

Implementação de Corredores Ecológicos no Distrito Federal e Entorno Baseado em Critérios Ponderados

Implementation of Ecological Corridors in the Federal District and Surrounding Based on Weighted Criteria

Ryan Seiji Takahashi¹ , Rejane Ennes Cicerelli¹ , Tati Almeida¹ , Edson Eyji Sano² , Francisco Contreras³  & Ana Paula Marques Ramos⁴ 

¹Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Brasília, DF, Brasil

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Cerrados, BR-020 km 18, CEP: 73301-970, Planaltina, DF, Brasil

³Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos Brasília, DF, Brasil

⁴Universidade do Oeste Paulista, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Presidente Prudente, SP, Brasil

E-mails: ryans.takahashi@gmail.com; rejaneig@unb.br; tati_almeida@unb.br; edson.sano@embrapa.br; pineda@unb.br; anaramos@unoeste.br

Resumo

De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, os corredores ecológicos representam a conectividade entre manchas de vegetação naturais ou seminaturais que ligam unidades de conservação. Corredores ecológicos melhoram o fluxo genético, a circulação de espécies e a recolonização de áreas degradadas, dentre outros serviços ecológicos. Até o presente momento, desconhecem-se as áreas aptas a serem corredores ecológicos no Distrito Federal. O objetivo desse trabalho é definir áreas para implementação de corredores ecológicos ao longo do Parque Nacional de Brasília, da Reserva Biológica da Contagem e da Estação Ecológica de Águas Emendadas no Distrito Federal. O estudo foi baseado na integração de dados de declividade, uso e cobertura da terra, sistema viário, limites de propriedades rurais e áreas de proteção permanente e reserva legal. Foram estabelecidos pesos para cada classe (mapa) e subclasse (categoria), expressos em termo de escala que variou continuamente entre 1 (maior impedância) e 9 (menor impedância). Foi estabelecido o grau de importância de cada camada para a implementação do corredor ecológico a partir da metodologia denominada Processo de Análise Hierárquica (AHP), gerando-se o dado de potencialidade para criação de corredores. Com a imagem matricial de potencialidade (custo total), foi possível produzir as imagens de distância e direção de custo. Por meio da ferramenta de caminho de custo, foram determinados os caminhos de menor custo por célula e o melhor caminho único. Foram definidas quatro áreas de corredores ecológicos. O corredor ecológico mais indicado possui 38,61 km de extensão e área total de 14.779 hectares. Esse corredor pode ser uma opção atrativa para os gestores interessados em preservação da fauna e flora ou interessados em incentivar o turismo na região.

Palavras-chave: Análise multicritério; Corredores ecológicos; Reserva legal

Abstract

According to the National System of Conservation Units, ecological corridors represent the connectivity between patches of natural or semi-natural vegetation linking conservation units. Ecological corridors improve genetic flow, species circulation, and recolonization of degraded areas, among other ecological services. Until now, the areas suitable for ecological corridors in the Brazilian Federal District are still unknown. This work aims to define potential areas for the implementation of ecological corridors along the Brasília National Park, the Biological Reserve of Contagem, and the Águas Emendadas Ecological Station in the Federal District. The study integrates data representing a series of attributes ranging from slope, land use and land cover, road system, rural property boundaries, and areas of permanent protection and legal reserve. Weight distribution for each class (map) and subclass (category) was expressed in a scale that varied continuously between 1 (higher impedance) and 9 (lower impedance). Then, the degree of relevance of each layer for implementing the ecological corridor was defined based on the methodology known as the Analytic Hierarchy Process (AHP). With the matrix image of potentiality (total cost), it was possible to produce the images of distance and direction of costs. The lowest cost paths per cell and the best single path were determined using the cost path tool. Results showed four potential areas of ecological corridors. The most suitable ecological corridor presented a length of 38.61 km and a total area of 14,779 hectares. This corridor can be a good option for managers interested in preserving fauna and flora or interested in encouraging ecotourism in the region.

Keywords: Multicriteria analysis; Ecological corridors; Legal reserve

1 Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil e sua vegetação natural tem sido reduzida por causa da expansão da agricultura intensiva, pecuária em larga escala, crescimento urbano e desmatamento ilegal, dentre outros aspectos (Carneiro Filho & Costa 2016; Rada 2013; Rodrigues et al. 2019; Sano et al. 2010). Apesar de ter grande biodiversidade, somente 8,2% desse bioma é protegido por lei, sendo que 2,9% correspondem a áreas de proteções permanentes na forma de estações ecológicas, monumentos naturais, parques nacionais, refúgios de vida selvagem e reservas biológicas (Vieira 2018).

A modificação, degradação e fragmentação de habitats são ameaças para a biodiversidade. A fragmentação de áreas com supressão da cobertura vegetal resulta na separação de populações e redução da qualidade de habitats, comprometendo a manutenção de algumas espécies (Lang & Blaschke 2007). Nesse sentido, Chetkiewicz, St. Clair & Boyve (2006) e Lang & Blaschke (2007) propuseram a implementação de corredores ecológicos (CE) que, a partir de um estreito elemento de conectividade linear entre dois habitats separados, promove a “desfragmentação” para determinadas espécies, proporcionando aumento da cobertura vegetal nativa e, conseqüentemente, fluxo de animais e sementes.

Desde 1990, políticas públicas de implementação de CE são desenvolvidas no território brasileiro, a exemplo da resolução CONAMA 9/1996 (Conselho Nacional do Meio Ambiente 1996), Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil (PPG-7) e do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (Schwaida et al. 2017). Apesar dessa estrutura legal, práticas de implementação e implantação dos CE ainda são incipientes por serem complexas e envolver a integração de vários fatores bióticos e abióticos, a fim de garantir a conectividade estrutural e funcional, visando a manutenção de áreas de vida, recursos e processos reprodutivos (Lang & Blaschke 2007; Schwaida et al. 2017; Seoane et al. 2010).

No Brasil, alguns trabalhos publicados no tema fizeram uso de ferramentas de geoprocessamento em ambientes de sistemas de informações geográficas (SIG) com o intuito de identificar o melhor traçado ou melhores áreas para implementação de CE, com metodologias distintas e com foco no bioma Mata Atlântica (Ferrari et al. 2012; Muchailh et al. 2010; Oliveira et al. 2015; Saito et al. 2016; Schwaida et al. 2017). Para o bioma Cerrado, há poucos estudos sobre esse tema, apesar de ser uma das savanas mais ricas do mundo e de quase metade da área original do bioma ter sido rápida e sistematicamente convertida para atividades produtivas nos últimos 45 anos (Alencar et al.

