



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JOSÉ NILSON OLIVEIRA FILHO

**MUDANÇA ESPAÇO-TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE DE SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS E ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DE SEU VALOR GLOBAL
PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SEMIÁRIDO CEARENSE**

FORTALEZA

2025

JOSÉ NILSON OLIVEIRA FILHO

MUDANÇA ESPAÇO-TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE DE SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS E ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DE SEU VALOR GLOBAL PARA
BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador (a): Isabel Cristina da Silva Araújo

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O47m Oliveira Filho, José Nilson.

Mudança espaço-temporal da disponibilidade de serviços ecossistêmicos e adaptação do método de seu valor global para bacias hidrográficas no Semiárido cearense / José Nilson Oliveira Filho. – 2025.
78 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2025.

Orientação: Profa. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo.

1. Valoração. 2. Transposição de águas. 3. Ecossistemas terrestres. I. Título.

CDD 630

JOSÉ NILSON OLIVEIRA FILHO

MUDANÇA ESPAÇO-TEMPORAL DA DISPONIBILIDADE DE SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS E ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DE SEU VALOR GLOBAL PARA
BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em 17/01/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Casimiro Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof^a. Dra. Anny Kariny Feitosa
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)

Prof^a. Dra. Lucianna Marques Rocha Ferreira
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

A Deus.

A família.

Jocel Mota - avô, Diego Mota - irmão, José

Nilson - pai (*In Memoriam*).

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Instituição Universidade Federal do Ceará – UFC, ao Centro de Ciências Agrárias - CCA e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA pelo espaço e oportunidade oferecidos.

A Professora Dr^a. Isabel Cristina da Silva Araújo, pela orientação e parceria.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Francisco Casimiro, Dr^a. Patrícia Verônica, Dr. Pedro Henrique, Dra. Anny Kariny, Dr. Luis César e Dr^a. Lucianna Marques pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos familiares e amigos por todo apoio, parceria e confiança de sempre. Em especial a minha companheira, Geiza Delfino, por toda paciência, apoio, incentivo nas horas difíceis e por toda dedicação.

Essa etapa que finda traz consigo superações, perdas, conquistas e um sentimento de que tudo é possível aos que confiam em Deus, sem Seu sustento nada seria possível.

RESUMO

Valorar os serviços ecossistêmicos de determinada região serve de base para o monitoramento e elaboração de políticas públicas de conservação dos ecossistemas, assim como, fornece um dado de fácil entendimento com o público geral sobre a importância dos ecossistemas para o bem-estar humano. Áreas cujo processo de exploração ganham espaço frente as coberturas naturais merecem um cuidado especial através do monitoramento e fiscalização. Assim, objetivou-se valorar os serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas no semiárido cearense e posteriormente foi observado a necessidade de ajuste do modelo de valoração onde, então, propõe-se uma adaptação metodológica em que foi aplicada a mesma área de estudo. Utilizou-se, inicialmente, coeficientes globais de valoração de serviços ecossistêmicos para as seguintes classes de cobertura do solo: formação florestal; caatinga densa; caatinga esparsa; gramíneas e pastagens; áreas cultivadas; solos expostos; corpos hídricos e centros urbanos. Para identificação dessas classes utilizou-se de imagens de satélite da coleção de uso e ocupação da terra do MapBiomas para os anos de 2011, 2017 e 2021 para as bacias hidrográficas do Alto e Médio Jaguaribe e do Salgado. Posteriormente, foi realizado um ajuste do método de valoração modificando os coeficientes globais através da participação de especialistas seguindo o método Delphi e em seguida utilizou-se da Análise Hierárquica de Processo para realizar os ajustes dos dados obtidos das entrevistas e calcular pesos que foram modalizadores dos coeficientes de valoração para as condições de semiárido. As alterações nas coberturas do solo refletiram diretamente no valor estimado para os serviços ecossistêmicos, portanto, realizar o monitoramento da cobertura através de mapas de uso e ocupação possibilitam facilmente valorar os serviços ecossistêmicos. O uso de coeficientes globais de valoração permitiu valorar os serviços ecossistêmicos, apesar das lacunas inerentes do método, como a ausência de coeficientes para determinadas coberturas e funções ecossistêmicas. O uso desse método permite, principalmente, valorar grandes áreas, servindo de base para elaboração de políticas socioambientais. O ajuste dos coeficientes para as condições da área de estudo foi uma medida necessária e se mostrou capaz de suprir as lacunas dos coeficientes globais. Quando o ajuste dos coeficientes foi empregado, houve redução do valor dos serviços ecossistêmicos em comparação com os valores calculados usando os coeficientes globais. Comparativamente, a aplicação de coeficientes regionais para valoração dos serviços ecossistêmicos no semiárido possibilitou identificar mudanças na escala de valores dos serviços, assim como na hierarquia de importância dos serviços ecossistêmicos frente a estimativa utilizando coeficientes globais.

