

# Qualidade da paisagem e perdas de solo frente à simulação de cenários ambientais no Cerrado, Brasil

Landscape quality and soil loss across the simulation of environmental scenarios in the Brazilian savannah

Gabriella Santos Arruda de Lima<sup>1</sup> 

Nilson Clementino Ferreira<sup>2</sup> 

Manuel Eduardo Ferreira<sup>3</sup> 

## Palavras-chave:

Fragmentação Florestal  
Métricas da Paisagem  
Antropização  
Vulnerabilidade Ambiental  
Goiânia

## Resumo

O presente estudo utilizou-se de fundamentos da ecologia, por meio da aplicação de algumas métricas espaciais, para verificar a atual fragmentação da paisagem na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), com o objetivo de estabelecer áreas prioritárias para manutenção e para a recomposição florestal. Para tanto, foi realizada a simulação de três cenários, o primeiro representando a situação atual, o segundo considerando a recomposição florestal em Áreas de Proteção Permanente (APP) ao longo dos cursos d'água, enquanto no terceiro cenário, o reflorestamento nas regiões de alta e muito alta vulnerabilidade ambiental na área de estudo. A presente investigação também propôs avaliar a perda de solo por erosão laminar aplicado aos três cenários propostos para a região. Constatou-se que na RMG, de acordo com a atual configuração da paisagem, tem-se alta fragmentação dos remanescentes de vegetação, sendo a manutenção e conservação dos remanescentes fundamental, e o reflorestamento altamente recomendado. A espacialização desses resultados e indicação de áreas para reflorestamento e conservação servem de orientação às políticas públicas e na tomada de decisão coletiva envolvendo todos os municípios da RMG.

## Keywords:

Forest Fragmentation  
Landscape Metrics  
Anthropization Environmental  
Vulnerability  
Cerrado

## Abstract

The present study used ecology fundamentals, through the application of some spatial metrics, to verify the current fragmentation of the landscape in the Metropolitan Region of Goiânia (RMG), with the objective of establishing priority areas for forest maintenance and recomposition. For this, three scenarios were simulated, the first current, the second considering the

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. Goiânia, GO, Brasil. [gabibela\\_l@hotmail.com](mailto:gabibela_l@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil e Ambiental - EECA. Goiânia, GO, Brasil. [nclferreira@gmail.com](mailto:nclferreira@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Goiás. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. Goiânia, GO, Brasil. [mferreira.geo@gmail.com](mailto:mferreira.geo@gmail.com)

restoration of forests in areas of permanent protection (APP) along the water courses, while in the third scenario the reforestation in the regions of high and very high environmental vulnerability study area. This research also proposed to evaluate the loss of soil by laminar erosion applied to the three proposed scenarios for the region. It was found that in the RMG, according to the current configuration of the landscape, there has been high fragmentation of remnant vegetation, where the reforestation is highly recommended. The spatialization of these results and the indication of areas for reforestation and conservation serve as a guide to public policies and in collective decision-making involving all the municipalities of RMG.

## INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agrícola e o processo de urbanização são fatores conhecidos na degradação ambiental em todo o mundo. Uma das consequências do processo de urbanização é a fragmentação da cobertura vegetal nativa, derivada da expansão e modificação do uso da terra sobre áreas preservadas, ocasionando o chamado “efeito de borda” e o inevitável enfraquecimento de um bioma. À medida que as transformações avançam, aumenta-se também o grau de isolamento dos remanescentes de vegetação (FORMAN; GODRON, 1986; TURNER, 1996; RODRIGUES, 1998; TILMAN, 1999). Dentre os fatores responsáveis pela fragmentação de habitats, tem-se causas naturais, como flutuações de cursos hidrográficos, alagamentos, bem como as causas associadas à expansão das atividades humanas.

Pode-se elencar como as maiores causas da fragmentação no Cerrado os desmatamentos e as queimadas, os quais pressionam as áreas remanescentes e a vida de animais silvestres. Mesmo com a soma de esforços dos órgãos ambientais estaduais e federais, os desastres ainda ocorrem com elevada frequência, todos os anos (CAMARGO; SCHMIDT, 2009; BRITO, 2012). Faz-se necessário, portanto, a preservação dos fragmentos florestais e a ampliação de suas conectividades, para que as funções ecológicas possam ser cumpridas adequadamente, propiciando o fluxo de espécies.

Neste estudo, a fragmentação no Cerrado é abordada no âmbito da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), uma área de 7.315 km<sup>2</sup>, situada no centro do bioma Cerrado, bastante afetada pela expansão da fronteira agrícola (intensificada nesta região entre nas décadas de 1970 e 1990), com altos índices de desmatamento e mudanças no padrão de uso da

terra. A menor abrangência espacial propicia também um maior controle da metodologia, fazendo-se uso de bases de dados atualizadas e com maior escala cartográfica. A RMG ainda possui o agravante da alta concentração de área urbana, o que implica em mudanças mais drásticas da paisagem, como a poluição industrial, deposição de dejetos em rios, urbanização de APP, entre outros.

Assim, este trabalho tem como meta principal mensurar e avaliar a atual fragmentação da vegetação remanescente na Região Metropolitana de Goiânia, utilizando como fundamento as métricas da paisagem, visando estabelecer áreas prioritárias para manutenção e para a recomposição florestal. Para tanto, propõe-se a geração de três cenários (um atual, e dois futuros), com diferentes níveis de cobertura florestal e impactos na perda de solo por erosão laminar. O primeiro trata-se do cenário atual, o segundo considera-se o cumprimento integral da legislação florestal referente às Áreas de Proteção Permanente (APP) ao longo dos cursos d'água; e o terceiro, o reflorestamento apenas nas regiões de alta e muito alta vulnerabilidade ambiental.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Caracterização da área de estudo*