2020; Klink & Machado 2005). O Distrito Federal (DF), por ser beneficiário da presença de inúmeras áreas de proteção ambiental, apresenta aspectos que poderiam caracterizá-lo como modelo à conservação do Cerrado. O DF teve, em seu projeto inicial, um Plano de Ordenamento Territorial elaborado em 1964 que definiu diretrizes relacionadas com as formas de ocupação do solo em áreas urbanas e rurais, levando em consideração a preservação do meio ambiente. Esse instrumento recebeu diversas modificações e, com o crescimento da população e a expansão das cidades e da agricultura, são notórios os impactos ambientais nessa unidade federal (Fontoura 2013). No entanto, destacam-se, na porção norte do DF, três grandes unidades de conservação (UCs): o Parque Nacional (PARNA) de Brasília, a Reserva Biológica (REBIO) da Contagem e a Estação Ecológica (ESEC) de Águas Emendadas (Schwaida et al. 2017).

A definição de áreas para implantação de CE é caracterizada como um problema multicritério, uma vez que um conjunto de fatores determinam as áreas mais ou menos aptas para a instalação desses corredores. Tanto o levantamento dos fatores (variáveis) importantes na tomada de decisão quanto a ponderação desses fatores são decisões que afetam diretamente o resultado da definição de áreas. Se por um lado a literatura correlata apoia a decisão de quais fatores considerar na definição de área para CE (Chetkiewicz, St. Clair & Boyve 2006; Morandi et al. 2020; Santos et al. 2020), por outro lado a metodologia denominada Processo de Análise Hierárquica (AHP) é amplamente adotada para situações de análise multicritério, incluindo decisões no contexto de CE para a integração dos fatores ponderados (Morandi et al. 2020; Sahoo, Dhar & Kar 2016; Schwaida et al. 2017). O AHP consiste em modelagem de dados a partir da ponderação de diversos fatores envolvidos em processos de diagnósticos e tomadas de decisão, auxiliando a integração objetiva de indicadores (Saaty 1990).

O resultado de uma análise multicritério é um mapa síntese com a distribuição espacial de pixels com valores de maior ou menor peso, em função dos pesos atribuídos aos indicadores. Sobre este produto, pode-se, ainda, aplicar ferramentas de geoprocessamento que permitam avaliar cenários de custo (Alexander et al. 2016; Santos et al. 2020). Normalmente, a abordagem do menor custo apresenta-se como uma proposta eficaz para estabelecer traçados de CE (Sawyer, Epps & Brashares 2011).

Diante do exposto, esse trabalho tem por objetivo propor traçados de CE baseado em análise multicritério e caminho de menor custo em uma área do bioma Cerrado na região central do Brasil, conectando três UCs de alta importância para a conservação da biodiversidade na região do DF e Goiás (GO). Dentre as contribuições trazidas pelo

presente estudo, deve-se apontar que os resultados serão de apoio às políticas públicas para conservação dos biomas e da biodiversidade no Cerrado e poderão auxiliar a conter o avanço das modificações no uso da terra dessa região.

2 Materiais e Métodos

A área de estudo localiza-se na parte norte do DF e ao sul dos municípios goianos de Planaltina e de Padre Bernardo (Figura 1) e engloba o PARNA de Brasília, REBIO da Contagem e ESEC de Águas Emendadas (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade 2019). O PARNA de Brasília possui uma área de 42.356 hectares e foi criado em 1961, tendo seus limites alterados pela Lei nº 11.285, de 8 de março de 2006 (Brasil 2006).

A ESEC de Água Emendadas (ESECAE) foi criada a partir do Decreto Distrital 11.137, de 16 de junho de 1988 (Distrito Federal 1988), cobrindo uma área de 9.180 hectares. A ESECAE é uma UC distrital na categoria de Proteção Integral administrada pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental (IBRAM), situada na região administrativa de Planaltina, DF. Com área total de 10.547 ha, apresenta cobertura de cerrado *sensu stricto* com manchas de campo cerrado, matas de galeria ao longo dos cursos d'água e veredas. A ESECAE é composta por um polígono principal totalmente cercado por quatro rodovias (BR-030 a sul, DF-128 a oeste, DF-205 a norte, BR-010 a leste), situação que dificulta a movimentação da fauna e colabora para os casos de atropelamento no entorno da ESECAE, estimados em cerca de 2.464 mortes de vertebrados de pelo menos 100 espécies por atropelamento no ano, incluindo espécies ameaçadas de extinção (Brasil 2014; Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente 2008). Além da importância para a preservação de mananciais da região, a ESECAE abriga 67 espécies de mamíferos, como o lobo-guará (*Chrysocyon brachiurus*), onça-parda (*Puma concolor*) e tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), classificadas como ameaçadas de extinção pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil 2014; Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente 2008). Em 2014, pesquisadores registraram a ocorrência de um indivíduo de onça-pintada (*Panthera onca*), espécie que há muito tempo não era vista na área (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade 2019).

O PARNA de Brasília é de jurisdição federal e a maior UC de todas do DF, com seus 42.389,01 ha, possui em sua cobertura o cerrado *sensu stricto*, mata de galeria, campos úmidos e rupestre. Sua poligonal é balizada por três rodovias estaduais: DF-001 a norte e oeste; DF-003 a leste; e DF-097 a sudoeste. O PARNA de Brasília tem características hidrográficas, geomorfológicas e fitogeográficas que

propiciam a migrações de fauna ao longo dos rios, entre o Parque e o rio Tocantins (via rio Maranhão) e o Parque e o córrego São Bartolomeu (via lago Paranoá). Abriga espécies como a raposa-do-campo (*Lycalopex vetulus*), lobo-guará (*Chrysocyon brachiurus*) tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e o tatu-canastra (*Priodontes maximus*).

A REBIO da contagem possui 3.426,15 ha, é de proteção integral e de competência Federal (Brasil 2002). Está localizada na parte norte do DF, delimitada pela rodovia DF-001 e PARNA de Brasília ao sul, Núcleo Rural Lago Oeste a oeste, Setor de Habitacional do Grande Colorado e Região Administrativa do Sobradinho II à leste e ao norte a DF-150. A vegetação é típica do Cerrado, com o cerrado *sensu stricto* ocupando a maior parte da área. Embora a área da UC seja pequena, possui características relevantes, como a transição do Cerrado para o Campo Rupestre. A vegetação se localiza no topo da serra e planalto. Por ser próximo ao PARNA de Brasília, diversos animais usam a reserva como área de dispersão, como ocorre com os papagaios-galegos (*Salvatoria xanthops*). Destaca-se na área, a presença do cágado-de-vanderhaegei (*Phrynosoma vanderhaegei*) e da perereca-da-cachoeira (*Hyla pseudopseudis*) (Cadastro Nacional de Unidades de Conservação 2021).