Palavras-chave: valoração; transposição de águas; ecossistemas terrestres.

ABSTRACT

Valuing the ecosystem services of a specific region serves as a basis for monitoring and developing public policies for ecosystem conservation, as well as providing easily understandable data to the general public about the importance of ecosystems for human well-being. Areas where exploitation processes encroach upon natural cover warrant special attention through monitoring and oversight. Thus, the aim was to value the ecosystem services in watersheds in the Ceará semiarid region, and later it was observed that there was a need to adjust the valuation model, prompting a methodological adaptation in which the same study area was applied. Initially, global coefficients for valuing ecosystem services were used for the following land cover classes: forest formation; dense caatinga; sparse caatinga; grasses and pastures; cultivated areas; exposed soils; water bodies; and urban centers. For the identification of these classes, satellite images from the MapBiomas land use and occupation collection were used for the years 2011, 2017, and 2021 for the watersheds of the Upper and Middle Jaguaribe and Salgado. Subsequently, an adjustment of the valuation method was carried out by modifying the global coefficients through the participation of experts following the Delphi method, and then the Analytic Hierarchy Process was used to adjust the data obtained from the interviews and calculate weights that served as modulators of the valuation coefficients for semiarid conditions. Changes in land cover directly reflected the estimated value for ecosystem services; therefore, monitoring land cover through land use maps allows for easy valuation of ecosystem services. The use of global valuation coefficients enabled the valuation of ecosystem services, despite the inherent gaps of the method, such as the absence of coefficients for certain covers and ecosystem functions. The use of this method primarily allows for valuing large areas, serving as a basis for the development of socio-environmental policies. Adjusting the coefficients for the conditions of the study area was a necessary measure and proved capable of filling the gaps of the global coefficients. When the coefficient adjustment was applied, there was a reduction in the value of ecosystem services compared to the values calculated using the global coefficients. Comparatively, the application of regional coefficients for the valuation of ecosystem services in the semiarid region enabled the identification of changes in the value scale of the services, as well as in the hierarchy of importance of the ecosystem services compared to the estimates using global coefficients.

