

Análise dos serviços ecossistêmicos nos diferentes biomas brasileiros: uma revisão sistemática

Analysis of ecosystem services in different brazilian biomes: a systematic review

Análisis de los servicios de los ecosistemas en diferentes biomas brasileños: una revisión sistemática



Carla Rodrigues Santos

Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

carla.santos@unemat.br



Laurimar Goncalves Vendrusculo

Embrapa Silvipastoril, Sinop, Mato Grosso, Brasil

laurimar.vendrusculo@embrapa.br



Cornélio Alberto Zolin

Embrapa Silvipastoril, Sinop, Mato Grosso, Brasil

cornelio.zolin@embrapa.br

Resumo: O presente artigo tem como objetivo analisar na literatura as tendências das técnicas e métodos utilizados para definição de serviços ecossistêmicos nos diferentes Biomas Brasileiro. A metodologia adotada foi a revisão sistemática utilizando base de dados de pesquisa Agropecuária (BDPA), Repositório Acesso Livre à Informação Científica da Embrapa (ALICE), entre outros. Para o estudo foram selecionadas 143 publicações no período de 2000 até 2020. A margem de tempo cronológico identificou que a maioria dos estudos realizados pertence ao Bioma Cerrado, com 54 estudos desenvolvidos, em seguida na Mata Atlântica (28), no Bioma Amazônico (8), nos Pampas (4) e no Bioma Pantanal não foi encontrado. As metodologias adotadas são baseadas em monitoramento, modelagem, SIG e estatística (38%), as demais enfatizam metodologias como entrevista, semiestrutura, experiências de campo, entre outras. Alguns trabalhos utilizam o software InVEST para ofertas de serviços ecossistêmicos baseados na redução de erosão, aporte de sedimentos, estudos hidrológicos e mudanças no uso do solo.

Outros autores utilizaram modelagem e análise de multicritérios para avaliar e quantificar os serviços ecossistêmicos e as mudanças no uso e cobertura do solo. A partir da revisão sistemática foi possível identificar um panorama das metodologias que estão sendo adotadas na literatura e quais podem fornecer informações relevantes para a análise de provimentos de serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave: Base de dados de pesquisa Agropecuária, Invest, Biomas Brasileiros e metodologias adotadas

Abstract: This article aims to analyze the trends in techniques and methods used to define Ecosystem Services (ES) through different Biomes in Brazil. We made a systematic review using the Agricultural Research Database (BDPA). Repository, provided by the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa), among others. For this study, we assessed 143 publications from 2000 to 2020 period. The majority of studies carried out were focused on the Cerrado Biome, with 54 studies, followed by the Atlantic Forest (28 studies), the Amazon Biome (8 studies) and Pampas (4 studies). No study was found for the Pantanal Biome. Most parts of the methodologies used to assess ES are based on monitoring, modeling, GIS and statistics (38%). Approaches focused on methodologies such as interviews, semi-structured interviews, as well as field assessments were also identified. The InVEST software was also used when authors focused on ecosystem services based on erosion reduction, sediment input, hydrological studies, and changes in land use. Other authors have used multi-criteria modeling and analysis approaches to assess and quantify ecosystem services and changes in land use and cover. We provided in this study a systematic review of the most common methodologies adopted in the literature to assess ES and which can provide relevant information for the analysis of ecosystem service provision in the Brazilian biomes.

Keyword: Agricultural research database, Invest, Brazilian Biomes and methodologies adopted

Abstracto: El objetivo de este artículo es analizar las tendencias en la literatura sobre las técnicas y métodos utilizados para definir los servicios ecossistémicos en los diferentes biomas brasileños. La metodología adoptada fue una revisión sistemática utilizando la Base de Datos de Investigación Agropecuaria (BDPA), el Repositorio de Acceso Abierto a la Información Científica (ALICE) de Embrapa, entre otros. El estudio seleccionó 143 publicaciones entre 2000 y 2020. El marco cronológico identificó que la mayoría de los estudios realizados pertenecen al Bioma Cerrado, con 54 estudios desarrollados, seguido por el Bosque Atlántico (28), el Bioma Amazónico (8), la Pampa (4), y no se encontró el Bioma Pantanal. Las metodologías adoptadas se basan en el monitoreo, modelización, SIG y estadística (38%), las demás enfatizan metodologías como entrevistas semi-estructuradas, experiencias de campo y otras. Algunos trabajos utilizan el programa informático InVEST para proporcionar servicios ecossistémicos basados

en la reducción de la erosión, la aportación de sedimentos, los estudios hidrológicos y los cambios en el uso del suelo. Otros autores han utilizado la modelización y el análisis multicriterio para evaluar y cuantificar los servicios ecosistémicos y los cambios en el uso y la cubierta del suelo. A partir de la revisión sistemática fue posible identificar una visión general de las metodologías que se están adoptando en la literatura y que pueden proporcionar información relevante para analizar la provisión de servicios ecosistémicos.

Palavras-chave: Base de datos de investigación agrícola, Invest, Biomas brasileños y metodologías adoptadas

Introdução

A paisagem existente no território brasileiro é vista como um conjunto de elementos naturais e/ou artificiais atrelados a mudanças contínuas no tempo e no espaço, sendo transformadas por processos de atuação antigos e recentes (AB´SABER, 2003). As potencialidades paisagísticas são analisadas desde o período Pré-cambriano por seus aspectos morfoclimáticos, pedológicos, hidrológicos, ecológicos, fitogeográficos (AB´SABER, 2003), e quando inicia-se a era Cenozoica no período quaternário, a paisagem é apropriada pela ação antrópica (TEIXEIRA, et al. 2007), substituindo o variado mosaico paisagístico, por um modelado paisagístico e econômico voltado para a produtividade agrícola.