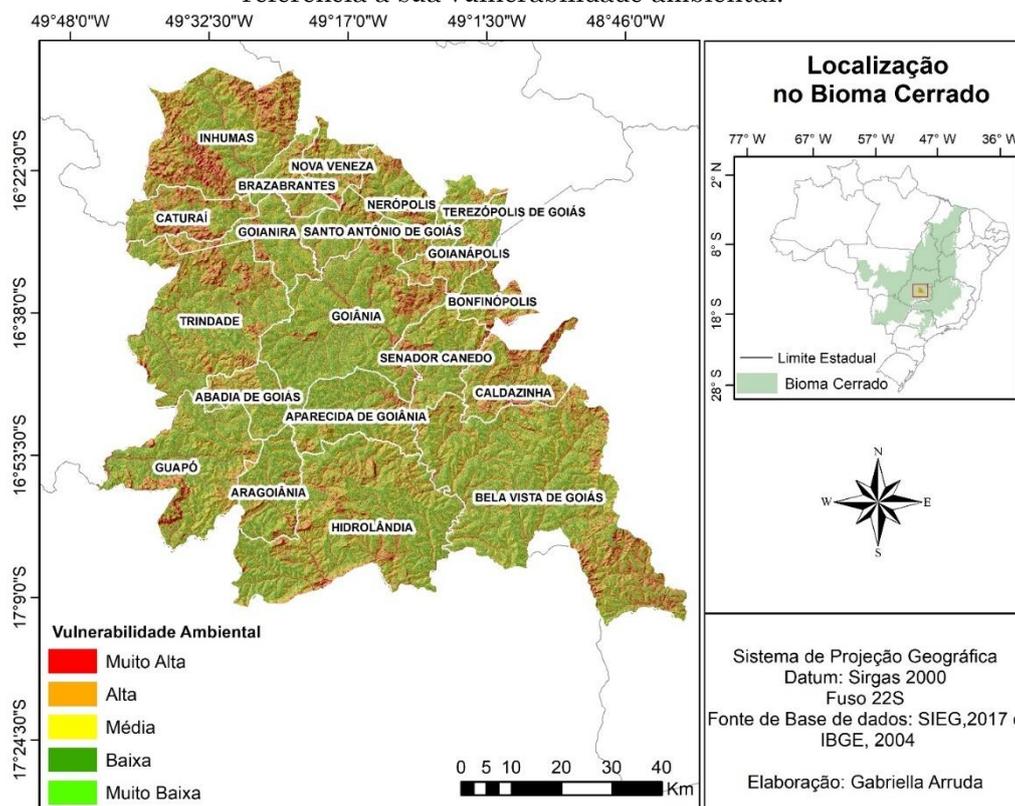
Localizada na porção centro-sul do estado de Goiás (Figura 1), entre os paralelos 16° 08' e 17° 12', e os meridianos 49° 44' e 48° 48', a Região Metropolitana de Goiânia foi constituída no ano de 1999, inicialmente com 11 municípios. Em 2010 e 2011, a RMG passou ao seu formato atual, com 20 municípios, ocupando um território de 7.315 km<sup>2</sup>.

No âmbito do Projeto de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Goiânia

(PDIRMG, 2017), foi realizado o mapeamento da vulnerabilidade ambiental, o qual, por sua vez, empregou os mapas de potencialidade erosiva, índice de umidade topográfica, profundidade do lençol freático e declividade do relevo. O mapa final de vulnerabilidade foi

categorizado em cinco classes, sendo elas: muito alta vulnerabilidade, alta vulnerabilidade, média vulnerabilidade, baixa vulnerabilidade e muito baixa vulnerabilidade, conforme Figura 1.

Figura 1 – Localização da região metropolitana de Goiânia e dos municípios integrantes, com referência à sua vulnerabilidade ambiental.



Fonte: PDIRMG (2017). Org.: dos Autores, 2018.

Nessa região foram criadas Unidades de Conservação (UC) destinadas à preservação da biodiversidade, a citar, como Unidades de Proteção Integral, o Parque Estadual João Leite (PEJol), o Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP), e o Parque Estadual Telma Ortegal (PETO); e como Unidades de Uso Sustentável, Área de Proteção Ambiental João Leite (APA – João Leite) e Área de Proteção Ambiental Serra das Areias (APA – Serra das Areias). Juntas, essas unidades totalizam 97.653 ha, ou 13% da área total da RMG.

### Procedimentos metodológicos

Com o propósito de realizar a análise da fragmentação da paisagem, estabelecer áreas prioritárias à restauração florestal, bem como

mensurar a perda de solo após os cenários de restauração florestal, foram definidas as seguintes etapas:

- i) visitas em campo para validação do mapa de uso e cobertura da terra;
- ii) delimitação de locais para reflorestamento em Áreas de Proteção Permanente (APP);
- iii) delimitação de áreas para reflorestamento, utilizando como base o mapeamento de vulnerabilidade ambiental;
- iv) realização de dois cenários simulados, a serem comparados com o cenário atual de vegetação remanescente (referência): a) Cenário APP: vegetação remanescente + APP; b) Cenário reflorestamento: vegetação remanescente + reflorestamento.
- v) cálculo das métricas da paisagem para o cenário atual (referência) e simulados, utilizando o plug-in Patch Analyst 5.2 para o software ArcGis (Esri) desenvolvido por Rempel

et al. (2012);

vi) cálculo da perda de solo por erosão laminar entre o cenário atual e os cenários simulados (considerando-se a fusão das duas superfícies de florestas restauradas, isto é, APP e Reflorestamentos em áreas vulneráveis).

Na etapa do trabalho de campo (outubro 2017), foram visitados pontos distribuídos aleatoriamente em um raio de 40 metros das rodovias da RMG e também realizou-se o posicionamento geográfico desses pontos por meio da utilização de GPS em tempo real em campo, com auxílio do aplicativo Avenza Maps. Os pontos coletados foram plotados no mapa de uso e cobertura da terra elaborado por Lima et al. (2017), objetivando, além da validação do mapeamento, verificar a atual situação da fragmentação florestal.

Para se aplicar os cenários de reflorestamento, fez-se necessário discutir o atual estágio de conservação do ativo ambiental na região. Para tanto, realizou-se inicialmente uma validação do mapa de uso e cobertura da terra de acordo com os pontos visitados em campo, resultando na confirmação da classificação realizada.

Por exemplo, nas áreas em que se encontravam com solo exposto, a classificação foi mantida como indicada inicialmente, sendo este procedimento adotado devido à variação anual com a qual se trabalha com a terra, como safra e queimadas, que alteram o aspecto visual e a resposta espectral do alvo, mas em geral não modificam o uso da terra.

O mapa de uso e ocupação da Região Metropolitana de Goiânia foi utilizado para quantificar os diversos usos e, principalmente, aplicar as métricas da paisagem sobre a classe de remanescente de vegetação. De acordo com Lima et al. (2018), a elaboração desse mapa se deu a partir de imagens Landsat 8/sensor OLI, para os anos de 2015 e 2016. As classes consideradas foram agricultura, área urbana, vegetação remanescente, corpos hídricos e pastagem.

No âmbito desse trabalho, foram considerados as APP de trinta metros (30 m) para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura, e cinquenta metros (50 m) para os cursos d'água que tenham entre 10 (dez) e 50 (cinquenta) metros de largura. Considerando-se como curso d'água aqueles de origem natural, perene ou intermitente, desde a borda da calha até o leito regular. Foram mapeadas também as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio de cinquenta metros (50 m), conforme orientação

do Código Florestal (BRASIL, 2012).

Para tanto, foi adquirida a hidrografia linear proveniente da base cartográfica produzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:100.000, e disponibilizado pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG). Essa base de dados foi utilizada para elaborar o mapeamento de áreas de influência (buffers), em cada margem dos principais cursos de água e no entorno das nascentes, simulando adequação legal da APP.