Keywords: valuation; water transposition; natural ecosystems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo do presente trabalho: Bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Salgado, região Nordeste do Brasil	26
Figura 2 - Mapas de uso da terra para as bacias hidrográficas em estudo: Bacia do Alto Jaguaribe, Bacia do Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado para os anos de 2011, 2017 e 2021	31
Figura 3 - Distribuição percentual do perfil dos especialistas que participaram da pesquisa respondendo os questionários conforme o método Delphi.....	45
Figura 4 – Representação média (2011, 2017 e 2021) dos valores estimados para os serviços ecossistêmicos em termos percentuais	58
Figura 5- Comparativo entre coeficientes de valoração de serviços ecossistêmicos Regionais e Globais.....	60
Figura 6- Comparativo entre o valor total dos serviços ecossistêmicos obtido com o coeficiente regional x coeficiente global	62
Figura 7 - Comparativo entre as categorias dos serviços ecossistêmicos quando estimados com coeficientes regionais x coeficientes globais.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reclassificação das classes de uso e ocupação da terra disponibilizadas na coleção 7 do MapBiomas conforme Souza et al. (2020)	27
Tabela 2 – Equivalência entre biomas estudados por de Costanza et al. (2014) e a categoria de uso e ocupação da terra nas bacias hidrográficas do semiárido cearenses	28
Tabela 3 – Coeficientes globais para os valores médios individuais dos serviços ecossistêmicos (US\$ 2023 ha ⁻¹ ano ⁻¹) por classe de uso e ocupação do solo.....	29
Tabela 4 – Áreas para as classes de uso da terra presentes nas bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado no Ceará	32
Tabela 5 – Valor total estimado para os serviços ecossistêmicos providos nas bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado no Ceará	34
Tabela 6 – Estimativa para os valores individuais dos serviços ecossistêmicos prestados pelas bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado no Ceará	36
Tabela 7 – Estimativa dos serviços ecossistêmicos totais ajustado para $\pm 50\%$ (VSEaj), porcentagem relativa da variação nos intervalos estudados e coeficiente de sensibilidade (CS).....	37
Tabela 8 – Classificação para avaliar o nível de consenso das respostas dos participantes.....	44
Tabela 9 – Escala Saaty para comparação e valores para substituição na matriz	46
Tabela 10 – Índice de Inconsistência Aleatória (IA).....	48
Tabela 11 – Coeficientes médio de valoração dos serviços ecossistêmicos ajustados (CVaj em US\$ 2023 ha ⁻¹ ano ⁻¹) a partir do método Delphi para as condições do semiárido brasileiro	52
Tabela 12 – Pesos (P) obtidos a partir da Análise Hierárquica de Processos a serem utilizados na equação de estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos ajustado.....	53
Tabela 13 – Coeficientes Regionais (US\$ 2023 ha ⁻¹ ano ⁻¹) de valoração dos serviços ecossistêmicos obtidos a partir do método Delphi e AHP para as condições do semiárido brasileiro	53
Tabela 14 – Estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos com base no ajuste do coeficiente de valoração regionalizado.....	54

Tabela 15 – Valoração das funções ecossistêmicas ajustadas para as condições do estudo	56
Tabela 16 – Estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos agrupados conforme sistema de classificação de serviços ecossistêmicos proposta da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005)	57
Tabela 17 – Ajuste de $\pm 50\%$ no VSE total, porcentagem relativa da variação nos intervalos estudados (%) e coeficiente de sensibilidade (CS)	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Projeto de transposição das águas do rio São Francisco	16
2.2	Valoração de Serviços Ecossistêmicos	18
2.3	Método Delphi.....	21
2.4	Análise Hierárquica de Processos - AHP	22
3	IMPACTOS DA DINÂMICA DOS USOS DA TERRA SOBRE OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS BENEFICIADAS PELA TRANSPosição DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO	24
3.1	Introdução	24
3.2	Material e Métodos	26
3.2.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	26
3.2.2	<i>Aquisição e processamento de dados</i>	26
3.2.3	<i>Valoração dos Serviços Ecossistêmicos</i>	28
3.3	Resultados e Discussão	31
3.3.1	<i>Mudança no uso e ocupação da terra</i>	31
3.3.2	<i>Mudança na oferta de serviços ecossistêmicos estimados com uso de coeficientes globais de valoração.....</i>	33
3.4	Conclusão	39
4	MODELO AJUSTADO DO CÁLCULO DE VALORAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS APLICADO ÀS CONDIÇÕES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	40
4.1	Introdução	40
4.2	Material e Métodos.....	42
4.2.1	<i>Método Delphi.....</i>	43
4.2.2	<i>Análise Hierárquica de Processos (AHP).....</i>	46
4.2.3	<i>Estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos ajustado - VSE_{aj}</i>	49
4.3	Resultados e Discussão	52
4.3.1	<i>Estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos a partir de coeficientes regionais de valoração</i>	52
4.3.2	<i>Análise comparativa das estimativas de valoração dos serviços ecossistêmicos</i>	59
4.4	Conclusões	64

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS	66
	APENDICES – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS.....	75

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para o equilíbrio natural do planeta Terra e sempre ganha destaque nas discussões globais sobre meio ambiente, aquecimento global, economia e política. Não sendo diferente para a valoração dos recursos gerados a partir dela.

Entre as questões relacionadas à água têm-se discutido muito intensamente nos últimos anos a sua disponibilidade de acordo com as necessidades de uso (Eloi *et al.*, 2014; Rigotto *et al.*, 2016; França e Moreno, 2017; Oliveira *et al.*, 2017 e Costa *et al.*, 2019) levantando questões como: distribuição geográfica e principalmente sobre a qualidade desse recurso tão necessário a manutenção da vida. Essas discussões tornam-se ainda mais necessárias quando se trata de regiões do globo em que a água é naturalmente escassa.