Ab´Saber (2003), enfatiza sua preocupação com esse novo modelo econômico de constantes modernização que os domínios morfoclimáticos vem sofrendo, e alerta aos órgãos de gerenciamento do meio ambiente, para uma possível conciliação entre o desenvolvimento de técnicas, para a seleção dos espaços agricultáveis com a preservação e proteção do patrimônio genético dos Domínios morfoclimáticos, em especial do Bioma Cerrado. A degradação dos solos, dos corpos hídricos e da biodiversidade de forma descontrolada, pode causar severos processos de modificação no ecossistema e conseqüentemente aos serviços ecossistêmicos.

O conceito de serviços ecossistêmicos surgiu na obra de Constanza et al. (1997), "O valor dos serviços ecossistêmicos do mundo e o capital natural" publicado na revista Nature em 1997. Na obra, o autor aponta a possibilidade de quantificar o valor da natureza. Daily (1997) define que, os serviços ecossistêmicos são as condições favoráveis dos ecossistemas naturais e as espécies de sustarem a vida humana. Constanza et al (1997) afirma que, as populações humanas se beneficiam direta e indiretamente das funções dos ecossistemas e a Avaliação do Milênio (2005), diz que os homens se beneficiam dos ecossistemas.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi analisar na literatura, as tendências das técnicas e métodos utilizados para implementação de serviços ecossistêmicos nos diferentes Biomas Brasileiro.

Material e métodos

A revisão sistemática da presente pesquisa foi realizada através de dados coletados nas seguintes bases de dados: Base de dados de pesquisa Agropecuária (BDPA); no Repositório Acesso Livre a Informação Científica da Embrapa (ALICE); no Infoteca e Serviço Informação Tecnológica em Agricultura; na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD) e no Portal Brasileiro de Acesso Aberto à Informação Científica (OASISBR). Investigamos quais são os métodos e técnicas aplicadas no reconhecimento dos serviços ecossistêmicos (SE); as principais variáveis utilizadas nos estudos dos SE; e quais os ecossistemas mais frequentes nos estudos e analisados, usando a visão dos serviços ecossistêmicos. Essas informações permitiram a compreensão da distribuição geográfica dos estudos ao longo do tempo e do espaço.

As publicações selecionadas na revisão seguiram os seguintes critérios: presença em uma das bases de dados eletrônicas (BDPA, ALICE, Infoteca, BDTD e OASISBR); e ocorrência das palavras chaves, utilizando os operadores AND para as palavras: "serviço ecossistêmico, pagamento de serviço ecossistêmico e Bioma Cerrado". Adicionalmente foram inclusos nas pesquisas os sinônimos e seus respectivos termos em língua inglesa: "*Ecosystem goods and services, environmental benefits, environmental services, ecological economics and environmental economics, ecological value, ecosystem management, ecosystems, environmental health, environmental sustainability and green infrastructure, natural capital*". E os últimos critérios analisados foram publicados entre o período de 2000 até 2020.

Da pesquisa identificou-se 261 publicações, aquelas que não atenderam aos critérios da pesquisa (trabalhos completos) foram excluídas,

ficando um total de 143 publicações para serem analisadas e lidas na íntegra, sendo que, deste total 13 foram excluídas depois da leitura, por não atenderem aos critérios de seleção abaixo:

Critérios de inclusão de trabalhos:

- (a) publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicos ou em versões impressas;
- (b) que apresentem os métodos e técnicas utilizadas para delimitação dos serviços ecossistêmicos;
- (c) que abordarem sobre pagamento de serviços ecossistêmicos ou ambientais.

Critérios de exclusão de trabalhos:

- (a) publicados como artigos curtos ou pôsteres;
- (b) que não apresenta os métodos e técnicas utilizadas para delimitação dos serviços ecossistêmicos e pagamento de serviços ecossistêmicos;
- (c) que apresentam avaliações sem apresentar o método e técnicas utilizadas.

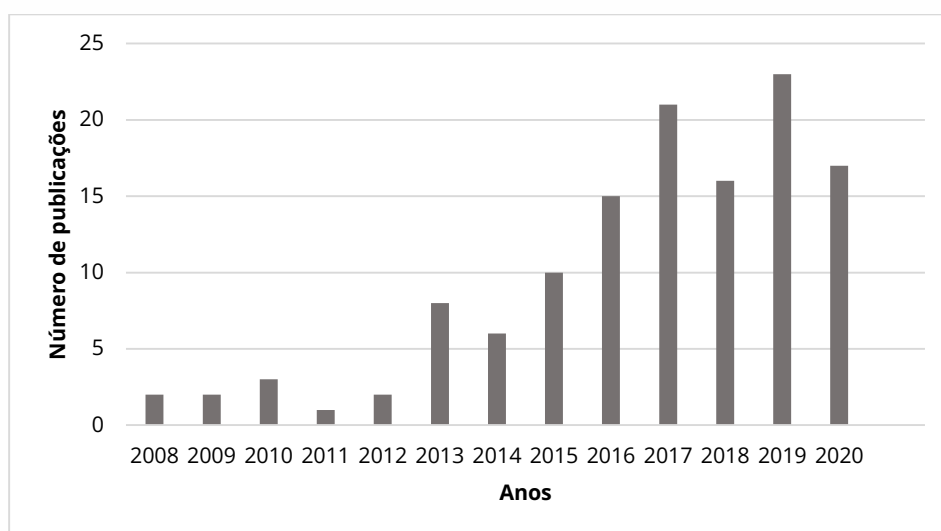
A classificação dos resultados foi organizada de acordo com os seguintes metadados: distribuição geográfica das publicações ao longo do tempo e a identificação dos Biomas (1 Domínio Amazônico; 2 Domínio do Cerrado; 3 Domínio dos Mares de Morros (Mata Atlântica); 4 Domínio das Caatingas; 5 Domínio das Araucárias e; 6 Domínio das Pradarias (Pampas)), métodos e técnicas aplicadas no SE e pagamento de SE, variáveis utilizadas na identificação dos SE e os tipos de SE mais frequentes nos trabalhos selecionados. E para finalizar os dados foram qualificados e quantificados em uma planilha eletrônica.

