação de voçoroca no Jardim Botânico de Goiânia com uso de técnicas de engenharia naturalística. In: **VII Simpósio Nacional de Controle de erosão**, 2001. Goiânia. Anais... Goiânia: ABGE, p.1-14, 2001.

STOFFEL, M. **Spatio-temporal analysis of rockfall activity into forests – results from tree-ring and tree analyses**, PhD thesis, Faculty of Science, University of Fribourg, GeoFocus, 12, 1–188, 2005.

STOFFEL, M.; BOLLSCHWEILER, M. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 8, p. 187–202, 2008.

STOFFEL, M.; CASTELLER, A.; LUCKMAN, B. H.; VILLALBA, R. Spatiotemporal analysis of channel wall erosion in ephemeral torrents using tree roots-An example from the Patagonian Andes. **Geology**, v. 40, n.3, p.247-250, 2012.

STOFFEL, M.; CORONA, C.; BALLESTEROS-CÁNOVAS, J. A.; BODOQUE, J. M. Dating and quantification of erosion processes based on exposed roots. **Earth-Science Reviews**, v. 123, p. 18-34, 2013.

STRUNK, H. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. **Catena**, v. 31, n.1-2, p.137-151, 1997.

SUNOHARA, Y.; IKEDA, H. Effects of trampling and ethephon on leaf morphology in trampling-tolerant *Plantago asiatica* and *Eleusine indica*. **Weed Research**, v.43, p.155–162, 2003.

TEIXEIRA, B. M. R. **Variabilidade radial e longitudinal de propriedades da madeira de angico-vermelho (*anadenanthera peregrina* (L.) spg.).** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2008. 74p.

TOMAZELO, FILHO M.; LISI, C. S.; HANSEN, N.; CURY, G. Anatomical features of increment zones in different tree species in the different tree species in the State of São Paulo, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 66, p.46-55, 2004.

TUCCI, C. E. M. Urban Waters. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p.97-112, 2008.

URQUIZA, M. V. S. **Crescimento e idade de cinco espécies arbóreas do Morro Santa Cruz, Corumbá-MS.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação. Campo-Grande, 2008. 53p.

VANDEKERCKHOVE, L.; MUYS, B.; POESEN, J.; WEERDT, B.; COPPÉ, N. A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates. **Catena**, v. 45, n. 2, p.123-161, 2001.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo, McgrawHill do Brasil/EDUSP, 1977. 509p.

VASENEV, V. I.; SMAGIN, A. V.; ANANYEVA, N. D.; IVASHCHENKO, K. V.; GAVRILENKO, E. G.; PROKOFEEVA, T. V.; PATLSEVA, A.; STOORVOGEL, J. J.; GOSSE, D. D.; VALENTINI, R. Urban Soil's Functions: Monitoring, Assessment, and Management. In: RAKSHIT, A.; ABHILASH, P. C.; SINGH, H. B.; GHOSH, S. (eds.). **Adaptive Soil Management: From Theory to Practices.** Springer Nature: Singapore. 2017, p. 359 – 409.

WANTZEN, K.; MOL, J. Soil Erosion from Agriculture and Mining: A Threat to Tropical Stream Ecosystems. **Agriculture**, v.3, p.660-683, 2013.

WENK, C. Applying an edit distance to the matching of tree ring sequences in dendrochronology. **Journal of Discrete Algorithms**, v. 1, n. 5–6, p.367-385, 2003.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington, DC: USDA. (Agriculture handbook, 537). 1978. 67p.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 87, p. 391- 403, 1999.

ZANELLA, M. E. Eventos pluviométricos e impactos gerados na cidade de Curitiba/PR – bairro Cajuru: um destaque para as inundações urbanas. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 5, n. 9, 2006.

ZHANG, K.; WANG, S.; BAO, H.; ZHAO, X. Characteristics and influencing factors of rainfall-induced landslide and debris flow hazards in Shaanxi Province, China. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, v. 19, p.93–105, 2019.

Apêndice I

1 - Ficha de descrição morfológica do perfil de solo P1N – Localizado na nascente da Área I do Jardim Botânico de Goiânia/GO.

Informações: Coordenadas: 16°43'656" S; 49°15'522"O; Provável Classificação (ou Regional): Plintossolo; Relevo local/Declividade: Ondulado 12 – 20%, Material de origem: Xisto/Ginaisse; Formação Geológica: Grupo Araxá.