A região Nordeste brasileira caracteriza-se, principalmente por sua alta densidade demográfica e irregularidade pluviométrica o que a marcou como uma região “sofrida” por conta da escassez hídrica (Marengo *et al.*, 2017; Medeiros *et al.*, 2022). Tal situação resultou na criação de políticas de combate à seca e, posteriormente, políticas de convivência com o semiárido. A construção de açudes, barragens, integração de rios, construção de cisternas e a transposição de águas entre bacias e regiões hidrográficas são exemplos de políticas implantadas no semiárido brasileiro (Silva e Sousa, 2019; Nunes e Medeiros, 2020).

Diante disso, aumentar a segurança hídrica nessa região, possibilitará ampliar o desenvolvimento regional através da exploração agrícola, alterando assim o cenário social, econômico e ambiental. Em simulações feitas na região semiárida que receberá águas da transposição do rio São Francisco Medeiros *et al.* (2022) verificaram que com o aumento da disponibilidade hídrica poderá haver melhorias da qualidade de vida nas áreas beneficiadas, trazendo benefícios para a segurança alimentar e reduzindo as disparidades regionais entre classes sociais na região.

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as bacias hidrográficas do Nordeste setentrional (PISF) é a maior obra de transferência de águas entre regiões hidrográficas do Brasil (MIDR, 2024). Tem por objetivo garantir segurança hídrica, trazendo, ainda, emprego, renda, produtividade e promovendo inclusão social para a região beneficiada (Medeiros *et al.*, 2022).

Com a chegada das águas transpostas do São Francisco, as bacias receptoras serão diretamente impactadas, merecendo cuidado especial no que diz respeito a exploração agrícola e industrial. Essas atividades poderão desencadear impactos positivos e negativos. De acordo

com Gohari *et al.* (2013) a transferência de águas pode acarretar efeitos sociais, econômicos e ambientais negativos de longo prazo. Assim, propor alternativas de manejo e conservação dos recursos naturais, incentivar a valoração dos serviços ecossistêmicos tornam-se necessárias para assegurar a subsistência humana atual e futura.

Os serviços ecossistêmicos podem ser entendidos como as características ecológicas, funções ou processos que contribuem direta ou indiretamente para o bem-estar humano (Costanza *et al.*, 2024). Nesse sentido, a valoração desses serviços têm sido objeto de estudo no Brasil e no mundo há décadas sendo empregadas diversas metodologias para obtenção do valor estimado para os serviços ecossistêmicos (Groot *et al.*, 2012; Costanza *et al.*, 2014; Spence *et al.*, 2023; Garshasbi *et al.*, 2024; Sobhani *et al.*, 2025).

Objetivou-se avaliar as mudanças na disponibilidade de serviços ecossistêmicos no semiárido cearense. Realizar a valoração dos serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas utilizando o método de transferência de benefícios com base em coeficientes globais de valoração. Realizar ajuste metodológico na obtenção de coeficientes de valoração de serviços ecossistêmicos e empregá-los na estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas no semiárido brasileiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Projeto de transposição das águas do rio São Francisco

Mudança no Uso e Ocupação da Terra no Semiárido

Serviços Ecossistêmicos – disponibilidade e valoração

Bacias hidrográficas

Importância da valoração de SE local

A transposição de águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional destaca-se pela dimensão e complexidade da obra. Iniciada em 2007 o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) tem objetivo de aumentar a disponibilidade hídrica nos estados beneficiados (MIN, 2016)

O PISF desponta como a maior obra de infraestrutura hídrica do país, com extensão de 477 quilômetros (MIN, 2016). As águas transpostas irão garantir segurança hídrica a 12 milhões de pessoas em 390 municípios nos estados receptores das águas transpostas: Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

A região Nordeste conta com 28% da população brasileira e apenas 3% da disponibilidade hídrica do País (ANA, 2020). O Rio São Francisco, por sua vez, conta com 70% de toda a água dessa região (MIN, 2016). Assim, a integração da bacia do São Francisco representa importante contribuição para minimizar a problemática das secas, fenômeno natural recorrente nessa região do País.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2020) a vazão do projeto não prejudicará o Rio São Francisco. Estima-se que o projeto poderá retirar 26,4 m³/s, mesmo em períodos de recessão hídrica. Essa vazão é retirada daquela que deságua no mar, não afetando os empreendimentos já existente na bacia do Velho Chico. Em períodos de cheia, a captação prevista poderá chegar a 127 m³/s, ainda sem prejuízo ao rio doador (MIDR, 2024).