As bases de dados utilizadas nessa pesquisa foram obtidas gratuitamente em geoportais. Essas bases consistiram em mapa de uso e cobertura da terra, hidrografia, mapa de sistema viário (estradas) e de limites de propriedade rural, mapa de áreas de proteção permanente e de reserva legal. Todos os dados foram projetados no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23 Sul, no datum SIRGAS 2000, e processados no *software* de sistema de informação geográfica ESRI ArcGIS 10.4.1.

A declividade foi calculada a partir do modelo digital de superfície (MDS) produzido com base nas imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS-1 PALSAR) que possui resolução espacial de 12,5 metros. Neste estudo, a declividade foi classificada em três intervalos: <20° (agricultável com mecanização), 45° (uso restrito) e >45° (área de preservação permanente - APP), conforme proposto por Morandi et al. (2020).

Em relação ao mapa de uso e cobertura de 2018, obtido a partir dos dados do Projeto MapBiomas v. 3.0, as classes de uso e cobertura da terra que compõem a área de estudo são Formação Florestal, Formação Savânica, Floresta Plantada, Formação Campestre, Pastagem, Cultura Anual e Perene, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Infraestrutura Urbana, Mineração e Rio, Lago e Oceano. O mapa de uso e cobertura foi elaborado a partir da classificação de imagens da série Landsat, e a escala aproximada deste mapa é de 1:100.000 (Souza Filho et al. 2020).

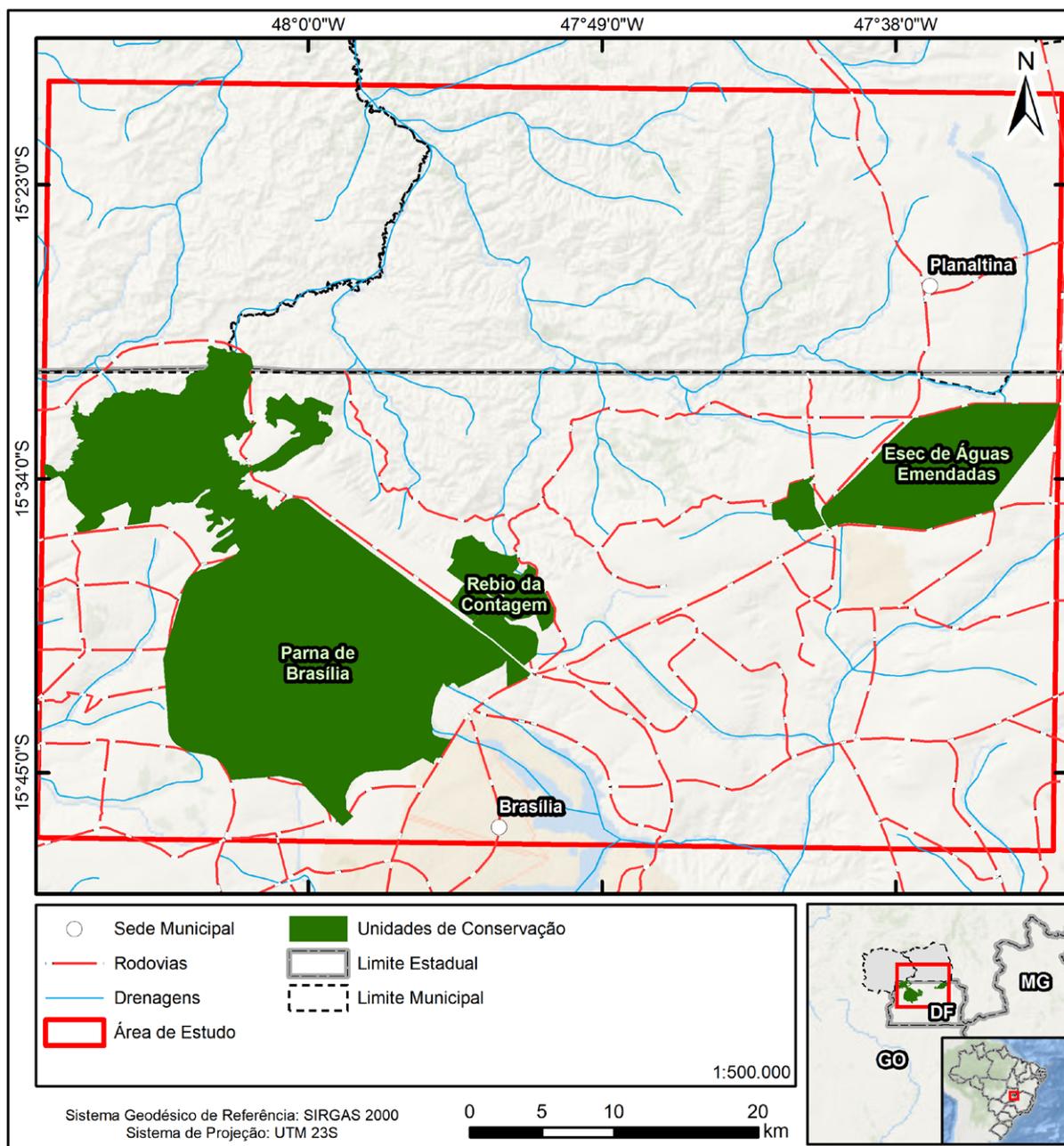


Figura 1 Localização da área de estudo no Distrito Federal (DF) e entorno/ Goiás (GO), englobando Parque Nacional (PARNA) de Brasília, Reserva Biológica (REBIO) da Contagem e Estação Ecológica (ESEC) de Águas Emendadas.

A representação da Área de Preservação Permanente (APP) foi obtida por meio dos dados de hidrografia, escala de 1:50.000 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2020). Na área de estudo, observou-se somente cursos d'água perenes, e para definir a largura das APPs, aplicou-se a legislação vigente do Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012). Nessa legislação, são definidos que os cursos d'água natural com até 10 metros de largura

devem possuir 30 metros de área preservada, e cursos d'água de 10 a 50 metros de largura devem possuir 50 metros de área preservada. As APPs são áreas mais apropriadas para corredores, pois são preservadas por lei (Brasil 2012).