Também foram selecionadas regiões para reflorestamento em áreas de Alta e Muito Alta vulnerabilidade ambiental, definidas quanto aos aspectos abióticos, de suscetibilidade erosiva, índice de umidade topográfica, profundidade do lençol freático e declividade do relevo.

Conforme a metodologia (PDIRMG, 2017), do mapeamento da vulnerabilidade ambiental foram produzidos os seguintes produtos cartográficos: mapa de suscetibilidade erosiva, o qual foi realizado utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (USLE, na sigla em inglês); a altimetria, produzida a partir da integração entre dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e dados aerofotogramétricos, em seguida realizou-se a interpolação dos dados por meio do método Australian National University Digital Elevation Model (ANUDEM), com a finalidade de obter um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) para a RMG, com detalhamento espacial de 10 metros. O MDEHC resultante foi utilizado para produzir o mapa de declividade em graus.

O cálculo do índice de umidade topográfica é proveniente da álgebra de mapas entre a acumulação de fluxo e o mapa de declividade em graus, sendo que, esses dois mapeamentos são obtidos a partir do mapa altimétrico (Modelo Digital de Terreno - MDE). A profundidade e o mapeamento do lençol freático foram obtidos a partir do nível estático, observado em poços tubulares profundos, localizados na RMG. Esses dados são disponibilizados pelo portal de dados do Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG). Tais produtos foram integrados e categorizados, resultando no mapa de vulnerabilidade ambiental, dividido segundo a classificação de Ferreira (2014), sendo elas: muito alta vulnerabilidade, alta vulnerabilidade, média vulnerabilidade, baixa vulnerabilidade e muito baixa vulnerabilidade.

Após a análise da paisagem (métricas espaciais), mapeamento de APP e delineamento

de áreas prioritárias para recomposição florestal, partiu-se para a criação de cenários, sendo eles: remanescente atual; remanescente atual + APP; remanescente atual + reflorestamento. Tais cenários foram elaborados com o objetivo de mensurar a área a ser reflorestada, atender parcialmente a legislação que trata das APP, realizar a comparação com a atual fragmentação florestal e verificar o potencial benéfico do reflorestamento na perda de solo por erosão laminar.

O cenário “Atual” de perda de solo foi obtido a partir do mapeamento de suscetibilidade erosiva elaborado por Lima et al. (2018). Para comparar as perdas de solo, foi simulado o cenário APP + Reflorestamento, a partir do qual foi elaborado um novo mapeamento de suscetibilidade erosiva. Tais mapas foram produzidos utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (USLE, na sigla em inglês). Essa equação é composta pelos fatores de erosividade, erodibilidade, topografia, uso e cobertura da terra e práticas de manejo. A partir desses fatores é realizado a álgebra de mapas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), resultando na suscetibilidade erosiva espacializada.

O mapeamento da suscetibilidade erosiva do cenário simulado (APP + Reflorestamento) utilizou como base os mesmos fatores (erosividade, erodibilidade, topografia), e a mesma metodologia, no entanto, foi modificado o fator de uso e cobertura da terra, acrescentando-se as áreas simuladas na recomposição florestal.

Para verificar a situação da fragmentação atual, e também para os dois cenários (APP e Reflorestamento), optou-se pela definição das métricas da paisagem. De acordo com o programa computacional Patch Analyst 5.2, a métrica utilizada para determinar o somatório total dos fragmentos remanescentes foi a área da classe (CA). Para análise da densidade e tamanho do fragmento, utilizou-se a métrica de tamanho médio dos fragmentos (MSP) e a de número de fragmentos (NUMP). A métrica de forma foi gerada com o índice de forma média (MSI), finalizando com a avaliação da proximidade entre os fragmentos, a partir da distância média do vizinho mais próximo (MNN).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### *Análise do uso e cobertura da terra*

Na Figura 2 está representado o mapa atual de uso e cobertura da terra de acordo com os pontos visitados em campo, podendo ser observado três locais visitados com o respectivo uso da terra em registro fotográfico.

Os dados levantados em campo, a partir da coleta de pontos e do registro fotográfico, ressaltaram a forte presença de pastagem na região. De acordo com este mapeamento (Lima et al., 2017), a matriz predominante na paisagem é a pastagem, presente em 58,21% da área, seguida pelos remanescentes de Cerrado, com 23,28%, agricultura, com 8,32%, e área urbana (atualmente em expansão), com 9,15% da região.

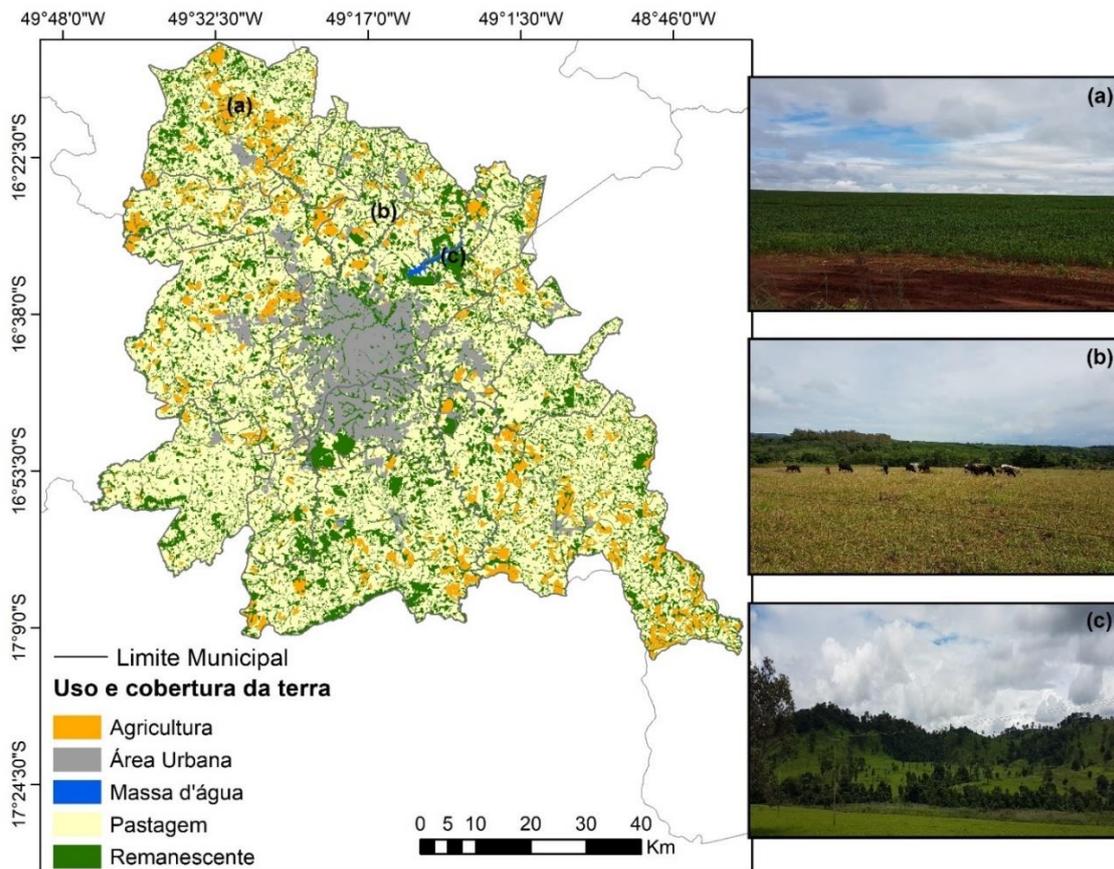
Quanto aos remanescentes de vegetação, objeto de estudo nessa pesquisa, as visitas em campo permitiram observar que eles se encontram sob forte pressão antrópica, principalmente pela expansão urbana e de atividades agropastoris. Foi possível perceber a alta urbanização. Como constatado entre as décadas de 1990 e 2000 a região atingiu uma taxa de urbanização de 98% (IBGE, 2010).