As discussões sobre a transposição das águas do Rio São Francisco para o semiárido do Nordeste setentrional partem de meados do século XIX, porém só foi implementada (PEREIRA JÚNIOR, 2005). No século seguinte, em 1920, a cargo da Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IOCS) a transposição do São Francisco foi descartada por falta de tecnologia para transpor o relevo de mais de 200 metros (HENKES, 2014).

Em 1980, a cargo do Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) o Governo Federal autoriza a realização de estudo de viabilidade da integração do rio São Francisco, denominando o projeto de Derivação da Água do Rio São Francisco para a Região Semiárida do Nordeste. Esse estudo realizado pelo DNOS serviu como anteprojeto para

realização do projeto básico do DNOS na década de 1990, no entanto ainda apresentou limitações que inviabilizaram sua implantação (MIN, 2016; PEREIRA JÚNIOR, 2005; HENKES, 2014).

Assim, em 1996 foi criado um Grupo de Trabalho Interministerial coordenado pela Secretaria de Políticas Regionais da Presidência da República - SEPRE. Esse grupo ficou responsável pela reestruturação do projeto básico, elaborando assim a viabilidade técnica, econômica e ambiental do projeto (MIN, 2016).

O eixo Norte do projeto atenderá as bacias dos rios Terra Nova e Brígida (PE); Salgado-Jaguaripe (CE); Piranhas-Açu (PB) e (RN); e, Apodi (RN). Já o eixo Leste, atenderá as bacias hidrográficas do rio Paraíba (PB); e, dos rios Moxotó e do Ipojuca (PE) (MIDR, 2024).

A transposição tem gerado grande expectativa, justificada não somente pelos cenários de secas, mas também controvérsias públicas, sobretudo pelo impacto nos ecossistemas e nas comunidades (FERREIRA, 2019). Assim, de acordo com Henkes (2014) a justificativa de desenvolvimento econômico sem que se considerem as dimensões ambientais e sociais do projeto, traduzirá em impactos à sociedade, em especial do semiárido, danos e riscos ambientais e por fim em altos custos financeiros para a manutenção do projeto.

Entre os impactos da obra da transposição apontados pelo Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) de 2004, Soares (2013) destaca os seguintes impactos negativos: modificação das comunidades biológicas aquáticas com risco de redução da biodiversidade das bacias receptoras; perda e fragmentação de cerca de 430 hectares de área com vegetação nativa, e; alteração dos cursos de drenagem das bacias receptoras. Entre os impactos positivos apresentam: aumento da oferta e da garantia hídrica, dinamização da economia regional, redução da exposição da população a situações emergenciais de seca, melhoria da qualidade da água nas bacias receptoras, entre outros.

Para dar maior capilaridade às águas da transposição do rio São Francisco, no Ceará, o Projeto Cinturão das Águas do Ceará (CAC) tem por objetivo interligar regiões hidrográficas do estado. O projeto CAC está dividido em três trechos (Trecho 1 – 145 km; Trecho 2 – 271 km e Trecho 3 – 137 km) e seis ramais (Ramal 1 – 53 km; Ramal 2 – 20 km; Ramal Leste – 304 km; Ramal Oeste – 182 km; Ramal Litoral (Acaraú-Curú) – 141 km e Ramal Litoral (Curú-CIPP) – 43 km) conforme a Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (SRH, 2018).

O Trecho 1 do CAC será responsável por aumentar a segurança hídrica na Região do Cariri cearense, região de notória importância econômica para o estado e segunda maior em densidade demográfica. O CAC levará água para os municípios da bacia hidrográfica do

Salgado, alto e médio Jaguaribe assegurando garantia para múltiplos usos das águas nas regiões beneficiadas (SRH, 2018).