A compilação do mapa de estradas para a área de estudo foi realizada a partir da base cartográfica disponibilizada pelo IBGE (escala 1:50.000). Para gerar o mapa de distâncias para a feição "estradas", considerou-se a abordagem

proposta por Santos (2017): quanto mais próximo de estradas, maior o impacto (perturbação e formação de barreiras), portanto, não indicada para implementação de CE. A resolução espacial definida para o mapa de distâncias da feição estrada foi de 12,5 metros.

As áreas de Reserva Legal (RL) são também consideradas áreas aptas para instalação de CE. Devido a área em estudo estar localizada no bioma Cerrado e fora da Amazônia Legal, a legislação florestal brasileira exige que todas as propriedades mantenham 20% da área correspondente ao total do imóvel rural com cobertura vegetal nativa (Brasil 2012). Os imóveis rurais pertencentes à área em estudo e registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) foram analisados com base na previsão legal de manutenção de APPs e RLs, utilizando os dados obtidos no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) para os imóveis rurais cadastrados na plataforma. Nesse sistema, os imóveis são classificados por módulos fiscais (MF). No DF, cada MF equivale a 5 hectares; no município de Planaltina, a 35 hectares; e no município de Padre Bernardo, a 40 hectares. Essa classificação foi proposta pela Lei nº 8.629/1993, em que as propriedades foram divididas em pequena (entre 1 e 4 MFs), média (entre 4 e 15 MFs) e grande (> 15 MFs).

O MF é utilizado como parâmetro legal para aplicação em diversos contextos, como na definição de benefícios atribuídos à pequena propriedade ou posse rural familiar; na definição de faixas mínimas para recomposição de APPs; e na manutenção ou recomposição de RL, entre outros. Cabe ressaltar que os dados do CAR tinham diversas inconsistências e foi necessário a correção topológica, assim, foi incluída uma classe, além das legais acima listadas, como sem informação.

Depois de compilados os dados cartográficos para a área em estudo necessários para atender ao objetivo proposto, a etapa seguinte consistiu na ponderação das classes (mapas) e subclasses (instâncias das classes) de interesse. Os dados originaram seis fatores, a saber: declividade, uso e cobertura do solo, APP, estradas, propriedades rurais e RL. Para análise multicritério, adotou-se a técnica AHP para a ponderação desses fatores.

A metodologia de AHP, desenvolvida por Saaty (1990), é aplicado em problemas de decisão complexa, caracterizado por alternativas contendo atributos de caráter qualitativo e quantitativo, permitindo mesurar os julgamentos subjetivos dos atores envolvidos. O método é baseado na definição de uma hierarquia de agregação para a realização de comparações pareadas com o intuito de definir as prioridades das alternativas e critérios através de uma escala de 1 a 9, em que o valor 1 significa indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 a

extrema importância de um critério sobre outro. Em termos gerais, esse julgamento responde a dois questionamentos: qual dos dois fatores é mais importante com respeito a um critério? e com que intensidade, usando a escala de 1 a 9, avalia-se essa importância? (Saaty 2008). A análise multicritério pelo processo analítico hierárquico tem a finalidade de reduzir a subjetividade das interpretações, por meio do estabelecimento de uma hierarquia de soluções com quantificação dos atributos e suas correlações (Argyriou et al. 2016; Dias & Silva 2014; Saito et al. 2016).

Para calcular os pesos relativos dos fatores (classes e subclasses) usando a técnica do AHP, cinco especialistas responderam a matriz de comparação AHP de acordo com o grau de importância cruzado relacionado a cada critério. Os profissionais consultados foram de distintas áreas de formação (um engenheiro florestal, um engenheiro ambiental, um geólogo, um biólogo e um antropólogo) e todos trabalham na área ambiental com conhecimento sobre o assunto. A consulta foi realizada por meio de um questionário *online* que utiliza como metodologia a pontuação por AHP (<http://bpmmsg.com>) (Goepel 2018). A taxa de consenso das informações para o grupo foi de 73,7% (moderado). Obteve-se um coeficiente de consistência (CR) de 1,6% para a matriz de comparação, o que é um valor considerado adequado. O CR deve ser inferior a 10% para que a matriz de importância relativa seja classificada como consistente (Saaty 1990).

A partir das matrizes dos fatores normalizados, foram calculados os pesos finais para a imagem matricial de custo total, gerada por meio da ferramenta *Weighted Overlay*, adicionando-se os pesos de cada camada - em porcentagem com soma total igual a 100 % - bem como os pesos das classes de cada camada.

Com a imagem ponderada (custo total) gerada a partir a aplicação da técnica AHP, foi possível produzir a imagem de distância em função do custo e direção de custo. O resultado da imagem ponderada da AHP considera notas mais altas para categorias de maior importância. Porém, o uso da função de custo e direção prevê maior impedância para os menores valores e menor impedância para os maiores valores. Essa característica permite traçar o corredor nos pixels (locais) de menor custo com menor dificuldade de travessia.

A matriz foi fundamental para gerar, a partir da ferramenta de custo no SIG, os caminhos de menor custo por célula e o melhor caminho único. Os caminhos resultantes em formato matricial foram transformados para formato vetorial e os caminhos gerados foram analisados considerando-se os dados de estradas, pontes, APPs, área do imóvel e RL. Com os traçados separados, foi também gerado um corredor seguindo a Resolução CONAMA nº 9,

de 24 de outubro de 1996, fixando a largura total dos corredores em 10% do comprimento total (Substituir por Conselho Nacional do Meio Ambiente 1996; Schwaida et al. 2017).

3 Resultados e Discussão

O resultado do presente trabalho deve ser considerado como uma proposta preliminar para definição de área para CE no DF, haja vista que é importante o cruzamento desta proposta com dados de ocorrência e padrões de deslocamento das espécies alvo nas áreas indicadas, conforme recomenda a literatura (Chetkiewicz, St. Clair & Boyve 2006; Roy et al. 2010).

Na Tabela 1 é apresentada a ponderação adotada para as classes e subclasses dos fatores considerados na

definição de área para a implantação de CE no DF. As APPs consistiram no fator de maior importância para geração de CE (38%), e a declividade o de menor importância (4%). Destaca-se o predomínio de propriedades privadas menores do que 4 MFs na área em estudo, o que indica a existência de agricultura familiar, normalmente, com baixa cobertura vegetal natural e baixo investimento para a recuperação de áreas degradadas. Outro aspecto relevante é a ponderação obtida para as áreas de propriedades ou posse rural, que representou a classe de segundo menor peso (Tabela 1). A função dessas áreas é assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural e auxiliar na conservação e reabilitação dos processos ecológicos, promovendo a conservação da biodiversidade (Brasil 2012).