Resultados e Discussão

Distribuição geográfica das publicações ao longo do tempo

O número de publicações sobre os serviços ecossistêmicos tem aumentado ao longo dos últimos anos, como é mostrado na figura 1. O levantamento feito durante um período de 20 anos (2000 até 2020), nas bases de dados mencionadas na metodologia é bem diversificado, variando desde artigos em eventos científicos, artigos em periódicos, produções científicas da Embrapa (separada, parte de livro, boletim de pesquisa, folhetos, manual técnico e livros), mas, o maior número de publicações encontra se disponível em teses e dissertações, que foram elaboradas em instituições públicas de ensino e pesquisa. Dentro da série temporal estudada, o ano de 2011 obteve menor número de publicações e o ano 2019 foi aquele de maiores publicações, ficando uma média de nove publicações por ano.

Figura 1 – Distribuição e número de estudos relacionados SE ao longo do tempo (2000-2020) nas bases de eletrônicas (BDPA, ALICE, Infoteca, BDTD e OASISBR).



Fonte: Próprio autor (2021)

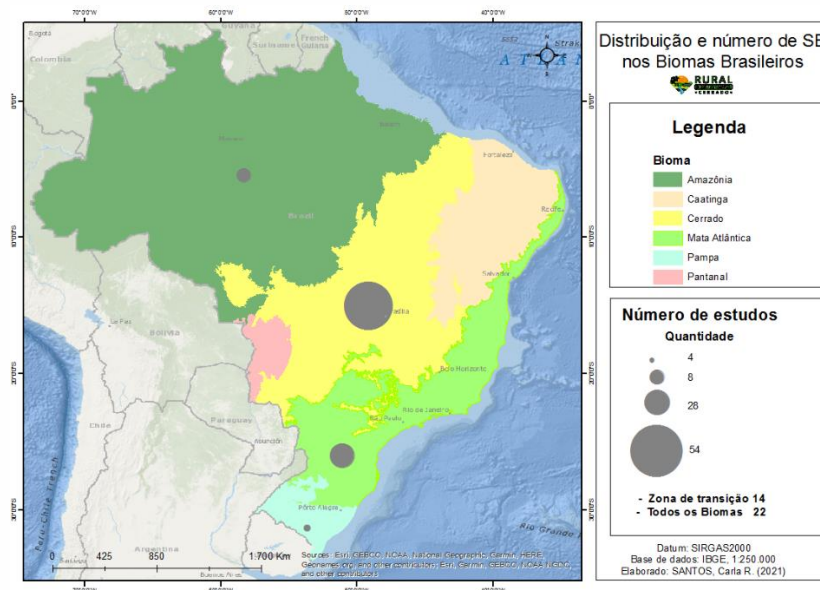
Ressalta se que 2019 foi marcado por diversas catástrofes ambientais, tais como o aumento de 29,5% de área desmatada na Amazônia,

eventos de queimadas na Amazônia, Cerrado e Pantanal, isso no primeiro semestre de 2019, dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Além disso, 2019 foi marcado pelo rompimento da barragem de Brumadinho, com um total de 9,7 milhões de m³ de rejeitos vazaram do reservatório.

Observa-se também que 2019 foi marcado pela extinção de áreas protegidas, reduzindo 60 unidades de conservação e o maior recorde de concentração de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso na atmosfera, segundo a Organização Mundial Meteorológica (OMM) e para finalizar, tivemos o derramamento de óleo no litoral brasileiro em agosto de 2019. Esses eventos podem ser fatores que contribuíram para as pesquisas terem um aumento considerável em 2019.

A figura 2 mostra a distribuição espacial dos SE nos principais domínios morfoclimáticos. A margem de tempo cronológico da pesquisa identificou que, a maioria dos estudos foi realizada no Bioma Cerrado (54), na Mata Atlântica (28), no Bioma Amazônico (8) e Pampas (4). No Bioma Pantanal não foi registrado nenhuma ocorrência de estudo nos artigos pesquisados, somente de forma geral. Os estudos indicam também, conjuntos de interseções entre os Biomas, conhecidas como ecótonos ou zonas de transição, são áreas com características endêmicas de fauna e flora (Ab`Saber, 2003), totalizando 14 interseções de áreas de transição, e 22 estudos abordavam sobre todos os Biomas.

Figura 2 –Distribuição e números de serviços ecossistêmicos identificados que foram inclusos na pesquisa de literatura, de acordo com os diferentes Biomas Brasileiros.



Elaborado por: Próprio autor

Métodos e técnicas aplicadas no SE e pagamento de SE identificadas nas bases selecionadas

A maioria dos estudos identificados utiliza a metodologia baseada em monitoramento, modelagem, Sistema de informação Geográfica e estatística (38%), as demais enfatizam metodologias como, entrevista semiestruturada, experiências de campo e análise laboratorial, sensoriamento remoto, análise teórico conceitual (Tabela 1), entre outros. Na figura, não aparece todos os autores pesquisados, somente as publicações que serviram de base teórica e metodológica para os provimentos de serviços ecossistêmicos.

Muitos dos estudos que focaram em modelagem, monitoramento, SIG e estatística, se apropriaram de técnicas de modelagem utilizando *ensemble*, para compreender as diferentes estratégias de restauração e oferta de dois serviços ecossistêmicos, para reduzir a erosão e a sedimentação (SAAD, et al. 2018). Outros utilizaram técnicas de similaridade entre bacias, usando o “Modelo de Sedimentação de Reservatório Evitado”, do software InVEST. As variáveis que alimentaram o modelo InVEST foram:

mapa de perdas de solo, retenção de sedimentos a montante, mapa de exportação de sedimentos, uso do solo e cobertura vegetal.