2.2 Valoração de Serviços Ecossistêmicos

De acordo com Andrade (2010) a demanda humana pelos serviços prestados pelos ecossistemas, crescem exponencialmente e ultrapassa em muitos casos a capacidade de os ecossistemas fornecê-los. Diante disso, reforça-se a necessidade de implementação e fiscalização de políticas e leis que normatizem a exploração dos serviços ecossistêmicos.

Ainda em conformidade com Andrade (2010), os esforços devem ser não somente de compreensão da dinâmica dos elementos estruturais dos ecossistemas, mas também os mecanismos de interação entre os fatores de mudança dos ecossistemas e sua capacidade de produção e ainda, dos impactos sobre o bem-estar humano.

Nesse contexto, os serviços ecossistêmicos mostram-se como um conceito que agrupa os tantos quantos possíveis serviços prestados pela natureza ao bem-estar e a manutenção da vida. Daily (1997) definiu serviços ecossistêmicos como sendo as condições e os processos a partir dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os constituem, sustentam e permitem a vida humana. Para Andrade *et al.* (2012) os serviços ecossistêmicos são a interface básica entre o capital natural e o bem-estar humano. De acordo com Rosa; Souza e Sánchez (2020) o conceito de serviços ecossistêmicos tem ganhado espaço em processos de tomada de decisão e na gestão de projetos com potencial de causar significativa degradação ambiental.

Os serviços ecossistêmicos podem ser categorizados quanto aos serviços de provisão - abastecimento de alimentos, água, madeira, fibras, recursos genéticos e outros; regulação - regulação do clima, de doenças, biológica, purificação de água, regulação de danos naturais e outros; serviços culturais - ecoturismo, recreação, práticas espirituais e religiosas, educacional, herança cultural e outras; e, os serviços de suporte - formação do solo, produção de oxigênio, ciclagem de nutrientes etc. e que dão suporte aos serviços anteriores (MEA, 2003).

Entre os serviços ecossistêmicos verificados por Oliveira *et al.* (2016) em reservatórios no semiárido brasileiro, destaca-se o abastecimento humano, animal, agricultura irrigada, familiar e de subsistência, psicultura, mitigação dos efeitos de inundação e estiagens, regulação da vazão dos rios, autodepuração das águas, manutenção e regulação da biota de diversos ecossistemas e ainda serviços estéticos e turísticos, ritos religiosos ou não. Além desses poderão ser identificados outros serviços a nível de bacia hidrográficas. Para Santos Junior *et*

al. (2022) a conservação da água e outros recursos naturais no Semiárido são fundamentais para o desenvolvimento regional.

Para Prado *et al.* (2015) existe um consenso de que o caminho da sustentabilidade econômica, ambiental e social seja da conciliação entre demandas humanas atuais e futuras e conservação dos ecossistemas em um cenário influenciado pelas alterações climáticas. Nesse sentido, torna-se indispensável o emprego de políticas públicas de incentivo ao manejo conservacionista dos recursos naturais. Assim, a valoração dos serviços ecossistêmicos mostra-se promissora no desenvolvimento sustentável da economia, ambiência e sociedade.

Resende *et al.* (2017) destacam que a valoração econômica de serviços ecossistêmicos é uma abordagem útil para incentivar a conservação de áreas naturais. Além de incentivar a conservação, a valoração dos serviços ecossistêmicos fornece informações úteis para a tomada de decisões, contribuindo para implementação de políticas ambientais que favorecem a economia e o bem-estar social (Goldman *et al.*; 2008; Casimiro Filho e Costa 2009; Costanza *et al.*, 2014; Figgis *et al.*, 2015).

Casimiro Filho e Costa (2009) apresenta que a valoração dos serviços ecossistêmicos pode ser entendida como sendo a expressão monetária dos benefícios da provisão do ponto de vista de cada indivíduo. Podendo ainda ser entendida como uma ferramenta de apoio à concepção, formulação e decisão de políticas públicas. Para o autor, a valoração econômica dos serviços ambientais possibilita uma análise de custo-benefício de projetos públicos e privados e ainda, quando da conservação dos recursos naturais, pode ser entendido como benefício a sociedade ou quando o recurso não é preservado pode se mostrar como um custo.