Horizontes Diagnósticos	Prof. (Cm)	Cor (Munsell)		Agregados (Estrutura)			Consistência			Textura	Transição	Serosidade	Atração Magnética
		Seca	Úmida	Tipo	Tamanho	Grau	Seca	Úmida	Molhada				
A1	0 – 18	2,5 YR 3/6	2,5 YR 3/6	Granular	Pequeno	Fraco	Lig. Dura	Muito Friável	Plástica e Não Pegajosa	Argilosa a pouco arenosa	Difusa	Ausente	Fraca
C1	18 – 50	2,5 YR 3/6	2,5 YR 3/4	Granular a Blocos	Pequeno a médio	Fraco	Lig. Dura	Firme	M. Plástica a Pegajosa.	Argilosa +	Gradual	Pouca/Muito fraca	Fraca
A ₂ II	50 -68	2,5 YR 3/2	2,5 YR 3/2	Granular	Pequeno a médio	Moderado	Lig. Dura	Muito Firme	M. Plástica e M. Pegajosa.	M. Argilosso ++	Gradual	Pouca a Fraca	Fraca
A ₃	68-80	5 YR 4/6	5 YR 3/3	Granular a blocos Subangular	Médio	Moderado a fraco	Macia	Firme	M. Plástica e M. Pegajosa.	M. Argilosso ++	Abrupta	Ausente	Fraca
A ₄ II	80-93	5 YR 2.5/1	5 YR 2.5/1	Granular	Médio	Moderado a fraco	Muito dura	Firme	M. Plástica e Pegajosa.	Média argilosa	Clara	Ausente	Fraca
B1	93-114	5 YR 2.5/1	5 YR 2.5/1	Blocos Sub. Angular	Médio a pequeno	Moderado a forte	Macia	Muito firme	Plástica a Não pegajosa	Arenosa/ Argilosa	Clara	Ausente	Fraca
B2	114 - 163	2,5 YR 2.5/1	2,5 YR 2.5/1	Blocos Sub. Angular	Médio	Moderado a forte	Extremamente Dura	Muito firme	Plástica a Lig. Pegajosa	Argilosa/ Arenosa	Difusa	Ausente	Fraca
B3	163 - 169	2,5 YR 5/1	2,5 YR 4/1	Blocos Sub. Angular	Médio a pequeno	Moderado a fraco	Muito dura	Friável	M. Plástica a M. Pegajosa	Mais Arenosa	Clara	Ausente	Fraca
B4	169 +	2,5 YR 4/1	2,5 YR 3/1	Maciça	Médio	Moderado a forte	Lig. Dura	Muito firme	M. Plástica a Lig. Pegajosa	Arenosa ++	-	Ausente	Fraca

Apêndice II

2- Ficha de descrição morfológica do perfil de solo P1F – Localizado na próximo do curso hídrico da Área II do Jardim Botânico de Goiânia/GO.

Informações: **Coordenadas:** 16°43'16.20"S; 49°14'44.45"O; **Provável Classificação (ou Regional):** Cambissolo; **Relevo local/Declividade:** Forte Ondulado ~ 20%; **Material de origem:** Muscovita/Xisto; **Formação Geológica:** Grupo Araxá.