Tabela 1 Matriz de pesos das classes e subclasses dos fatores (variáveis) definidos pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP) para a implementação de corredores ecológicos no Distrito Federal e entorno. APP = áreas de proteção permanente; MF = módulo fiscal.

Classes (fatores ou variáveis)	Peso das classes	Formato do dado e resolução	Descrição das subclasses	Peso das subclasses	Referência
Declividade	4%	Raster, resolução espacial 12,5 m	> 45° (APP)	1	Adaptado de Morandi et al. (2020) e Schwaida et al. (2017)
			20° - 45° (uso restrito)	3	
			< 20° (agricultável com mecanização)	9	
Uso e cobertura do solo	25%	Raster, resolução espacial 30 m	Formação florestal	1	Adaptado de Schwaida et al. (2017)
			Formação savânica	1	
			Floresta plantada	2	
			Formação campestre	3	
			Cultura anual e perene	3	
			Pastagem	6	
			Mosaico de agricultura e pastagem	6	
			Rio, lago e oceano	6	
APP	38%	Vetorial, escala 1:50.000	Sim	1	Schwaida et al. (2017)
			Não	9	
Estradas	12%	Vetorial, escala 1:250.000	8 m	9	Adaptado de Santos (2017)
			500 m	9	
			1000 m	7	
			1500 m	5	
			2000 m	3	
Propriedades rurais	8%	Vetorial, escala 1:25.000	5000 m	1	Os autores
			Sem informação*	1	
			> 15 MF	1	
Reserva Legal	13%	Vetorial, escala 1:25.000	4 - 15 MF	3	Os autores
			0 - 4 MF	9	
			Sim	1	
			Não	9	

Para a categoria “uso e cobertura da terra” (peso de 25%), nota-se que as subclasses “formação florestal” e “savânica” foram consideradas as de menor impedância para o deslocamento da fauna (1), e a área urbana a de maior impedância (9). Áreas de pastagem e agricultura receberam valores intermediários, sendo as áreas de agricultura perene consideradas de menor impedância (3) que áreas de agricultura anual (4).

Em relação à classe “declividade”, foram atribuídos o peso 9 para as áreas com declividade abaixo de 20°, peso 3 para aquelas com declividade de 20° a 45° e peso 1 para as áreas acima de 45° de declividade. As áreas com menor declividade favorecem a agricultura mecanizada, gerando uma concorrência para implantação de CE (Schwaida et al. 2017). Para a classe “APP”, atribuiu-se maior peso, pois nestas áreas há a obrigatoriedade de existência de cobertura vegetal, e isso contribui para a redução de custo na implementação de CE. Em se tratando da classe “reserva legal”, a estratégia para a definição dos pesos das subclasses seguiu o mesmo princípio da APP.

As análises espaciais de custo geraram cinco caminhos. Um dos corredores de menor custo apresentou

praticamente o mesmo comportamento definido pelo melhor caminho, por isso essa opção foi desconsiderada (Figura 2). Os CE foram definidos de acordo com a resolução do CONAMA n° 9/1996 em relação ao tamanho do corredor (*buffer*). Os caminhos A, C e D foram definidos por meio da opção menor custo por células, e o caminho B pela opção melhor caminho único.

As extensões dos caminhos e área de corredores são 25,11 km e 6.534 ha para a opção A; 21,77 km e 4.855 ha para B; 38,61 km e 14.779 ha para a opção C; e 46,56 km e 21.389 ha para D. Praticamente todos os caminhos tiveram o mesmo comportamento em relação à intersecção com os dados de uso e cobertura (Tabela 2). Em sua maioria, as subclasses de Formação Florestal e Formação Savânica foram predominantes. Ressalta-se que o caminho A interceptou a classe de Infraestrutura Urbana em 1.314,54 ha, perfazendo ao todo 20% do caminho, sendo a implementação de corredor inviável. O corredor B foi descartado pelo mesmo motivo, pois localiza-se na zona de expansão da região administrativa de Sobradinho-DF.