### *Análise do cenário atual utilizando métricas da paisagem*

A análise das métricas da paisagem indicou que atualmente a região possui (NUMP) 6.139 fragmentos florestais, indicando alto grau de ruptura dessa unidade da paisagem. Esses fragmentos estão distribuídos em 173.447 hectares de remanescentes, o que representa 23,28% de vegetação remanescente do total da paisagem da RMG em seus 20 municípios. Segundo Metzger (1998), o restabelecimento da conectividade deve ser altamente considerado nas regiões onde o processo de fragmentação da cobertura original é intenso e ultrapassou o limiar de 30% de cobertura florestal.

O tamanho dos fragmentos varia entre 0,3 e 3.136,05 ha, com tamanho médio das manchas (MSP) igual a 28,25 ha. Ressalta-se que, 49% dos fragmentos possuem área inferior a 10 ha, indicando a predominância de pequenos fragmentos. De acordo com Pirovani et al. (2014), a métrica relacionada a área dos fragmentos é um dos principais fatores para avaliar seu grau de conservação. As áreas menores suportam menor número de espécies animais. Quanto maior o número de fragmentos, maior a redução da diversidade de habitats e, conseqüentemente, no número de habitats (CULLEN et al., 2005; ALBERGARIA, 2006).

Figura 2 – Mapa de uso e cobertura da terra com os respectivos registros fotográficos em campo. Agricultura (a); pastagem (b); remanescente (c).



Org.: dos Autores, 2018.

O índice de forma média (MSI), resultou em 2,11, indicando baixa circularidade dos fragmentos. Nesse índice, os valores que mais se aproximam de 1 representam as formas mais circulares ou ideais da paisagem, devido a uma menor influência do efeito de borda sobre o ecossistema (LANG; BLASCHKE, 2009).

Para avaliar a proximidade entre os fragmentos, fez-se uso da distância média do vizinho mais próximo (MNN), no qual obteve-se uma distância média de 442,15 metros, revelando a distância média entre os fragmentos, baseada na distância borda a borda. Essa métrica indica que atualmente os fragmentos da RMG encontram-se distantes entre si, revelando o baixo índice de conectividade entre os remanescentes de vegetação. O grau de isolamento da paisagem interfere no fluxo gênico entre as manchas florestais, potencializando esses efeitos da fragmentação sobre os habitats (VIANA, 1998; ALANDI et al., 2009).

### *Análise do cenário de APP utilizando*

### *métricas da paisagem*

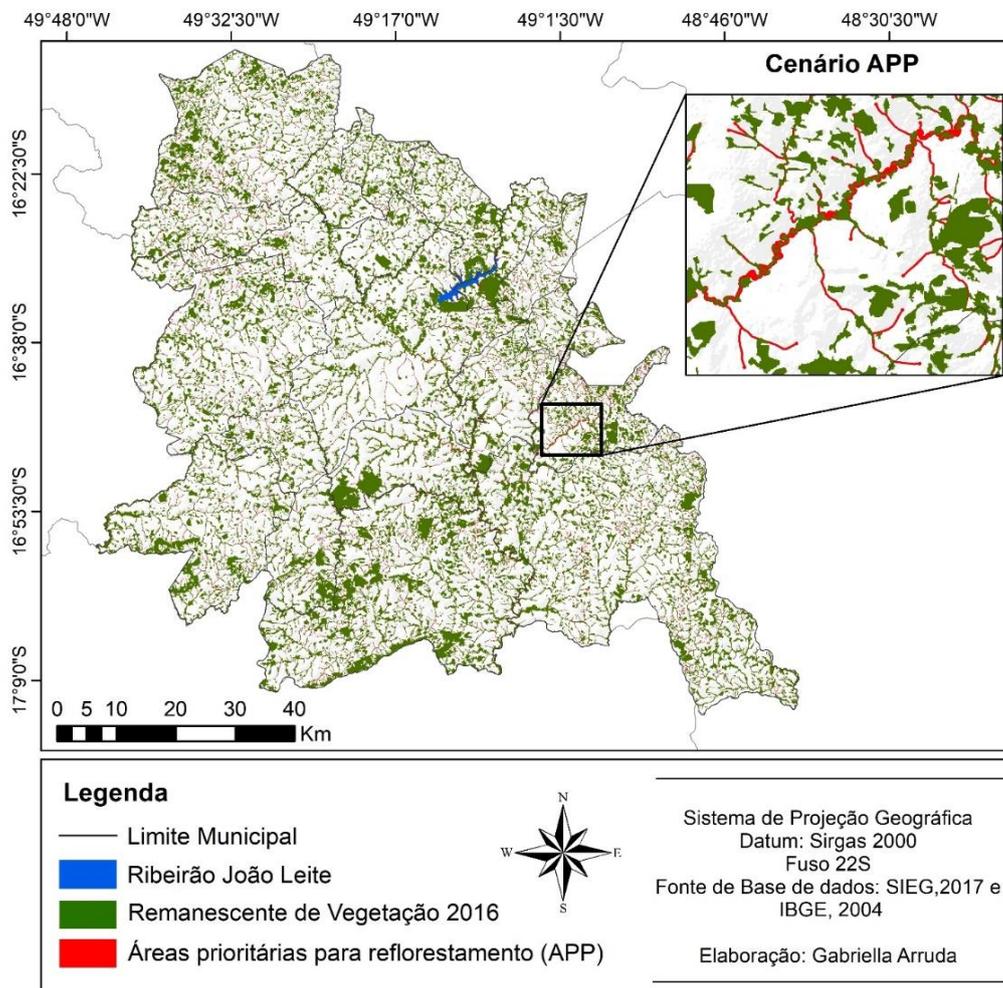
As regiões a serem reflorestadas, pertencentes ao passivo ambiental das APP, correspondem a 15.011,46 ha, o que representa 33% de toda a faixa marginal aos corpos d'água. Infere-se, que mesmo a legislação limitando o uso ou desmatamento, a vegetação de APP já foi intensamente modificada ao longo de cursos d'água de toda a RMG. Na simulação do cenário APP os atuais 29.966,15 ha de cobertura vegetal presente em APP chegariam a 44.977,62 ha de cobertura florestal, conforme Figura 3.