Horiz. Diagn.	Prof. (Cm)	Cor (Munsell)		Agregados (Estrutura)			Consistência			Textura	Transição	Serosidade	Atração Magnética
		Seca	Úmida	Tipo	Tamanho	Grau	Seca	Úmida	Molhada				
A1	0 a 8	2,5 YR 2,5/3	2,5 YR 3/3	Granular	Pequeno	Sem agregação	Solta	Muito Friável	Não Plástica e Não pegajosa	Muito arenoso	Gradual	Ausente	Fraca
C1	8 a 33	2,5 YR 3/6	2,5 YR 3/6	Granular	Médio	Fraca	Macia	Solta	Não Plástica e Não pegajosa	Muito arenoso ++	Difusa	Ausente	Moderada
A ₂ II	33 a 41	2,5 YR 3/6	2,5 YR 2,5/4	Granular	Grande	Moderado a fraca	Macia	Muito Friável	Plástica e pegajosa	Argiloso	Difusa	Ausente	Forte
A ₃	41 a 58	5 YR 3/4	5 YR 3/2	Granular	Médio	Fraca	Macia	Friável	Plástica e pegajosa	Argiloso	Gradual	Pouca a muito fraca	Moderada
A ₄ II	58 a 64	5 YR 3/4	5 YR 3/4	Subangular	Grande	Moderado	Macia	Firme	Plástica a Lig. pegajosa	Argiloso/Arenoso	Abrupta	Pouco a muito fraco	Fraca a moderada
O	64 a 114	5 YR 3/1	5 YR 2,5/1	Sub. Ang.	Muito Grande	Moderado a forte	Macia	Friável	Lig. Plástica a N. Pegajosa	Argilosa + que o anterior	Abrupta	Ausente	Muito forte
A1	114 a 121	5 YR 2,5/1	5 YR 3/1	Granular	Pequeno	Fraca	Macia	Solta	N. Plástica a N. Pegajosa	Muito Arenosa ++ Areia Grossa	Abrupta	Ausente	Muito fraca/Ausente
A2	121 a 138	5 YR 2,5/1	5 YR 3/1	Granular	Muito Grande	Forte	Macia	Friável	Lig. Plástica a Lig. Pegajosa	Argiloso	Gradual	Pouca a muito fraca	Fraca
A/B	138 a 165	10 YR 6/8	10 YR 5/8	Maciço	Pequeno	Forte	Extremamente Dura	Muito firme	Plástica e Pegajosa	Siltosa	Abrupta (+ clara amarelada)	Ausente	Ausente
Bi	165 a 190	10 YR 7/3	10 YR 6/3	Maciço	Muito grande	Forte	Extremamente Dura	Muito firme	Muito Plástica e Pegajosa	Siltosa a pouco arenosa	Abrupta (+ branca)	Ausente	Forte a muito forte
C	190 +	10 YR 5/6	10 YR 5/8	Maciço	Grande	Forte +	Extremamente Dura	Muito firme	Lig. Plástica e Não Pegajosa	Siltosa a arenosa +	Abrupta	Ausente	Ausente

Apêndice III

Concentração dos micronutrientes biodisponíveis no solo e matéria orgânica. Concentração em milimols de carga por decímetro cúbico de solo (mmolc/dm³) e miligramas por decímetro cúbico de solo (mg/dm³).