Tabela 1 – Classificação de métodos e técnicas aplicadas no SE e sua participação na população (n=130) de referências estudadas

Autores pesquisados	Metodologia e técnicas adotadas	Número de estudos	%
BUQUERA et al. (2015); KADRY, et al. (2017); RABELO (2014); FICHINO et al. (2014); PENKAITIS (2020); LÓPEZ (2013); BOURSCHIEDT, (2018); LEITE (2014); CAMILA (2020); entre outros	Entrevista semiestruturada, modelagem e/ou SIG	11	8
CARACENA e SANTOS, (2019); SILVA e HILTON, (2016); VILELA, et al. (2019); BUAINAIN, et al. (2020); PARRON, (2015); FASIABEN, et al. (2009), entre outros.	Revisão teórica-conceitual	15	12
SOBREIRO (2018); BULLER (2016), PINTO e RAMOS, (2020); OLIVEIRA, (2019); SILVA e FERNANDES, (2019); SANTOS, (2018), entre outros.	Sensoriamento remoto, SIG e modelagem	17	13
HYSLOP, K, et. Al (2020); MINGOTI, et al (2016); XAVIER (2020); PARRO et al. (2015); SOARES, et al. (2019); PARRON, et al. (2019); TOSTO, et al. (2010); GOMES, et al. (2013); ALMEIDA (2019); OLIVEIVEIRA, (2020); CORDEIRO, et al. (2016) entre outros.	Análise estatística, dados secundários e/ou SIG	18	14
OLIVEIRA (2017); KISAKA, (2019); PEREIRA, (2020); ARAÚJO (2015); GOMES, (2019); ROSA e SANCHEZ 92014); AQUINO, et al. (2013); SILVA, et al. (2017), entre outros	Trabalho de campo, análise de laboratório e/ou modelagem	20	15
PRADO et al. (2016); SAAD, et al. (2018); HYSLOP, et al. (2019); WINCKLER, et al. (2017); WREGGE, et al. (2015); PEREIRA, et al. (2019); TOSTO, et a. (2019); FASIABEN, et al. (2017); TOSTO, et al. (2017); CUADRA, et al. (2020); RODRIGUEZ, et al. (2019), entre outros.	Monitoramento, modelagem, SIG e/ estatística	49	38

Elaborado por: Próprio autor

Muitos dos estudos que focaram em modelagem, monitoramento, SIG e estatística, se apropriaram de técnicas de modelagem utilizando *ensemble*, para compreender as diferentes estratégias de restauração e

oferta de dois serviços ecossistêmicos, para reduzir a erosão e a sedimentação (SAAD, et al. 2018). Outros utilizaram técnicas de similaridade entre bacias, usando o “Modelo de Sedimentação de Reservatório Evitado”, do software InVEST. As variáveis que alimentaram o modelo InVEST foram: mapa de perdas de solo, retenção de sedimentos a montante, mapa de exportação de sedimentos, uso do solo e cobertura vegetal.

Outros autores utilizaram o software InVEST para valoração de serviços ecossistêmicos ou análise de casos, tais como, Tôsto (2015), Azevedo (2017), Lattari (2019). Entre esses, o trabalho de Azevedo (2017) estimou os serviços ecossistêmicos na bacia do Ribeirão Pipiripau (DF/GO) aplicando o modelo InVEST (modelo de exportação de sedimentos (*Sediment delivery model* – SDR), a fim de estimar a erosão total e o aporte de sedimentos dos rios da bacia. Para validar o modelo, o autor utilizou dados hidrossedimentológicos usando o coeficiente de MUSLE (Silva et al. 2011). Desta forma, segundo as observações do autor, o modelo InVEST auxiliou em estudos hidrológicos a partir de mudanças de uso do solo, gerando bons resultados nos estudos de impacto hidrológico (AZEVEDO, 2017).

Os estudos que utilizaram a modelagem e análise de multicritérios para identificação de serviços ecossistêmicos foram Tôsto (2010); Fasiaben, et al. (2017); Machado (2017); Scherer (2017), Andrade (2018); Lattari (2019), entre outros. O estudo de Tôsto (2010) usou o conceito de escala sustentável, preconizada pela Economia Ecológica, para avaliar a sustentabilidade do uso e da cobertura das terras e quantificar e valorar os principais serviços ecossistêmicos. Este autor utilizou as variáveis, uso e cobertura da terra; por meio de sensoriamento remoto e SIG; capacidade de uso das terras e suas respectivas áreas de conflito. O estudo prosseguiu utilizando o índice de Sustentabilidade Ambiental, com o auxílio do Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA-C), e o software M Macbeth.

Os modelos que utilizam decisões baseadas em multicritérios são frequentemente adotados quando existem vários critérios de avaliação.

Desta forma, é possível inserir no modelo um conjunto de critérios (monetários e não monetários) para analisar o problema. O método auxilia os tomadores de decisões a integrarem diferentes escolhas nas suas ações, a partir das ideias de diferentes atores envolvidos, e sob a ótica de múltiplos critérios (GOMES, 1999).