Com a simulação da adequação ambiental (obedecendo ao Código Florestal), o acréscimo florestal em área de APP, haveria uma redução em 44% no número de fragmentos, pois na nova configuração seriam 3.446 manchas (NUMP) em uma área (CA) de 189.697,76 ha de vegetação nativa. Essa redução de fragmentos ocorre devido à integração das manchas. O maior fragmento na paisagem (Remanescente + APP reflorestada) possuirá 119.143,93 ha, o

que corresponde a 63% de área interligada, favorecendo a junção de uma ou mais áreas

contíguas, ou seja, a formação de um grande corredor florestal.

Figura 3 – Simulação do cenário APP com indicação das localidades sem cobertura vegetal, que deveriam ser recuperadas



Org.: dos Autores, 2018.

Neste cenário, o tamanho médio (MPS) dos fragmentos aumentaria para 55,05 ha, enquanto o índice de forma média (MSI) passa para 1,73, o que representaria uma melhora ambiental, devido à aproximação ao valor 1, isto é, fragmentos com formato mais regular e consequentemente, menos suscetível ao efeito de borda, se comparado ao cenário atual.

A distância média do vizinho mais próximo (MNN) foi de 328,38 m, o que denota maior proximidade entre os fragmentos, esse comportamento é esperado, visto que os fragmentos estão mais conectados, o que proporciona a redução do isolamento. De acordo com a teoria da biogeografia de ilhas de MacArthur e Wilson (1967), a descontinuidade da floresta ou a distância entre os fragmentos dificulta o deslocamento dos animais e o fluxo

genético, ou seja, a riqueza ambiental diminui com o aumento do isolamento, pois diminui a probabilidade de uma espécie chegar a outro fragmento (PRIMACK; RODRIGUES, 2001; MORIN, 2005).

Atualmente com mais de 33% de APP convertidas em diversos outros usos na RMG, observa-se a alta antropização dessas áreas e a fragmentação dos remanescentes. Corroborando com esse estudo, Martins (2001) afirma que no Brasil as áreas protegidas estão em constante modificação do uso e cobertura da terra, a partir do desmatamento para expansão de atividades agrícolas e urbanas, ocasionando pressão sobre as APP, principalmente situadas ao longo dos cursos d'água. O reflorestamento de APP promove a formação de corredores de vegetação, proporcionando maior fluxo gênico, aumentando a chance de sobrevivência das

comunidades biológicas e de suas espécies (PRADO et al., 2003). De acordo com Neiff et al. (2005), esse potencial é expresso por pesquisas que destacam as vantagens dos corredores formados por matas ciliares.

### *Análise do cenário Reflorestamento utilizando métricas da paisagem*

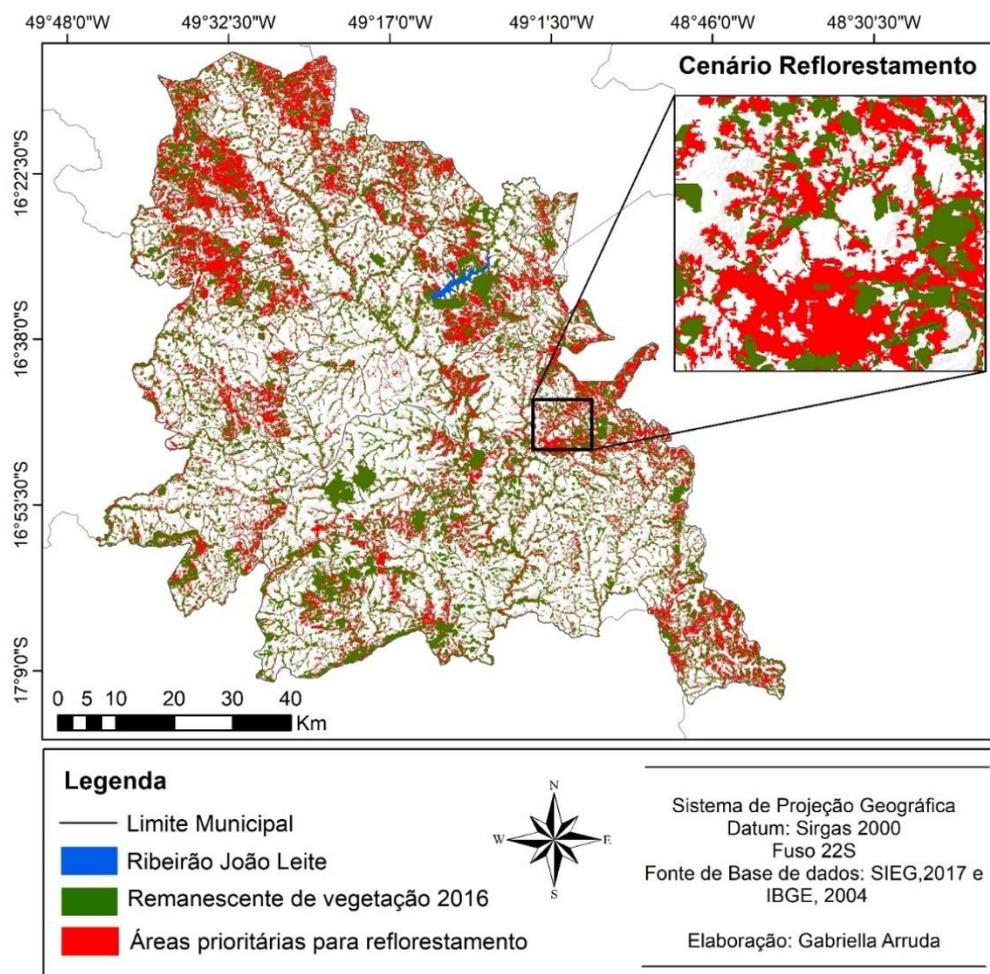
As regiões de Alta e Muito Alta vulnerabilidade ambiental foram utilizadas para indicar regiões prioritárias para o reflorestamento na RMG, apresentando como resultado a área de 123.857,62 hectares a serem reflorestados para a cobertura das zonas de maior vulnerabilidade ambiental, o que representa um aumento de 41% da cobertura florestal, conforme o mapa de áreas prioritárias para reflorestamento (Figura 4).