Nº das Amostras	M.O.	pH	P(Mehl)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ Al ³⁺	Al ³⁺	CTC	M	V	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
	%	(CaCl ₂)	Mg.dm ³	mg.dm ³		cmolc.dm ³	cmolc.dm ³	cmolc.dm ³	cmole.dm ³	%	%	%	%	%	%	%	
P1 - (0 a 20 cm)	0,9	5,7	0,9	159,0	3,0	0,9	1,5	0,0	5,8	0,0	74,2	3,3	2,2	7,4	51,7	15,5	7,0
P2 - (0 a 20 cm)	2,6	5,0	1,5	160,0	6,3	1,6	2,5	0,0	10,8	0,0	76,9	3,9	3,9	15,4	58,3	14,8	3,8
P3 - (0 a 20 cm)	2,6	3,9	3,0	158,0	0,6	0,6	9,0	1,9	10,6	54,2	15,1	1,0	1,5	1,5	5,7	5,7	3,8
P4 - (0 a 20 cm)	2,0	7,5	14,8	115,0	7,3	0,5	0,8	0,0	8,9	0,0	91,0	14,6	1,7	24,8	82,1	5,6	3,3
P5 - 0 a 20 cm	2,1	4,1	2,4	150,0	1,1	0,7	8,1	0,9	10,3	29,2	21,2	1,6	1,8	2,9	10,7	6,8	3,7
P6 - (0 a 20 cm)	2,1	4,3	1,5	124,0	1,3	0,7	6,6	0,6	8,9	20,6	26,0	1,9	2,2	4,1	14,6	7,9	3,6
P7 - (0 a 20 cm)	2,9	4,4	0,6	92,0	1,1	0,8	5,3	0,6	7,4	21,9	28,7	1,4	3,4	4,7	14,8	10,8	3,2
P8 - (0 a 20 cm)	3,4	5,1	11,6	1660,0	4,5	2,0	4,3	0,0	15,0	0,0	71,4	2,3	0,5	1,1	29,9	13,3	28,2
P9 - (0 a 20 cm)	2,0	4,7	3,0	160,0	2,1	0,9	4,3	0,1	7,7	2,8	44,2	2,3	2,2	5,1	27,2	11,7	5,3
P10 - (0 a 20 cm)	1,7	4,7	4,7	152,0	1,8	1,3	3,9	0,2	7,4	5,4	47,2	1,4	3,3	4,6	24,4	17,6	5,3
P1F - (A1 - 0 a 8 cm)	0,7	5,1	5,0	134,0	1,7	0,7	1,9	0,0	4,6	0,0	59,1	2,4	2,0	5,0	36,6	15,1	7,4
P1F - (C1 - 8 a 33 cm)	0,6	5,4	0,9	70,0	0,8	0,4	1,5	0,0	2,9	0,0	47,9	2,0	2,2	4,5	27,8	13,9	6,2
P1F - (A ₂ II - 33 a 41 cm)	0,9	5,2	0,6	95,0	2,9	0,9	2,1	0,0	6,1	0,0	65,8	3,2	3,7	11,9	47,2	14,7	4,0
P1F - (A ₃ - 41 a 58 cm)	1,1	5,0	0,9	39,0	3,2	0,8	2,5	0,7	6,6	14,6	62,1	4,0	8,0	32,1	48,5	12,1	1,5
P1F - (A ₄ II - 58 a 64 cm)	0,6	5,2	0,9	17,0	1,7	0,3	2,3	0,0	4,3	0,0	47,0	5,7	6,9	39,1	39,1	6,9	1,0
P1F - (O - 64 a 114 cm)	1,5	4,1	6,4	23,0	0,4	0,1	6,6	1,3	7,2	69,9	7,8	4,0	1,7	6,8	5,6	1,4	0,8
P1F - (A ₁ - 114 a 121 cm)	0,7	4,2	20,0	14,0	0,2	0,1	4,8	0,7	5,1	67,6	6,5	2,0	2,8	5,6	3,9	1,9	0,7
P1F - (A ₂ - 121 a 138 cm)	1,7	4,2	6,8	21,0	0,8	0,3	5,9	1,0	7,1	46,4	16,4	2,7	5,6	14,9	11,3	4,3	0,8
P1F - (A/B - 138 a 165 cm)	0,9	5,7	14,8	15,0	1,3	1,6	1,4	0,0	4,3	0,0	67,7	0,8	41,7	33,9	30,0	36,9	0,9
P1F - (Bi - 165 a 190 cm)	0,3	6,0	10,3	12,0	0,8	1,2	1,1	0,0	3,1	0,0	64,9	0,7	39,1	26,1	25,6	38,3	1,0
P1F - (C - 190+)	0,3	5,2	14,3	40,0	0,1	0,1	1,2	0,0	1,5	0,0	20,1	1,0	1,0	6,7	6,7	6,8	
P1N - (A1 - 0 a 18 cm)	1,1	6,4	3,0	90,0	2,9	0,4	1,1	0,0	4,6	0,0	76,2	7,3	1,7	12,6	62,6	8,6	5,0
P1N - (C1 - 18 a 50 cm)	1,7	6,0	1,2	57,0	2,8	0,2	1,5	0,0	4,6	0,0	67,7	14,0	1,4	19,2	60,3	4,3	3,1
P1N - (A ₂ II - 50 a 68 cm)	1,7	5,8	1,2	43,0	4,2	0,2	1,9	0,0	6,4	0,0	70,4	21,0	1,8	38,2	65,5	3,1	1,7

Continuação Apêndice III...

Concentração dos micronutrientes biodisponíveis no solo e matéria orgânica. Concentração em milimols de carga por decímetro cúbico de solo (mmolc/dm³) e miligramas por decímetro cúbico de solo (mg/dm³).