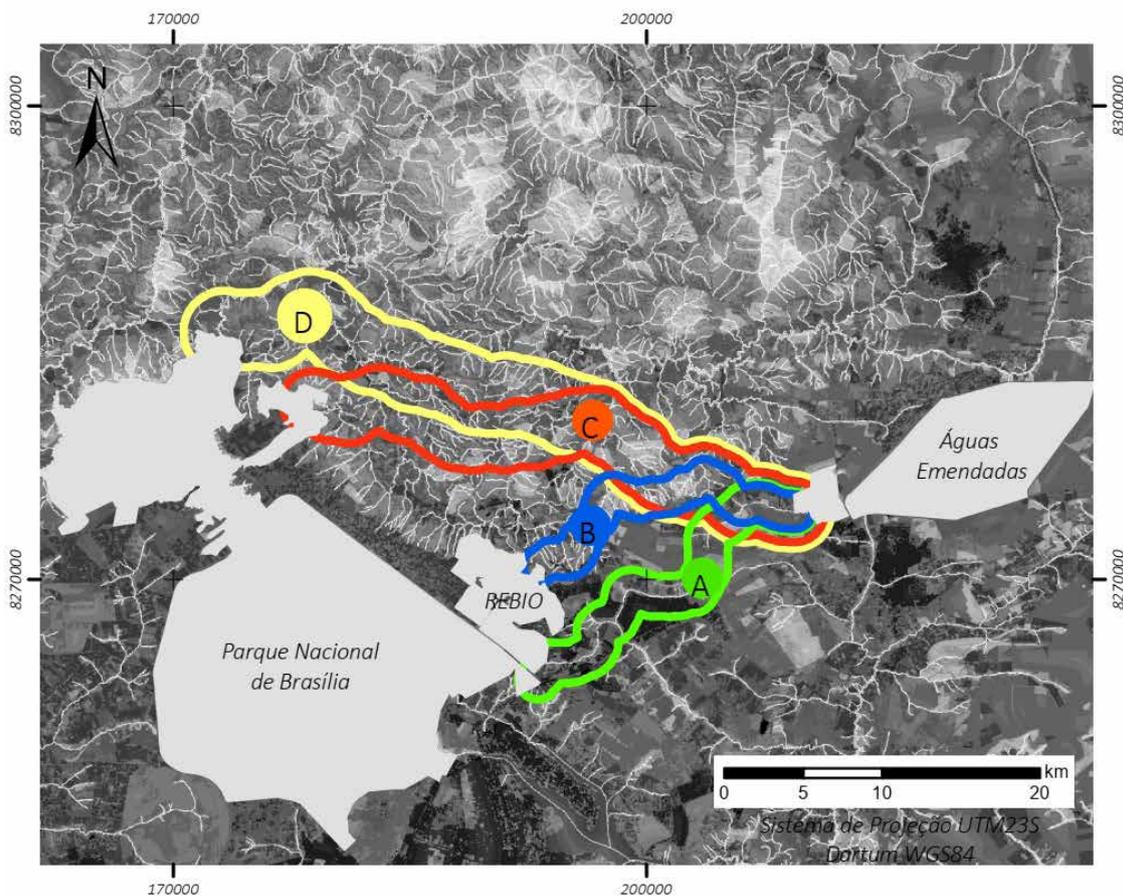


Figura 2 Localização das propostas de corredores ecológicos A, B, C e D.

Tabela 2 Descrição das propostas de corredores ecológicos em função dos fatores Estradas, Declividade e Uso e cobertura da terra.

		Propostas de Corredores Ecológicos			
		A	B - <i>Best Single</i>	C	D
Extensão do caminho (km)		25,11	21,77	38,61	46,56
Área (ha)		6.534	4.855	14.779	21.389
Interseções com estradas (unidade)	Pavimentada	262	165	222	243
	Não pavimentada	937	580	1392	1794
Declividade (Área (ha) %)	< 20°	6480,03 ha 99,16%	4189,05 ha 86,27%	12799,67 ha 86,61%	19380,16 ha 90,61%
	20° - 45°	54,81 ha 0,84%	666,44 ha 13,72%	1976,44 ha 13,37%	2009,02 ha 9,39%
	> 45°	0,00 0,00%	0,33 ha 0,01%	2,90 ha 0,02%	0,05 ha 0,00%
Uso e Cobertura no Corredor Área interceptada (ha)	Cultura Anual e Perene	189,61 (2,9%)	163,89 (3,38%)	358,53 (2,43%)	500,13 (2,34%)
	Floresta Plantada	31,93 (0,49%)	31,93 (0,66%)	31,93 (0,22%)	32,71 (0,15%)
	Formação Campestre	1262,12 (19,31%)	488,61 (10,06%)	1634,92 (11,06%)	2882,57 (13,48%)
	Formação Florestal	960,58 (14,7%)	1407,02 (28,98)	4688,08 (31,72%)	6233,54 (29,41%)
	Formação Savânica	1125,14 (17,22%)	1480,02 (30,48%)	4095,13 (27,71%)	5489,79 (25,67%)
	Infraestrutura Urbana	1314,54 (20,12%)	52,48 (1,08%)	9,41 (0,06%)	23,56 (0,11%)
	Mineração	3,11 (0,05%)	0,00 (0,00%)	5,53 (0,04%)	0,00 (0,00%)
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	565,06 (8,65%)	325,57 (6,7%)	968,12 (6,55%)	1277,00 (5,97%)
	Pastagem	1073,91 (16,43%)	895,75 (18,45%)	2935,24 (19,86%)	4849,29 (22,67%)
	Rio, Lago e Oceano	6,820 (0,10%)	10,79 (0,22%)	51,87 (0,35%)	98,30 (0,46%)
Sem Informação*	2,00 (0,03%)	0,00 (0,00%)	0,00 (0,00%)	1,73 (0,01%)	

A análise espacial referente à intersecção dos corredores e as APPs (Tabela 3) mostra resultados similares para as propostas de corredores C e D. No entanto, recebe destaque o corredor D que possui uma fragmentação maior, com 99 unidades interceptadas, quando comparado com o corredor C, com 75 fragmentos.

Na análise referente ao número de imóveis interceptados por cada corredor proposto, realizando a divisão em três categorias de MFs, sendo de até 4 MFs, de até 15 MFs e de maior que 15 MFs, nota-se (Tabela 2) que a maior quantidade de imóveis rurais foi interceptada pelo caminho D (19), seguido pelo caminho C (14), depois caminho B com 12 e, por último, o caminho A com 10 imóveis. Ademais, pode-se analisar o quanto cada corredor está interceptando as categorias até 4 MFs, até 15 MFs e maior que 15 MFs.

Os dados indicam que não existe tendência de interceptação entre corredores com maiores ou menores incidências de tamanhos de propriedades.

Em relação ao fator “Reserva Legal”, os dados obtidos no SICAR podem ter erros topológicos (sobreposições de informações, dados duplicados, tamanho do polígono ser diferente do original), no entanto, ainda assim, verificou-se que a proposta de corredor ecológico B intercepta 21,5% das RL. Deve-se ressaltar, contudo, que a tentativa do entendimento do tipo de propriedade rural com cruzamento do CAR nos CE traçados carece de uma maior pesquisa para a conclusão do melhor traçado.

Dentre as propostas de corredores ecológicos, o corredor mais indicado é o caminho C, seguido pelo caminho D. Os caminhos A e B, como dito anteriormente,

Tabela 3 Descrição das propostas de corredores ecológicos em função dos fatores área de preservação permanente (APPs), limite de propriedades e reserva legal (RL).

		Propostas de Corredores Ecológicos			
		A	B - Best Single	C	D
Número de APP's interceptadas (Unidade Área (ha) e %)		19	42	75	99
		243,76	528,61	1592,24	2232,89
		3,73%	10,89%	10,77%	10,44%
Número de Imóveis interceptados pelo corredor (unidade Área (ha) %)	até 4 MF	4 631,22ha 9,66%	4 530,80ha 10,93%	5 825,44ha 5,59%	7 1005,91 ha 4,70%
	até 15 MF	2 682,33ha 10,44%	4 322,76 ha 6,65%	4 902,86 ha 6,11%	5 1169,67 ha 5,47%
	> 15 MF	4 3713,47ha 56,83%	4 3045,29 ha 62,71%	5 7534,61 ha 50,98%	7 11409,75 ha 53,34%
Número de Reserva Legal (CAR) Interceptada pelo corredor (unidade Área (ha) %)	RL Averbada	7 62,54 0,96%	5 34,13 0,70%	8 198,80 1,35%	11 279,23 1,31%
	RL Proposta	7 768,15 11,75%	6 1044,04 21,50%	8 2216,31 15,00%	12 2716,70 ha 12,70%
	RL Aprovada e Não Averbada	0 0 ha 0 %	1 44,53 ha 0,92%	3 68,09 ha 0,46%	4 74,33 0,35%
	RL vinculada a Compensação de Outro Imóvel CAR	0 0 ha 0 %	0 0 ha 0 %	1 15,88 ha 0,11%	0 0 ha 0 %

foram descartados por possuírem interceptação com infraestrutura urbana. Verifica-se que o caminho C é mais indicado no estudo de caso, pois é a opção que intercepta fragmentos florestais em 59% de sua extensão total, 3% em Formação Campestre e 27% em Formação Savânica. Além disso, esse traçado está 11% de sua extensão dentro de APPs e 15% possui reserva legal proposta. Por fim, esse caminho C cruzou 14 imóveis do CAR, interceptando 50% de toda extensão em áreas maiores que 15 MFs, imóveis com melhores condições de manutenção de uma proposta de corredor ecológico.