Neste terceiro cenário (Reflorestamento) simulado, as métricas da paisagem foram

analisadas considerando-se o atual cenário de remanescente de vegetação da RMG, acrescido do Reflorestamento (simulado). Os resultados indicaram uma área total (CA) de 297.305,38 ha de cobertura vegetal. O acréscimo vegetal dessas áreas prioritárias representa maior proteção aos solos contra processos erosivos, proporciona a ligação entre um ou mais fragmentos, além de contribuir com a conservação dos fragmentos já existentes (GARCIA et al., 2013; COSTA et al., 2014).

O número de fragmentos (NUMP) no cenário (Reflorestamento) foi de 5.034, isto é, 18% menor em relação ao cenário atual. Nesse cenário, a redução do quantitativo de manchas incorreu da união de um ou mais fragmentos, devido ao acréscimo de vegetação (123.857,62 ha) resultante da simulação. O maior fragmento na paisagem (Remanescente + Reflorestamento) possui 207.362,77 ha (CA), o que corresponde a 69% de área vegetal interligada.

Figura 4 – Simulação do cenário Reflorestamento, com a indicação das localidades de Alta e Muito Alta vulnerabilidade sem cobertura vegetal (a serem recuperadas).



Org.: dos Autores, 2018.

O tamanho médio dos fragmentos (MPS) foi de 59,06 ha, sendo superior ao cenário atual e ao cenário APP. A diversidade de espécies diminui quando a área do fragmento fica menor, o que revela a importância do tamanho das áreas para complexidade estrutural do fragmento. No entanto, fragmentos maiores unidos por corredores ecológicos, formados pelas matas ciliares, apresentam um suporte para refúgio da fauna silvestre e também de diversos outros grupos animais (SAUNDERS *et al.*, 1991; COLLINGE, 1998; ITCO, 2008), além de manutenção do recurso hídrico.

A distância média do vizinho mais próximo (MNN) foi de 310,88 m, representando o cenário com maior proximidade entre os fragmentos. A redução da distância média entre os fragmentos é resultado da restauração da conectividade, o que possibilita a conexão entre dois ou mais habitats fragmentados, auxiliando no restabelecimento do fluxo biológico e redução dos riscos de extinção, com reflexo na conservação e preservação da biodiversidade (MYERS; BAZELY, 2003; AWADE; METZGER, 2008).

O índice de forma média (MSI) foi de 2,01, o que denota uma ligeira melhora, ainda que abaixo do cenário APP. Esses resultados foram atribuídos ao fato de as zonas de alta vulnerabilidade ambiental apresentarem quebra ou mescla com zonas de baixa vulnerabilidade, tornando os polígonos mais irregulares. As formas mais irregulares dos fragmentos são, geralmente, menos recomendadas para a conservação, pela tendência de apresentarem maior área de borda (KURASZ *et al.*, 2008), tornando-os mais suscetíveis às queimadas, ação do vento, ou mesmo desmatamentos.

Comparação entre os cenários Atual, APP e Reflorestamento: o cenário APP, se comparado ao cenário atual e ao Reflorestamento, possui o número de fragmentos reduzidos, mas com aumento da área reflorestada, o que permite inferir o aumento da conectividade entre habitats. O cenário APP é o que apresenta menor suscetibilidade ao efeito de borda,

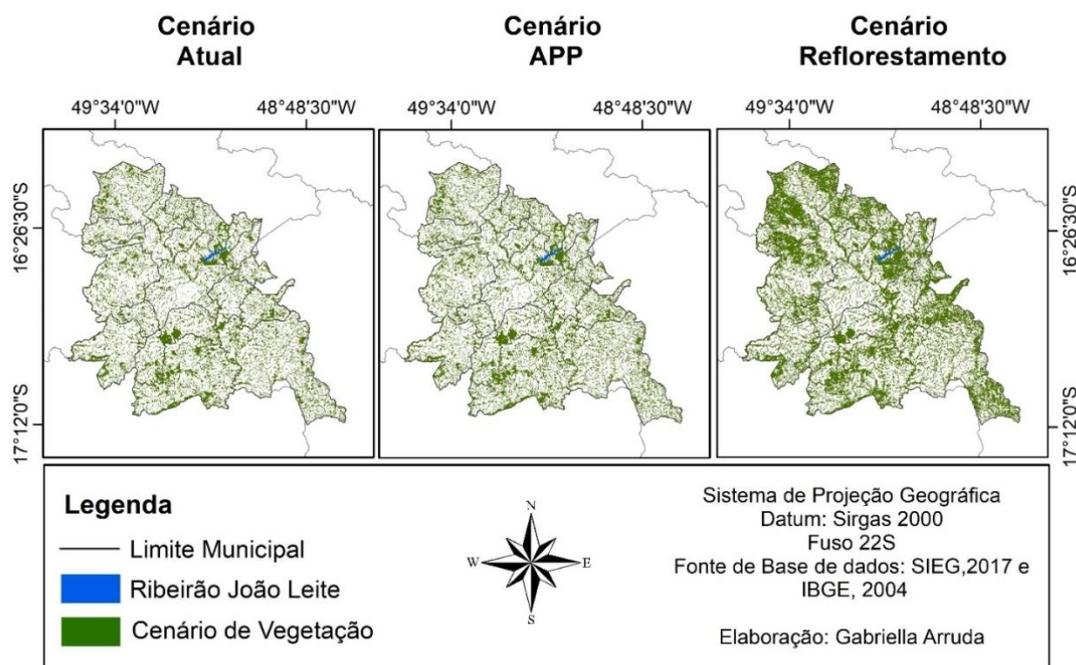
expresso na métrica do índice de forma média (MSI), com valor mais próximo a 1, ou seja, mais próximo à forma circular. O cenário Reflorestamento apresenta melhora na conectividade da paisagem, expressa a partir da métrica “média do vizinho mais próximo” (MNN), também é superior em relação ao cenário atual e APP no quesito métrica de área da classe (CA), com maior incremento florestal nas áreas de maior vulnerabilidade, e maior tamanho médio dos fragmentos (MPS). De forma geral, ocorre redução da fragmentação florestal nos cenários APP e Reflorestamento, com relação a atual configuração da paisagem da RMG. Na Figura 5 observa-se os três cenários Atual, APP e Reflorestamento, os quais representam o incremento de vegetação conforme proposto em cada cenário, sendo 33% de acréscimo de vegetação do cenário Atual para APP, e 41% do cenário Atual para Reflorestamento.

#### *Análise da perda de solo após cenário de APP e Reflorestamento*

Para a modelagem da perda de solo frente aos cenários analisados, foram selecionados os cenários APP e Reflorestamento, os quais tiveram suas superfícies de reflorestamentos somadas. Os dois cenários possuem áreas coincidentes, portanto, o resultado final não é exatamente a soma APP e Reflorestamento, indicando um acréscimo de 131.694,46 hectares de floresta nativa com os dois cenários somados.