Já Lattari (2019) avaliaram o serviço ecossistêmico hídrico de uma microbacia utilizando modelagem espacial, o software RIOS (sistema de otimização de investimentos em capital natural e em múltiplos SE), o software InVEST e a análise de multicritérios. O software RIOS é uma ferramenta computacional, baseada em Sistema de Informações Geográficas, utilizadas em análise espacial de atividades de conservação do solo e água. Este sistema possibilitou interagir dados socioeconômicos, criar cenários futuros e subsidiando a tomadas de decisões. Para identificar as áreas prioritárias, para a implantação de atividades de restauração e práticas conservacionistas, os autores utilizaram os módulos 1 (*Investment portfólio advisor*) e 2 (*Portfólio Translador*) do software RIOS e a elaboração dos cenários diversos, utilizaram o módulo *Sediment Delivery Ratio* do software InVEST. Sendo que, o primeiro produto do RIOS gera um mapa com a alocação eficientes das atividades e o segundo os dados de entrada para avaliação do software InVEST (LATTARI, 2019, p. 32). No módulo 2 do software RIOS, foi possível gerar cenários futuros através das atividades de transição. O modelo SDR do software InVEST permitiu calcular o aporte de sedimentos. Todavia, o autor enfatiza que, a inexistência de dados para validação dos resultados do modelo SDR-InVEST, dificultaram a comparação de cenários, sendo necessário encontrar outras formas de validação, tais como avaliações in loco (LATTARI, 2019).

Fidalgo, et al. (2017), utilizou análise conjunta de critérios, tais como pontuação, ponderação e integração, a fim de encontrar áreas para pagamento por serviços ecossistêmicos ambientais hídricos. Para alcançar os resultados, os critérios foram baseados em parâmetros qualitativos,

utilizando as classes: ruim, satisfatório e bom, e ponderação quantitativa, atribuindo se, escalas de valor e funções matemáticas. Para obter um bom resultado Fidalgo et al. (2017) sugeriu fazer a integração de todos os critérios e pesos. A análise de critérios permite obter uma visão integrada das variáveis, e assim diagnosticar áreas que precisam ser priorizadas. Neste caso também, o autor recomendou a validação dos resultados, consultando especialistas ou dados coletados em campo.

Os métodos, as técnicas e as ferramentas computacionais utilizados nos diversos artigos, contribuem para a compreensão do provimento dos serviços ambientais de forma global, regional e local e permite indicar ações para possíveis intervenções.

Alguns artigos focaram no trabalho de campo, análise laboratorial e estatística, dentre eles Silva et. al. (2015); Frizzo (2016); Matos (2018); Távora (2020) e Pereira (2020). Estes estudos avaliaram os impactos dos serviços ecossistêmicos em sistemas de uso e manejo do solo e recursos hídricos. Pereira (2020) analisou a influência do processo de regeneração natural dos solos e da regulação hídrica, responsáveis pelos provimentos dos serviços ecossistêmicos de suporte. O estudo realizou verificação em campo, análise estatística, correlação de Pearson e de Spearman e análise de dados multivariada. A autora utilizou dados de precipitação, capacidade de retenção hídrica, densidade e resistência mecânica do solo, velocidade de infiltração, condutividade hidráulica do solo e uso e cobertura do solo. A metodologia adotada no trabalho permitiu relacionar os serviços ecossistêmicos de regulação hídrica, com o processo de regeneração natural.

As variáveis utilizadas na identificação dos SE

Para analisar os serviços ecossistêmicos, a análise dos estudos enfatizou uma grande diversidade de variáveis, que podem ser físicas, químicas ou biológicas para entender o funcionamento do ecossistema. A escala de análise é bem diversificada, variando de local (processos erosivos

e microrganismo), análise da regional (bacias hidrográficas e mitigação de inundações), até mesmo em escala planetária (aquecimento global).

Na revisão sistemática foi observado, que as pesquisas voltadas para serviço ecossistêmico do solo, os autores trabalham com as variáveis: uso do solo e cobertura vegetal, ou uso da terra e cobertura vegetal, estrutura da paisagem (modelo digital do terreno, declividade), produção de sedimentos, qualidade do solo, taxas de produtividade, taxas de degradação, estoque de carbono dos fertilizantes, estimativa de custo monetário dos fertilizantes necessários para reposição da fertilidade do solo, custo de aplicação dos fertilizantes, estimativa de custo de reposição de nutrientes, dados socioculturais e socioeconômicos, dados agropecuários com valores de insumos e custos de produção e armazenamento, erodibilidade do solo e erosividade da chuva, Unidade de Conservação, localidades urbanas, índices de vegetação (NDVI e SAVI), dentre outras.

As pesquisas voltadas para serviços ecossistêmicos hídricos trabalharam em sua maioria com as seguintes variáveis: dados hidrológicos (precipitação, temperatura, umidade relativa, insolação e pressão atmosférica), bacia hidrográfica (solo, cobertura vegetal, características do solo, vegetação e topografia), dados de reflectância e temperatura de superfície advindos do Satélite MODIS/ ÁGUA), profundidade do lençol freático, pH, condutibilidade, elevação (dados SRTM), vazão, balanço hídrico, biodiversidade, dimensão socioeconômica, produtos fitossanitários, fertilizantes, capacidade de retenção hídrica, umidade do solo, velocidade básica de infiltração, entre outros. O uso dessas variáveis possibilitou avaliar a qualidade e quantidade de água disponível no sistema, além de obter se um panorama da situação que o sistema hídrico se encontrava, entendendo a relação direta entre a disponibilidade dos recursos hídricos e o desenvolvimento das atividades agroeconômicas na bacia hidrográfica. Para Fidalgo, et. al. (2017) os serviços ambientais hídricos garantem a segurança

hídrica para a sociedade, por isso é importante entender sua dinâmica espacial e temporal.

Tipos de SE mais utilizados

As categorias de análise dos serviços ecossistêmicos encontradas na revisão sistemática foram divididas em categoria de provisão, regulação, culturais e suporte. (Quadro 1).