Embora os preços de mercado não sejam equivalentes a valores, a valoração trabalha principalmente com preços de mercado, demonstrando um viés parcial, privilegiando apenas a dimensão econômica dos valores associados aos ecossistemas (ANDRADE e ROMEIRO, 2013). Conforme os autores supracitados, se os serviços ecossistêmicos contribuem com a manutenção das condições de vida, seus valores são positivos e não se deve negligenciar seus valores e contribuições para o bem-estar humano.

De acordo com Andrade e Romeiro (2013) torna-se necessário que os serviços de suporte estejam em condições de funcionamento adequado para prover os demais serviços ecossistêmicos. Dessa forma, a valoração dos serviços não deve prescindir de uma tentativa de compreensão dos componentes do capital natural, mas sim deve considerar a dinâmica dos processos ecológicos.

Ecossistemas e seus serviços apresentam valor econômico para a sociedade na medida em que a humanidade, direta e indiretamente, se utiliza efetivo ou potencial dos serviços prestados pela natureza. Frequentemente a valoração econômica associada aos serviços ecossistêmicos assume um papel reducionista (ANDRADE, 2010). Ressalta ainda, o autor, que é necessário concordar com a natureza complexa dos ecossistemas e, portanto, considerar não apenas os valores instrumentais ligados aos ecossistemas.

Rosa *et al.* (2020) aponta que o primeiro e fundamental passo para avaliar os impactos de um projeto sobre os serviços ecossistêmicos é a identificação dos ecossistemas, bem como de seus serviços e beneficiários. Rosa; Souza e Sánchez (2020) utilizaram sensoriamento remoto para realizarem a identificação de serviços ecossistêmicos em áreas de floresta e observaram que a aplicabilidade do sensoriamento se mostrou eficaz no suporte a identificação dos serviços auxiliando no planejamento e gestão ambiental.

De acordo com Cunha, (2008) apesar de não existir um método completo, que avalie os serviços ecossistêmicos em sua totalidade, a valoração dos serviços ecossistêmicos pode contribuir com ação pedagógica da importância da gestão ambiental e para o processo de tomada de decisão. O autor aponta ainda que a valoração de contingente apesar de limitações, pode contribuir com a medida de valor para os serviços ecossistêmicos.

Hein *et al.* (2006) cita cinco passos para estabelecer a valoração dos serviços ecossistêmicos. A saber: i. delimitar a área a ser valorada; ii. avaliar os serviços ecossistêmicos quanto aos aspectos biofísicos; iii. realizar a valoração, usando indicadores monetários ou não; iv. comparar ou agregar diferentes valores aos serviços; e v. análises das escalas de *stakeholders*, que permite identificar possíveis conflitos na gestão dos recursos naturais.

Entre as metodologias propostas para avaliar os serviços ecossistêmicos, destaca-se a metodologia de transferência de benefícios por permitir que seja valorado grandes áreas a partir de imagens de usos da terra (Kreuter, *et al.*, 2001. Hu *et al.*, 2008; Cunha *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2019). A partir dos dados de área dos usos da terra emprega-se coeficientes de valoração, conforme os propostos por Costanza (2014), por exemplo, para se obter o valor estimado dos serviços ecossistêmicos.

Cunha *et al.* (2014) estudaram a Bacia Hidrográfica do Jacuípe na Bahia e observaram que nos diferentes anos analisado houve avanço da área de pastagem e redução da cobertura do solo com vegetação de Caatinga. A avaliação permitiu que os autores chegassem à conclusão de que devido a esses fatores observados, houve uma queda de 20,98% no valor dos serviços ecossistêmicos prestados pela região. Outra consideração relevante é de que a dinâmica

do uso e ocupação da terra é o principal vetor de alteração nos fluxos dos serviços ecossistêmicos.

Diante do exposto, reforça-se a importância da presente proposta de estudo, haja visto que há uma carência de dados referentes aos serviços ecossistêmicos para essa região e ainda, torna-se uma pesquisa mais notória pela relevância que as águas transpostas do São Francisco são para mitigação dos efeitos das secas no semiárido.