Nº das Amostras	M.O.	pH	P(Mehl)	K+	Ca2+	Mg2+	H+Al3+	Al3+	CTC	M	V	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
	%	(CaCl ₂)	Mg.dm ³	mg.dm ³		cmole.dm ³	cmole.dm ³	cmole.dm ³	cmole.dm ³	%	%	%	%	%	%	%	
P1N - (A ₃ - 68 a 80 cm)	1,1	5,7	1,2	25,0	3,5	0,2	2,1	0,0	5,9	0,0	64,2	17,5	3,1	54,7	59,7	3,4	1,1
P1N - (A ₃ II - 80 a 93 cm)	3,7	5,8	6,4	22,0	5,9	1,6	3,5	0,0	11,1	0,0	68,3	3,7	28,4	104,9	53,4	14,5	0,5
P1N - (B1 - 93 a 114 cm)	2,7	5,4	4,7	23,0	4,2	0,2	4,3	0,0	8,8	0,0	50,9	21,0	3,4	71,4	48,0	2,3	0,7
P1N - (B2 - 114 a 163 cm)	2,0	5,9	4,7	17,0	3,9	0,2	3,5	0,0	7,6	0,0	54,2	19,5	4,6	89,7	51,0	2,6	0,6
P1N - (B3 - 163 a 169 cm)	1,0	5,3	11,1	40,0	1,3	0,1	2,1	0,0	3,6	0,0	41,7	13,0	1,0	12,7	36,1	2,8	2,8
P1N - (B4 - 169+ cm)	0,5	5,2	18,9	48,0	1,6	0,3	2,3	0,0	4,3	0,0	46,8	5,3	2,4	13,0	37,0	6,9	2,8
Média	1,6	5,2	5,9	125,8	2,4	0,7	3,3	0,3	6,8	11,1	50,1	6,1	6,2	22,3	35,8	10,3	3,9
Mínimo	0,3	3,9	0,6	12	0,1	0,1	0,8	0	1,5	0	6,5	0,7	0,5	1,0	3,9	1,4	0,5
Máximo	3,7	7,5	20	1660	7,3	2	9	1,9	15	69,9	91	21,0	41,7	104,9	82,1	38,3	28,2

Apêndice IV

Granulometria com percentagens de areia silte e argila do perfil P1N e P1F da unidade de conservação Jardim Botânico de Goiânia/GO.

Amostras	Localização	ID - Pefil	Horizontes	Profundidade (cm)	NaOH (%)		
					Areia	Silte	Argila
30	Área I	P1N	A1	0 - 18	65	14	21
31		P1N	C1	18 - 50	43	40	17
32		P1N	A ₂ II	50 - 68	27	48	25
33		P1N	A ₃	68 - 80	36	40	24
34		P1N	A ₄ II	80 - 93	28	46	26
35		P1N	B1	93 - 114	42	39	19
36		P1N	B2	114 - 163	45	40	15
37		P1N	B3	163 - 169	65	15	20
38		P1N	B4	169 +	54	25	21
19	Área II	P1F	A1	0 - 8	74	7	19
20		P1F	C1	8 - 33	73	10	17
21		P1F	A ₂ II	33 - 41	57	23	20
22		P1F	A ₃	41 - 58	49	31	20
23		P1F	A ₄ II	58 - 64	62	18	20
24		P1F	O	64 - 114	59	20	21
25		P1F	A1	114 - 121	75	4	21
26		P1F	A2	121 - 138	62	16	22
27		P1F	A/B	138 - 165	57	28	15
28		P1F	Bi	165 - 190	59	25	16
29		P1F	C	190 +	67	19	14

Anexo I

1- Autorização da utilização e disponibilização de imagens aéreas (ortofotos) dos anos de 1992, 1999, 2002, 2006, 2011 e 2016, pela da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável - (SEPLAN).



Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação

Ofício nº. 1026/2018 – GAB

Goiânia, 11 de setembro de 2018.

Ao ilustríssimo

RICARDO DE FARIA NICOLAU

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB)

Prezado Senhor,

Ao cumprimentá-lo, em atenção e resposta a solicitação de permissão da cópia das imagens aéreas (ortofotos) do MUBDG – Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia atualizada, com séries temporais da década de 1992, 1999, 2002, 2006, 2011 e 2016 e dos dados vetoriais das avenidas (ruas) em formato vetorial de Goiânia.

Cumprem-nos, informar que está autorizado a obtenção das ortofotos, conforme solicitado pelo Mestrando Ricardo no Programa de pós-graduação, pela Universidade Federal de Goiás.