A comparação entre o potencial à erosão laminar da RMG para o cenário de “restauração florestal” e a condição atual de perda de solo permitiu observar que, nesse cenário (APP + Reflorestamento), a maior parte da perda de solo (73,52%) ocorre abaixo de 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, segundo a divisão de classes da FAO (1967), considerado como baixo potencial erosivo, conforme Tabela 1.

Figura 5 – Simulação do cenário Atual, APP e Reflorestamento, com a indicação das localidades sem cobertura vegetal (a serem recuperadas).



Org.: dos Autores, 2018.

Tabela 1. Classificação do grau de erosão por cenários (Atual e APP + Reflorestamento) na Região Metropolitana de Goiânia

| Classes      | Perda de Solo<br>t ha-1 ano-1 | Cenário Atual |        | Cenário APP + Reflorestamento |        |
|--------------|-------------------------------|---------------|--------|-------------------------------|--------|
|              |                               | Área (ha)     | %      | Área (ha)                     | %      |
| Baixa        | 0 a 10                        | 399.070       | 54,56  | 537.643                       | 73,52  |
| Moderada     | 10 a 50                       | 303.344       | 41,48  | 189.997                       | 25,98  |
| Alta         | 50 a 200                      | 28.886        | 3,95   | 3.660                         | 0,50   |
| Muito alta   | > 200                         | 0,00          | 0,01   | 0,00                          | 0,00   |
| <b>Total</b> | -                             | 731.300,00    | 100,00 | 731.300,00                    | 100,00 |

Org.: dos Autores, 2018.

Verificou-se que o acréscimo de 131.694,46 hectares reduz a perda média de solo em 34% (9,80 para 6,50 t ha-1 ano1). Observa-se que o incremento de floresta proporciona a redução do potencial erosivo, com maior proteção aos solos e conseqüentemente às áreas mais vulneráveis, destacando a forte relação entre cobertura vegetal e conservação do solo.

A degradação do solo pela erosão hídrica laminar propicia o carreamento de poluentes para os cursos d'água, tais como nutrientes, materiais orgânicos e agrotóxicos, deteriorando a qualidade das águas (DESCROIX et al., 2008; SANTOS et al., 2010). A perda de nutrientes na agricultura ocasiona o aumento no uso de fertilizantes, agrotóxicos, entre outros, o que gera um ciclo no aumento da poluição dos recursos hídricos. Observou-se no presente estudo que a presença da vegetação nativa

reduz a erosão laminar dos solos, sendo a vegetação ripária útil como barreira à lixiviação.

No presente estudo, destaca-se como avanço importante a simulação do reflorestamento de áreas ambientalmente vulneráveis, bem como a proteção das áreas úmidas, que muitas vezes não são abrangidas pela legislação de APP. Além disso, considerou-se a profundidade do lençol freático, visando a proteção das águas do subsolo, e principalmente o fator de conservação dos solos, incluído no mapeamento da vulnerabilidade ambiental (LIMA et al., 2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), de acordo com a atual configuração da paisagem, tem-se alta fragmentação dos remanescentes. A manutenção e conservação dos remanescentes é uma meta fundamental, sendo o reflorestamento de áreas vulneráveis e APP altamente recomendado. Com as 5 (cinco) métricas avaliadas, em três cenários (dois hipotéticos), pode-se considerar que parte desses fragmentos estão fragilizados, frente às funções ecológicas dos mesmos, dentre estas, o abrigo de animais de maior porte, proteção dos recursos hídricos e do solo.

Adotando-se o cenário “APP”, com a simulação de acréscimo de floresta ao cenário “atual”, aumenta-se a conectividade, o que representa considerável melhora na proteção dos cursos d’água. A recuperação das áreas indicadas no cenário “Reflorestamento” resultaria em aumento da cobertura florestal; nesse cenário destaca-se o aumento do tamanho médio dos fragmentos, além da melhoria nas demais métricas. Esse aumento florestal garante a cobertura vegetal das regiões de “muito alta” e “alta vulnerabilidade ambiental”, e a manutenção dos fragmentos prioritários.

Acrescenta-se a esses resultados a grande redução na perda de solo por erosão laminar. Se comparado com o mapeamento do uso da terra realizado para o ano de 2016, o cenário “Reflorestamento” acrescido ao de “APP” reduziria a perda de solo consideravelmente conforme resultados demonstrados. Nesse sentido, destaca-se a importância da vegetação remanescente não fragmentada como fator amenizador das perdas de solo.

Por fim, a simulação de cenários tem alto potencial, ao simular a conexão entre os fragmentos florestais, aumento de seu tamanho médio, e consequente aumento do índice de forma, além de indicar maior conservação dos solos. A espacialização desses resultados e indicação de áreas para reflorestamento e conservação servem de orientação às políticas públicas e na tomada de decisão coletiva, envolvendo todos os municípios da RMG.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás) pela concessão de bolsa de estudos à primeira autora e também ao CNPq (processo 312229/2014-3) pela bolsa ofertada ao terceiro autor.

## REFERÊNCIAS

- ALANDI, C. M.; LA GUERRA, M. M.; PUIG, C. C.; FERNANDÉZ, J. V. L. **Conectividad ecológica y áreas protegidas: Herramientas y casos prácticos**. Madrid: FUNGOBE, 86p. 2009.
- ALBERGARIA, C. **Um olhar crítico sobre o conceito e a prática da Reserva Ecológica Nacional**. Mestrado, Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, 2006 Disponível em: <<http://www.estig.ipbeja.pt/~acdireito/Albergaria.pdf>>. Acesso: 18 dezembro 2017.
- AWADE, M.; METZGER, J. P. Using gap-crossing capacity to evaluate functional connectivity of two Atlantic rainforest birds and their response to fragmentation. **Austral Ecology** v. 33, p. 863-871, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2008.01857.x>
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012.
- BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas**. Florianópolis. Ed. Da UFSC, 2012.
- CAMARGO, J. A.; SCHIMIDT, K. Efeitos da fragmentação sobre a diversidade de saturniidae (lepidoptera) em isolados naturais e antrópicos de Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Embrapa Cerrados**, 30p. 2009.
- COLLINGE, S. K. Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological field experiments. **Landscape and Urban Planning**, v. 42, p. 157-168, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(98\)00085-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00085-1)
- COSTA, Y. T.; BARCELOS, A. C.; RODRIGUES, S. C. “Avaliação da eficiência da cobertura vegetal sobre o processo de escoamento superficial por meio de parcelas experimentais na Fazenda Experimental do Glória (Uberlândia – MG)”. In: **I SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA**, 2014, Alfenas. Anais. Alfenas: Universidade Federal de Alfenas, p. 1-11, 2014.
- CULLEN, L.; ABREU, K. C.; SANA, D.; NAVA, A. F. D. As onças-pintadas como detetives da paisagem no corredor do Alto Paraná, Brasil. **Natureza & Conservação**, v.3, p. 43-58, 2005.