A utilização das informações do CAR, embora incompletas, mostra seu potencial para o planejamento ambiental e conservação da biodiversidade e leva a análise ao nível das propriedades rurais. Com o CAR, o órgão ambiental identificará as propriedades em desacordo com a legislação, podendo sugerir a adesão aos Programas de Regularização Ambiental (PRA). Os excedentes de vegetação poderão ser reconhecidos como Cotas de Reserva Ambiental (CRA), títulos nominativos compreendendo um hectare de vegetação nativa que podem ser adquiridos para compensação por proprietários em situação irregular (Brasil 2012; Sambuichi et al. 2014). A orientação dos PRAs e o mercado de CRA na área de estudo poderia considerar o

componente biodiversidade quanto ao posicionamento das RLs, incluindo análises de custo de oportunidade, buscando manter e recuperar áreas para a implementação dos corredores.

Quanto à técnica AHP, é fato que se trata de um método relevante para ponderação de fatores relevantes a um tema específico, porém, é importante ter clareza da importância da ponderação de forma coerente, de acordo com a literatura e consulta a especialistas. Ainda assim, mantém um caráter subjetivo que pode ser diluído com validação em campo de aspectos ambientais, sociais e econômicos.

A abordagem proposta nesse trabalho para a definição de áreas de corredores ecológicos pode ser considerada uma análise prévia de viabilidade de corredores ecológicos e deve ser aplicada em outras regiões geográficas a fim de validar sua aplicabilidade.

4 Conclusões

As análises espaciais de custo mostraram a viabilidade de instalação de três corredores ecológicos, no qual o corredor C merece destaque por se tratar da opção que intercepta maior quantidade de fragmentos florestais com

grande parte (70%) composta por vegetação natural. Além disso o corredor cruza imóveis rurais maiores que 15 MFs, que geralmente apresentam grandes porções de RL para recuperação ou manutenção.

A implantação de um corredor ecológico ligando três UCs no DF é considerada uma ação fundamental para conservação, restauração e uso sustentável do bioma. O DF por ser composto por inúmeras áreas de proteção ambiental e por possuir um plano diretor bem elaborado, apresenta ferramentas que poderiam caracterizá-lo como modelo internacional de difusão de experiências destinadas à conservação do Cerrado.

A inserção no modelo dos fatores “APP” e “Reserva Legal” possibilitou identificar traçados de menor custo de implementação, intersectando áreas vegetadas com instrumentos legais de proteção. O fato do CAR ter apresentado grande cobertura na área analisada mostra que os imóveis rurais buscam efetivar o processo de regularização ambiental, sendo um aspecto positivo para implantação do projeto de corredor ecológico.

Apesar do trabalho apresentar uma abordagem que considera questões econômicas, sociais e ambientais é importante observar que fatores adicionais poderiam ter sido considerados no modelo, tais como, dados de espécies ameaçadas, áreas prioritárias para conservações ambientais, fitofisionomias do Cerrado, entre outros. Contudo, essas informações ainda não foram consolidadas e/ou disponibilizadas na escala esperada para esse trabalho.

A análise multicritério mostrou-se adequada para o alcance dos objetivos, dependendo apenas de uma equipe multidisciplinar para a construção da matriz ponderada. Ademais, os resultados gerados em ambiente SIG devem ser comparados com dados de ocorrência e deslocamento das espécies alvo na área dos corredores, incluindo registros de atropelamento, visando à validação e ajustes, se necessário.

5 Referências

- Alencar, A., Shimbo, J.Z., Lenti, F., Marques, C.B., Zimbres, B., Rosa, M., Arruda, V., Castro, I., Ribeiro, J.P.F.M., Varela, V., Alencar, I., Piontekowski, V., Ribeiro, V., Bustamante, M.M.C., Sano, E.E. & Barroso, M. 2020, ‘Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform’, *Remote Sensing*, vol. 12, no. 6, 924.
- Alexander, J.L., Olimb, S.K., Bly, K.L.S. & Restani, M. 2016, ‘Use of least-cost path analysis to identify potential movement corridors of swift foxes in Montana’, *Journal of Mammalogy*, vol. 97, no. 3, pp. 891–898.
- Argyriou, A.V., Teeuw, R.M., Rust, D. & Sarris, A. 2016, ‘GIS multi-criteria decision analysis for assessment and mapping of neotectonic landscape deformation: A case study from Crete’, *Geomorphology*, vol. 253, pp. 262–274.
- Brasil 2002, Decreto Federal s/n de 13 de dezembro de 2002. Cria a Reserva Biológica da Contagem, no Distrito Federal, e dá outras providências.
- Brasil 2006, Lei nº 11.285, de 8 de março de 2006. Altera os limites do Parque Nacional de Brasília.
- Brasil 2012, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.
- Brasil 2014, Ministério do Meio Ambiente. Lista nacional oficial de espécies da fauna ameaçadas de extinção. Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de dezembro de 2014.
- Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, *REBIO de Contagem*, acessado 14 fev. 2021, <<http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=192>>
- Carneiro Filho, A. & Costa, K. 2016, ‘A expansão da soja no Cerrado. Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável’, *Agroicone*, pp. 1-30.
- Chetkiewicz, C.-L.B., St. Clair, C.C. & Boyce, M.S. 2006, ‘Corridors for conservation: Integrating pattern and process’, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 37, no. 1, pp. 317–342.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente 1996, Resolução nº 9, de 24 de outubro de 1996. Define “corredor de vegetação entre remanescentes” como área de trânsito para a fauna. Diário Oficial da União nº 217, de 7 de novembro de 1996, Seção 1, pp. 23069-70.
- Dias, V.S.B. & Silva, A.B. 2014, ‘AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do minicorredor ecológico Serra das Onças (BA)’, *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 6, no. 66, pp.1363-77.
- Distrito Federal 1988, Decreto Estadual nº 11.137, de 16 de junho de 1988. Modifica a denominação da Reserva Biológica de Águas Emendadas, e dá outras providências.
- Ferrari, J.L., Silva, S.F., Santos, A.R. & Garcia, R.F. 2012, Corredores ecológicos potenciais na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre-ES, indicados por meio de SIG. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 7, no. 1, pp.133–141.
- Fontoura, L.N.J. 2013, ‘Planejamento urbano-ambiental: o uso e ocupação do solo no Distrito Federal’, *Revista Especialize On-line Ipog*, vol. 1, no. 5, pp. 1-13.
- Goepel, K.D. 2018, Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, vol. 10, n. 3, pp. 469-487.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2021, *Bases de referências*, acessado 28 Apr. 2021, <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>>
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade 2020, *Unidades de Conservação – Cerrado*, viewed 14 Jun. 2020, <<https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomasbrasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado>>
- Klink, C.A. & Machado R. B. 2005, ‘A conservação do Cerrado brasileiro’, *Megadiversidade*, vol. 1, no. 1, pp. 147-155.
- Lang, S. & Blaschke, T. 2007, *Landschaftsanalyse mit GIS*, Ulmer, Stuttgart.