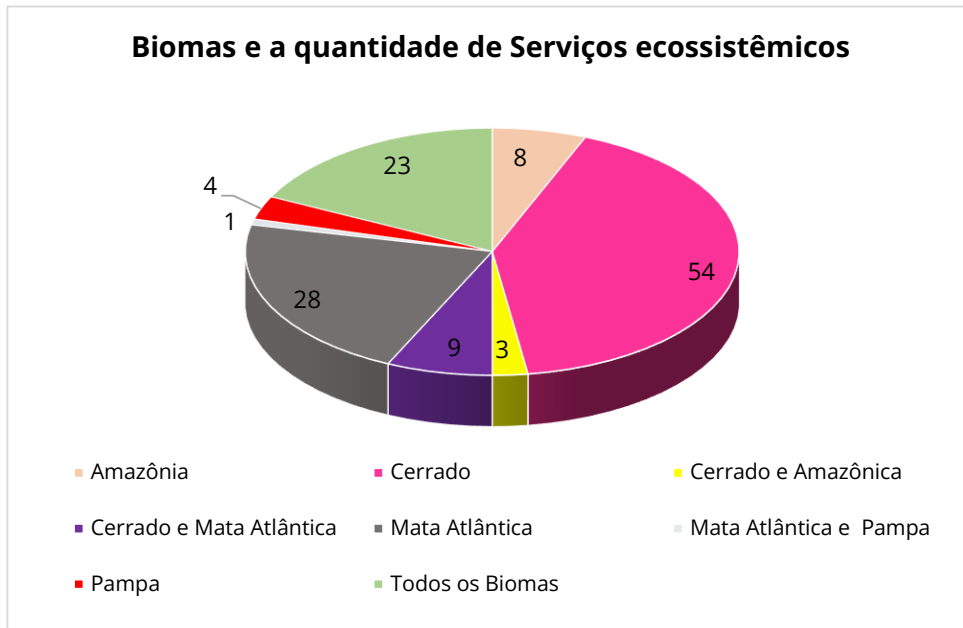
Quadro 1– Quadro das categorias de serviços ecossistêmicos

Categorias	Serviços
Provisão	Formação do solo, ciclagem de nutrientes, água, fotossíntese, manutenção da biodiversidade, alimentos, matérias-primas, combustível, água potável, entre outros.
Regulação	Qualidade do ar e do solo, clima fluxos de água, purificação, fertilidade do solo, controle biológico de pragas e doenças, polinização, prevenção de desastres
Culturais	Valores estético, espirituais, educacionais, recreação e turismo.
Suporte	Ciclo de nutrientes, produção de oxigênio, entre outros

Elaborado por: Próprio autor

A figura 3 mostra a quantidade de serviços ecossistêmicos encontrados nos estudos analisados, o qual, o Bioma Cerrado é o ecossistema mais estudado nos trabalhos avaliados (42%), seguido pelo bioma da Mata Atlântica (22%). Brasil (2013) mostra a importância do Bioma Cerrado para conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, sua preservação é benéfica para assegurar o funcionamento dos serviços ambientais, entre eles, a purificação do ar e da água, a provisão de água e de alimentos, a regulação climática, a estocagem de carbono, ciclagem de nutrientes, polinização (PARRON e GARCIA, 2015), dentre outros.

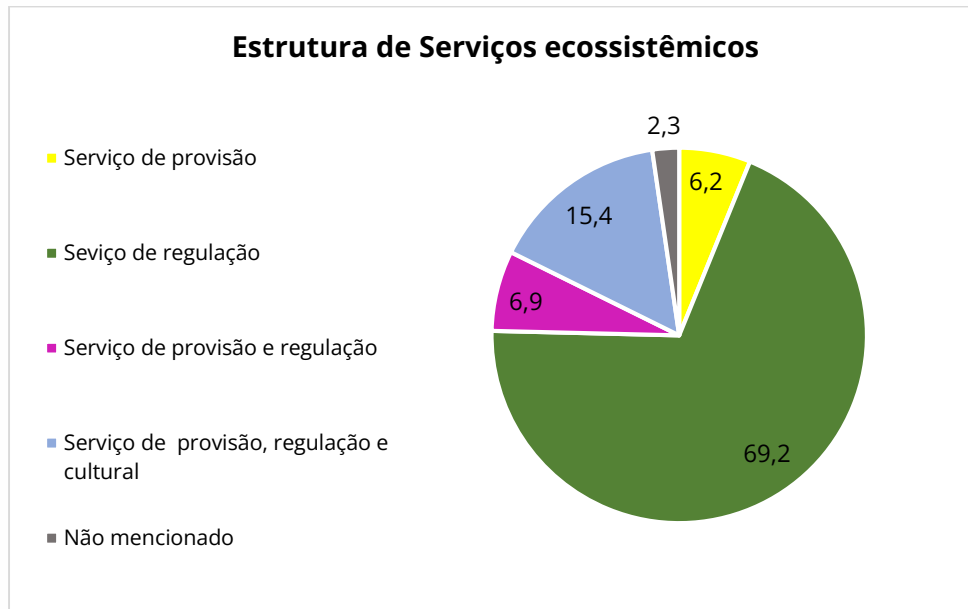
Figura 3 - Gráfico da quantidade de serviços ecossistêmicos encontrados nas publicações por Biomas



Elaborado por: Próprio autor

A figura 4 evidencia que, o serviço ecossistêmico mais analisado nos trabalhos é o serviço de regulação (69%), que engloba as funções responsáveis por equilibrar as condições ambientais naturais, tais como, o ciclo hidrológico na qualidade do ar e na composição do solo. Isso pode ser explicado em estudos anteriores, demonstrando que a paisagem transformada pode ocasionar mudanças em escalas regionais e globais, como as mudanças climáticas e eventos extremos de chuva, isso pode explicar a maior atenção desses estudos no serviço de regulação (RODRIGUES, et al. 2021).

Figura 4 – Gráfico de estrutura de serviços ecossistêmicos (%)



Elaborado por: Próprio autor

Considerações Finais

A leitura das publicações, utilizando a metodologia da revisão sistemática foi fundamental para a identificação dos trabalhos relevantes, sobre serviços ecossistêmicos nas bases de procura sugeridas pelo protocolo de condução. As obras possibilitaram encontrar técnicas, metodologias e tipos de variáveis que são utilizadas para o provimento de serviços ecossistêmicos, principalmente de solo e recursos hídricos.