Atenciosamente,

HENRIQUE ALVES LUIZ PEREIRA

Secretário Municipal de Planejamento Urbano e Habitação

Albani Soares Ferreira
Chefe de Gabinete
Secretaria Municipal de Planejamento
Urbano e Habitação (Seplanh)
Matri. Aula nº 181978

Av. do Cerrado, nº 999, Park Lozandes,
Paço Municipal, Térreo e 1º andar, Bloco E – Goiânia – GO.
CEP: 74884-900 – Tel.: 55 62 3524-6363
seplanh.gabinete@gmail.com



Anexo II

2 - Autorização da Gerência de Arborização Urbana - GERARB da Agência Municipal do Meio Ambiente – (AMMA) de Goiânia-GO. Observação: Existem outras autorizações ao longo do mestrado, a autorização que se encontra em anexo é um exemplo.



Anexo III

3- Autorização 007/2018 da Diretoria de áreas Verdes e Unidades de Conservação e da Gerência do Jardim Botânico de Goiânia/Goiás.



Agência Municipal do Meio Ambiente

Agência Municipal do Meio Ambiente
Diretoria de Áreas Verdes e Unidades de Conservação
Gerência do Jardim Botânico

Autorização 007/2018

A Agencia Municipal do Meio Ambiente AMMA, através da Gerência do Jardim Botânico, no que se refere ao estudo do processo erosivo e de sedimentação no Jardim Botânico, **AUTORIZA** o estudante **Ricardo de Faria Nicolau** a realizar atividade com *finalidade científica* pela **Universidade Federal de Goiás**, conforme a seguinte descrição:

Título do Projeto: "Aplicação de Dendrogeomorfologia para Averiguação da Intensidade do Processo Erosivo e de Sedimentação no Jardim Botânico, Goiânia/GO."

Instituição: Universidade Federal de Goiás - UFG

Equipe Autorizada:

Pesquisador/Mestrando - Ricardo de Faria Nicolau;

Orientadora/Pesquisadora - Karla Maria Silva de Faria;

Pesquisadora - Renata Santos Momoli;

Pesquisador - Matheus Peres Chagas.

Objetivo Geral da Pesquisa: Estimar a intensidade dos processos erosivos no Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JBAHT), utilizando a dendrogeomorfologia como metodologia para análise das alterações anatômicas dos anéis de crescimento, a partir de um reconhecimento histórico anual das taxas médias de perda de solo e sedimentação.

Local: Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira;

Data: de março de 2018 a dezembro de 2019.

Rua 75, esquina com Rua 66, nº. 137,
Edifício Monte Libano, Centro – Goiânia – GO
CEP:74055-110 – Tel: 55 62 3524-1412
amma@amma.goiania.go.gov.br
ascomamma@gmail.com

Av. Botafogo, s/n – Setor Pedro Ludovico
CEP: 74820-005 – Goiânia - GO
Tel: 62 3524-3758
jbgoiania@hotmail.com

3 - Continuação do anexo III...



**PREFEITURA
DE GOIÂNIA**

Agência Municipal do Meio Ambiente

O requerente deverá estar ciente de que:

- Esta autorização não exime o pesquisador titular e membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais;
- O titular de autorização ou de licença, assim como membros de sua equipe, deverá com antecedência prévia de no mínimo 01 (uma) semana comunicar oficialmente a administração do Jardim Botânico AHT, das visitas técnicas a serem realizadas, para que seja designada uma equipe da guarda municipal para acompanhamento dos mesmos, dentro da área do Jardim Botânico.
- O material biológico se coletado, deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior;
- O titular de autorização ou de licença, assim como membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada e o material biológico coletado apreendido nos termos da legislação brasileira em vigor;
- Deverá o solicitante, apresentar relatório das atividades executadas assim como os resultados da pesquisa realizada no prazo máximo de trinta dias após sua apresentação final.

Goiânia, 12 de abril de 2018.


 Agência Municipal do Meio Ambiente
 Gerente do Jardim Botânico
 Edval Barbosa Celdas
 Matrícula 1032266-03

www.goiania.go.gov.br

Rua 75, esquina com Rua 66, nº. 137,
 Edifício Monte Líbano, Centro – Goiânia – GO
 CEP:74055-110 – Tel: 55 62 3524-1412
amma@amma.goiania.go.gov.br
ascomamma@gmail.com

Av. Botafogo, s/n – Setor Pedro Ludovico
 CEP: 74820-005 – Goiânia - GO
 Tel: 62 3524-3758
jbgoiania@hotmail.com