- Morandi, D.T., França, L.C.J., Menezes, E.S., Machado, E.L.M., Silva, M.D. & Mucida, D.P. 2020, 'Delimitation of ecological corridors between conservation units in the Brazilian Cerrado using a GIS and AHP approach', *Ecological Indicators*, vol. 115, 106440.
- Muchailh, M.C., Roderjan, C.V., Campos, J.B., Machado, A.L.T. & Curcio, G.R. 2010, 'Metodologias de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos', *Floresta*, vol. 40, no. 1, pp.147-162.
- Oliveira, A.P.G., Mioto, C.L., Paranhos Filho, A.C., Gamarra, R.M.G., Ribeiro, A.A. & Melotto, A.M. 2015, 'Uso de geotecnologias para o estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade', *Revista Árvore*, vol. 39, no. 4, pp. 595-602.
- Rada, N. 2013, 'Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle', *Food Policy*, vol. 38, pp. 146-155.
- Rodrigues, D.A., Pereira, G.A.M.: Silva, A.A., Santos, M.H., Demuner, A.J. & Oliveira, P.M. 2019, 'Phytochemical profile of pasture weeds from the Brazilian Cerrado', *Planta Daninha*, vol. 37, e019181108.
- Roy, A., Devi, B.S.S., Debnath, B. & Murthy, M.S.R. 2010, 'Geospatial modelling for identification of potential ecological corridors in Orissa', *Journal of Indian Society Remote Sensing*, vol. 38, pp. 387-399.
- Saaty, T.L. 1990, 'How to make a decision: the analytic hierarchy process'. *European Journal of Operational Research*, vol. 48, pp. 9-26.
- Saaty, T. L. 2008, 'Priorities originate from dominance and order topology in AHP/ANP. The fundamental scale, relative scales and when to preserve rank' in W. Adamus (ed), *The Analytic Hierarchy and Network Processes*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Sahoo, S., Dhar, A. & Kar, A. 2016, 'Environmental vulnerability assessment using Grey Analytic Hierarchy Process based model', *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 56, pp. 145-154.
- Saito, N.S., Moreira, M.A., Santos, A.R., Eugenio, F.C. & Figueiredo, A.C. 2016, 'Geotecnologia e ecologia da paisagem no monitoramento da fragmentação florestal', *Floresta e Ambiente*, vol. 23, pp. 201-210.
- Sambuichi, R.H.R., Galindo, E.P., Oliveira, M.A.C. & Pereira, R.M.A. 2014, 'Diversificação produtiva como forma de viabilizar o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar no Brasil' in: L.M. Monastério, M.C. Neri & S.S.D. Soares (eds), *Brasil em Desenvolvimento: Estado, Planejamento e Políticas Públicas*, IPEA, Brasília, pp. 61-84.
- Sano, E.E., Rosa, R., Brito, J.L.S. & Ferreira, L.G. 2010, 'Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil', *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 166, no. 1-4, pp. 113-124.
- Santos, C.R. 2017, 'Alternativa metodológica para alocação de corredores ecológicos utilizando modelagem ambiental', Tese de doutorado, Universidade Estadual de São Paulo.
- Santos, A.R., Araújo, E.F., Barros, Q.S., Fernandes, M.M., Fernandes, M.R.M., Moreira, T.R. & de Almeida Telles, L.A. et al. 2020, 'Fuzzy concept applied in determining potential forest fragments for deployment of a network of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest', *Ecological Indicators*, vol. 115, 106423.
- Sawyer, S.C., Epps, C.W. & Brashares, J.S. 2011, 'Placing linkages among fragmented habitats: do least-cost models reflect how animals use landscapes?', *Journal of Applied Ecology*, vol. 48, no. 3, pp. 668-678.
- Schwaida, S.F., Cicerelli, R.E., Almeida, T. & Roig, H.L. 2020, 'Desafios e estratégias na implementação de corredores ecológicos entre áreas protegidas no bioma Cerrado', *Revista Árvore*, vol. 41, no. 6, 410611.
- Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente 2008, 'Águas Emendadas', SEDUMA, Brasília.
- Seoane, C.E.S., Dias, V.S., Santos, T.L. & Froufe, L.C.M. 2010, 'Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais', *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 30, no. 63, pp. 207-216.
- Souza Filho, C.M., Shimbo, J.Z., Rosa, M.R., Parente, L.L., Alencar, A.A. et al. 2020, 'Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine', *Remote Sensing*, vol. 12, n. 17, 2735.
- Vieira, R.R.S., Ribeiro, B.R., Resende, F.M., Brum, F.T., Machado, N., Sales, L.P., Macedo, L., Soares-Filho, B. & Loyola, R. 2018, 'Compliance to Brazil's Forest Code will not protect biodiversity and ecosystem services', *Diversity and Distributions*, vol. 24, no. 4, pp. 434-438.

Recebido em: 07/07/2020

Aprovado em: 10/05/2021

Como citar:

Takahashi, R.S., Cicerelli, R.E., Almeida, T., Sano, E.E., Contreras, F. & Ramos, A.P.M. 2021, 'Implementação de Corredores Ecológicos no Distrito Federal e Entorno Baseado em Critérios Ponderados', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44: 36167. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_36167