Pode se afirmar que a variável uso da terra e cobertura vegetal, ou uso do solo e cobertura vegetal, são indispensáveis para as análises de provimentos de serviços ecossistêmicos de forma geral, lógico que outras várias como declividade, erosividade, erodibilidade, evapotranspiração, índice de perdas de solo, são utilizadas na compreensão da análise integrada da dinâmica da natureza. As metodologias de análise espacial e modelagem,

associada aos softwares de SIG's (ArcGis, QGis, InVEST, Spring e outros), contribuem para o cruzamento de dados e informações, e possibilita gerar diagnóstico e prognósticos que colaboram na tomada de decisões nos gestores e órgãos governamentais.

O uso do software InVES foi bem avaliado pelas pesquisas elencadas na revisão, além de ser uma ferramenta, que está disponível de forma gratuita no site The Natural Capital Project, de fácil entendimento e que proporciona fazer uma análise consistente dos possíveis benefícios que a sociedade pode obter da natureza.

Muitos autores relataram as dificuldades na validação dos modelos e na falta de base de dados de acesso livre, que possibilite uma ação integrada entre os órgãos governamentais, público científico e sociedade civil. Assim, reforçando a ideia da importância de produzir, analisar e compartilhar bases de dados com as diversas instituições brasileiras, diminuindo o tempo de produção de dados e focando na busca de técnicas mais avançadas.

A avaliação das metodologias e técnicas disponíveis nos trabalhos pesquisados contribuiu para a tomada de decisão das técnicas que podem ser utilizadas no Projeto Rural Sustentável - Cerrado (PRS - Cerrado), para avaliar os serviços ecossistêmicos do solo e dos recursos hídricos presente no Bioma Cerrado, e se possível mensurar uma valoração ecológica.

O projeto é administrado pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Pesquisa (IABS) e conta com a parceria dos pesquisadores da Embrapa. O PRS Cerrado iniciou em abril de 2021 e busca utilizar metodologias diversificadas, para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar a renda de pequenos e médios produtores no Bioma Cerrado (EMBRAPA, 2021). No projeto, há várias linhas de pesquisas que envolvem arranjos e manejo de sistemas integrados em tecnologias de emissão de baixo carbono, recuperação de terras degradadas e

desmatamento evitado, estimativa de desmatamento evitado e serviços ecossistêmicos (EMBRAPA, 2021), entre outros.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito do Projeto Rural Sustentável - Cerrado, financiado pela Cooperação Técnica aprovada pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), com recursos do Financiamento Internacional do Clima do Governo do Reino Unido, tendo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como beneficiário institucional. O Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) é o responsável pela execução e administração do projeto e a Associação Rede ILPF por meio da Embrapa, é a responsável pela coordenação científica e apoio técnico.

Referências

AB'SABER, Aziz Nacib. **Os Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003, p. 9-26, 83-100.

ANDRADE, João Paulo Soares de. **A implantação do pagamento por serviços ecossistêmicos no território Portal da Amazonia: uma análise econômico -ecológica**. 2008. 110p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP.

AZEVEDO, Lícia Maria Nunes de. **Calibração, validação e aplicação do modelo invest para a estimativa de benefícios aos serviços ecossistêmicos na bacia do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)**. 2017. xi, 86 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) —Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

CONSTANZA, R., D'ARGE, R., GROOT, R., FARBERK, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**. New York 387:253-260.

DAILY, G.C. 1997. Nature's services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. **Island Press**, Washington, DC.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeto Rural Sustentável da Embrapa no Cerrado entra na Fase II.** 2021. Disponível em : <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63571913/projeto-rural-sustentavel-da-embrapa-no-cerrado-entra-na-fase-ii>. Acessado, 1 novembro, 2021.

FASIABEN, M. do C. R.; ANDRADE, C. A.; REYDON, B. P.; GARCIA, J. R.; ROMEIRO, A. R. **Estimativa de aporte de recursos para um sistema de Pagamento por Serviços Ambientais na floresta Amazônica brasileira.** Ambiente e Sociedade, Campinas, v. 12, n. 2, p. 223-239, jul./dez. 2009. Acessado em: 24 ago. 2021. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/23986/1/Fasiabenet-al-a02v12n2.pdf>

FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; SCHULER, A. E. **Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. 80 p.

FRIZZO, T. L. M. **Mudanças do uso da terra sobre a comunidade de formigas e a retenção dos serviços ecossistêmicos no Cerrado.** Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2016. Acessado em 26 ago. 2021. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154607/1/Frizzo-tese-2016-1.pdf>

GOMES, E. G. **Integração entre sistemas de informação geográfica e métodos multicritério no apoio à decisão espacial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia/Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 1999

LATTARI, Paulo Georges Zein. **Modelagem de serviços ecossistêmicos hídricos em uma microbacia do alto Corumbataí.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/D.11.2019.tde-15072019-171034. Acesso em: 21 ago. 2021

MACHADO, A. R. **Alternativas de restauração de florestas ripárias para o fornecimento de serviços ecossistêmicos.** 2017; 149 f. Tese (doutorado em engenharia hidráulica. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP.

MATOS, A. K. V. de. Impacto da certificação RAS nos serviços ecossistêmicos hídricos de cafeicultores do Cerrado Mineiro. 2018. 70 f. il. color. Tese

(Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Acessado em 24 ago. 2021. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185529/1/Tese-Alan-Kardec-Veloso-de-Matos-2018.pdf>

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. AVALIAÇÃO DO MILÊNIO. 2005. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.433.aspx.pdf>. Acessado em: 28 out. 2021.