- DESCROIX, L.; BRRIOS, J. L. G.; VIRAMONTES, D.; POULENARD, J.; ANAYA, E.; ESTEVES, M.; ESTRADA, J. Gully and sheet erosion on subtropical mountains slopes: Their respective roles and the scale effect. **Catena**, v.72, p. 325-339, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07.003>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de informações de solos brasileiros**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 08 abr. 2017.
- FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. **Cuadernos de fomento agropecuario da Org. De Las Naciones Unidas**, Roma: FAO, v. 81, 207 p., 1967.
- FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. A América Latina e o Caribe celebram o Ano Internacional dos Solos. **Relatório 2015**. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/270863/>> Acesso: 08 jun. 2017.
- FERREIRA, N. C. **Vulnerabilidade ambiental do estado de Goiás** – MACROZAE, Goiânia, Goiás, 2014.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: Wiley. 1986.
- GARCIA, L. S.; SANTOS, A. M.; FOTOPOULOS, I. G.; FURTADO, R. S. “Fragmentação florestal e sua influência sobre a fauna: Estudo de Caso na Província Ocidental da Amazônia, Município de Urupá, Estado de Rondônia”. In: **XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2013, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 3163-3170.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=411520>> Acesso em: 01 jul. 2017.
- ITCO - Instituto de Desenvolvimento Tecnológico o Centro Oeste. ZEE – Goiânia: um instrumento de gestão ambiental urbana. **Prefeitura Municipal de Goiânia**. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia, 377p., 2008.
- KURASZ, G.; ROSOT, N. C.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. Caracterização do entorno da reserva florestal Embrapa/ Epagri de Caçador (SC) usando imagem Ikonos. **Floresta**, v. 38, p. 641-649, 2008. <https://doi.org/10.5380/RF.V38I4.13159>
- LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. São Paulo, SP: **Oficina de Texto**, 2009.
- LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N. C.; RIBEIRO, H. J.; NOGUEIRA, S. H. M. Simulação de cenários de perda de solo por erosão laminar na região metropolitana de Goiânia. In: **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 18**, Santos-SP, Brasil. São José dos Campos, INPE, p. 3656-3663, 2017.
- LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M.E. Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia (Online)**, v. 70, p. 1510-1536, 2018. <https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46513>
- MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The Theory of Island Biogeography**. Princeton Univ. Press, Princeton, 1967.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de Matas Ciliares**. Viçosa, Minas Gerais. Aprenda Fácil Editora, p. 143, 2001.
- METZGER, J. P. Landscape ecology approach in the preservation and rehabilitation of riparian forest areas in S.E. Brazil. In: CHAVÉZ, S.; MIDDLETON, J. (Orgs.). **Landscape Ecology as a Tool for Sustainable Development in Latin America: International Association for Landscape Ecology**, 1998.
- METZGER, J. P.; ALVES, L. F.; PARDINI, R.; DIXO, M.; NOGUEIRA, A. A.; NEGRÃO, M. F. F.; MARTENSEN, A. C.; CATHARINO E. L. M. Ecological characteristics of the Morro Grande Forest Reserve and conservation implications. **Biota Neotrop**. v. 6 n. 2, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032006000200011>
- MORIN, P. Community Ecology. USA: **Blackwell Publishing**, 424p., 2005.
- MYERS, J.; BAZELY, D. Ecology and Control of Introduced Plants. **Ecology, Biodiversity and Conservation**, Cambridge, p. 35-49, 2003. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511606564>
- NEIFF, J. J.; NEIFF, A. S. G. P.; CASCO, S. L. Importância Ecológica del Corredor Fluvial Paraguay-Parana, como Contexto del Manejo Sostenible. **Enfoque Ecosistemico**, v. 1, n.1, p. 193-210, 2005.
- PDIRMG - Plano de desenvolvimento integrado da Região Metropolitana de Goiânia. Análise dos aspectos ambientais na Região

- Metropolitana de Goiânia. **Relatório técnico**. Goiânia, 2017. Disponível em: <<http://pdi-rmg.secima.go.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/4-Analise-dos-Aspectos-Ambientais.pdf>> Acesso em: 14 mar. 2018.
- M.; MARTINS, S. V. Análise Espacial de Fragmentos Florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014. <https://doi.org/10.1590/S01006762201400020007>
- PRADO, P. I.; LANDAU, E. C.; MOURA, R. T.; PINTO, L. P. S.; FONSECA, G. A. B.; ALGER, K. (Org). **Corredor de biodiversidade da Mata Atlântica do Sul da Bahia**. Ilhéus. IESB/CI/CABS/UFMG/Unicamp, 2003.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001. <https://doi.org/10.5433/16790359.2002v23n2p261>
- RODRIGUES, E. Efeito de borda em fragmentos de floresta. **Cadernos de Biodiversidade**, v. 1, p. 1-5, 1998.
- REMPEL, R. S.; KAUKINEN, D.; CARR, A. P. Patch Analyst and Patch Grid. Ontario, Ontario Ministry of Natural Resources, **Centre for Northern Forest Ecosystem Research**. 2012.
- SANTOS, M. P. D.; CERQUEIRA, P. V.; SOARES, L. M. S. Avifauna em seis localidades no Centro Sul do Estado do Maranhão, Brasil. **Ornithologia** v. 4, p. 49-65, 2010.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**. v.14, n.2, p. 115-123, 2010.
- PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G. da; SANTOS, A. R. dos; CECÍLIO, R. A.; GLERIANI, J. <https://doi.org/10.1590/S1415436620100002001>
- SAUNDERS D. A.; HOBBS R. J.; MARGULES C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v. 5, p. 18-32, 1991. <https://doi.org/10.1111/j.15231739.1991.tb00384.x>
- TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1419-1425, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000019398.36045.1b>
- TILMAN D. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. **Ecology**, v. 80, p. 1455-1474, 1999. [https://doi.org/10.1890/00129658\(1999\)080\[1455:TECOCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/00129658(1999)080[1455:TECOCI]2.0.CO;2)
- TURNER, I. M. Species loss in fragments of tropical rain forests: a review of the evidence. **J. Appl. Ecol.**, v. 33, p. 200-209, 1996. <https://doi.org/10.2307/2404743>
- VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J.; MARTINS, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. In: **Anais do Congresso Nacional Sobre Essências Nativas**, São Paulo: Instituto Florestal de São Paulo, v. 2, p. 400-407, 1992.
- VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.