NATURAL CAPITAL PROJECT. **InVEST**. Stanford University. 2019. Acessado em: 20 ago. 2021. Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R. **Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos**. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 29-35. Capítulo 1. Acessado em 24 ago. 2021. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129911/1/Lucilia-LivroServicosAmbientais-Cap1.pdf>

PEREIRA, LUARA CASTILHO. **Evolução Dos Serviços Ecossistêmicos Em Diferentes Estágios De Regeneração Natural**. 2020.

RODRIGUES, A. F.; LATAWIEC, A. E.; REID, B. J.; SOLÓRZANO, A.; SCHULER, A. E.; LACERDA, C.; FIDALGO, E. C. C.; SCARANO, F. R.; TUBENCHLAK, F.; PENA, I.; VICENTE-VICENTE, J. L.; KORYS, K. A.; COOPER, M.; FERNANDES, N. F.; PRADO, R. B.; MAIOLI, V.; DIB, V.; TEIXEIRA, W. G. Systematic review of soil ecosystem services in tropical regions. Royal Society Open Science, v. 8, n. 3, 201584, Mar. 2021. London. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222291/1/Systematic-review-of-soil-ecosystem-services-2021.pdf>

SAAD, S. I.; SILVA, J. M. da; SILVA, M. L. N.; GUIMARAES, J. L. B.; SOUSA JUNIOR, W. C.; FIGUEIREDO, R. de O.; ROCHA, H. R. da. **Analyzing ecological restoration strategies for water and soil conservation**. Plos One, v. 13, n. 2, e0192325, 2018. Acessado em: 24 ago. 2021. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/180387/1/2018AP11.pdf>

SANTOS, C. S. **Alternativa metodológica para alocação de corredores ecológicos utilizando modelagem ambiental**. Tese (doutorado) -

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. 2017. 220f.

SCHERER, M. E. **Como e o que proteger? criação, delimitação e categorização de áreas protegidas com base em serviços ecossistêmicos.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2017

SILVA, C.; CHAVES, H. L. M.; CAMELO, P. **Calibração e validação da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE) utilizando dados hidrossedimentológicos locais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, n.4, p.1431- 1439, 2011.

SILVA, H. da; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; PARRON, L. M.; CHEROBIM, V. F.; MARIOTI, J.; FERRARI NETO, H. **Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais.** In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF. 2015. p. 71-83. Capítulo 5. Acessado em: 24 ago. 2021. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129916/1/Lucilia-AtributoFisico-Cap5-1.pdf>

TÁVORA, G. S. G. **Avaliação dos serviços ecossistêmicos prestados pelos solos em áreas agrícolas inseridas no Bioma Mata Atlântica, na região serrana do estado do Rio de Janeiro.** Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Orientador: Antonio Soares da Silva, UERJ; Coorientador: Ana Paula Dias Turetta, CNPS; Udo Nehren, Technische Hochschule Köln

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

TÔSTO, S. G. **Sustentabilidade de serviços ecossistêmicos no espaço rural do município de Araras, SP.** Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. Campinas, SP, 2010.

TOSTO, S. G.;BELARMINO, L. C.;ROMEIRO, A. R.;RODRIGUES, C. A. G.;SERGIO GOMES TOSTO, CNPM;LUIZ CLOVIS BELARMINO, CPACT;ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO, UNICAMP;CRISTINA APARECIDA G RODRIGUES, CNPM. **Valoração de serviços ecossistêmicos: metodologias e estudos de caso.** Brasília, DF: Embrapa,2015. Acessado em 24 ago. 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1028068>.

Publisher

Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Socioambientais. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. A primeira autora Carla Rodrigues Santos ficou especialmente responsável pela coleta, organização e processamento de dados que formaram as bases de informações para a realização do presente trabalho. O segundo e terceiro autor contribuíram com a análise e a tradução dos textos em inglês e espanhol. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais do BGG.

Carla Rodrigues Santos – Doutora em Geografia pela UNESP/PP (2017), mestre em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (2008) e Graduada em Geografia (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade Federal de Uberlândia (2006). Atuei como Geógrafa na Implantação da Usina hidrelétrica de Estreito/MA e Estudo da Viabilidade da UHs Santa Isabel /Xambioá/TO. Participo do projeto de pesquisa: Campo e cidade: a produção e comercialização dos produtos da agricultura familiar rural, urbana e periurbana em transição agroecológica em Sinop (Mato Grosso) e Região. Tem experiência na área de Meio Ambiente, Geografia física, com ênfase em Geomorfologia, Hidrogeografia, Pedologia, e técnicas de Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao meio ambiental

Laurimar Goncalves Vendrusculo - Ph.D pela instituição Iowa State University (2014), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (2001) e possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1988). Atualmente é pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Sistemas de Computação, atuando principalmente nos seguintes temas: Banco de Dados, Datamining, geoestatística, aplicações web, tecnologias de informação e variabilidade espacial.

Cornélio Alberto Zolin - Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Maringá - UEM (2007) e doutorado pelo programa de Pós-Graduação em ciências, área de concentração em Irrigação e Drenagem, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros" (ESALQ/USP) da Universidade de São Paulo (2010). Tem experiência na área de Engenharia Agrícola com ênfase em Gestão de Recursos Hídricos, atuando principalmente nos seguintes temas: gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, modelagem hidrológica, irrigação e aspectos técnicos, econômicos e sociais relacionados à água. É pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em Mato Grosso (Embrapa Agrossilvipastoril /Sinop/MT), onde atua na área de Manejo, Conservação e Uso de Recursos Hídricos. De 2013 a 2014 foi pesquisador visitante do United States Department of Agriculture (USDA)/ Agricultural Research Service (ARS), Hydrology and Remote Sensing Laboratory, Beltsville-MD.

Data de recebimento: 27 de abril de 2023

Aceite: 20 de novembro de 2023

Publicação: 13 de dezembro de 2023