Dito isso, avaliou-se os serviços ecossistêmicos e sua valoração, com base nos coeficientes globais de valoração propostos por Costanza *et al.* (2014) e posteriormente foi realizado um ajuste metodológico, em que se propõe uma metodologia de adaptação dos coeficientes globais com o intuito de melhor identificar o valor monetário estimado para os serviços ecossistêmicos da região estudada.

Para alcançar os novos coeficientes de valoração dos serviços ecossistêmicos utilizou-se de metodologia participativa, através da aplicação de questionários conforme o método Delphi e para a compilação dos dados dos questionários foi empregado a análise hierárquica de processos. Por fim, realizou-se o teste de comparação de médias para as estimativas usando os coeficientes propostos por Costanza *et al.* (2014) e os coeficientes ajustados para as condições do presente estudo.

2.3 Método Delphi

De acordo com Kayo e Securato (1997) o método Delphi envolve aplicações sucessivas de questionários a um grupo de especialistas ao longo de várias rodadas. Para seus criadores, Dalkey e Helmer (1963) o objetivo principal é tentar obter consenso entre especialistas.

Para Oliveira *et al.* (2008) o método Delphi consiste na técnica de previsão, projetada para conhecer com antecipação a probabilidade de eventos futuros, por meio da solicitação e coleta sistemática da opinião de especialistas em um determinado assunto.

Entre as vantagens destacadas pelos autores Oliveira *et al.* (2008) destacam-se o anonimato, por possibilitar maior espontaneidade entre os entrevistados; feedback, possibilita a revisão da opinião do entrevistado ao longo das rodadas de avaliação; flexibilidade, também se destaca por possibilitar a interação com o resultado dos especialistas ao fim de cada rodada de avaliação; uso de especialistas, apresenta maior confiabilidade, uma vez que a escolha dos participantes deve ser pautada no conhecimento prévio do assunto em estudo; consenso, deseja-se obter consenso, apesar das diferentes visões que se pode ter sobre o mesmo assunto; e, interatividade, possibilita aprendizado com reciprocidade entre os respondentes.

Como toda metodologia, também conta com diversas desvantagens, a saber: risco de excluir pontos de discordância na análise, possibilidade de criar consenso forçado, demasiado e artificial (Oliveira *et al.*, 2008).

Carbone *et al.* (2020) aplicaram o método Delphi para validar o estudo da proposição de um conjunto de indicadores de avaliação de capital natural e da oferta e demanda dos serviços ecossistêmicos de provisão de água para regiões metropolitanas no Paraná (Brasil). Para validação da pesquisa em destaque foram necessárias duas rodadas de envio de questionário eletrônico. Dessa forma, verifica-se o potencial do método na avaliação de dados em que são necessário a avaliação de especialistas para sua efetividade.

2.4 Análise Hierárquica de Processos - AHP

A Análise Hierárquica de Processos (AHP) foi proposta por Thoma Saaty na década de 1970. Sua proposta tem por finalidade auxiliar na tomada de decisões e/ou propor soluções frente a problemas com multicritérios. Assim, a AHP torna-se útil para a solução de problemas complexos. A AHP é utilizada basicamente para definir uma ordem de prioridade das alternativas capazes de solucionar um problema Silva *et al.* (2021), sendo uma técnica que permite a atribuição de pesos a um conjunto de indicadores segundo suas importâncias relativas (MANCAL, 2015).

Mancal, (2015) aplicou a AHP conjuntamente com dados obtidos na metodologia Delphi para estudar a capacidade adaptativa de comunidades em áreas susceptíveis à desertificação no Ceará. Suas análises permitiram concluir sobre a capacidade adaptativa das comunidades estudadas e ainda que o capital humano é o determinante mais crítico das comunidades em áreas de desertificação.

De acordo com Santos *et al.* (2022) qualquer processo de tomada de decisão com especialistas é dependente do comprometimento, da seriedade e da coerência lógica das respostas desses julgamentos. Os autores concluíram que a AHP permite, de certa forma, reduzir o problema da inconsistência lógica, através do cálculo da razão de consistência.

Loreto *et al.* (2022) quando utilizaram a AHP para definição dos pesos dos fatores de uma análise multicritério para identificar áreas prioritárias para irrigação na bacia do Tocantins-Araguaia, Centro-Oeste do Brasil, concluíram que a análise se mostrou satisfatória para o estudo, facilitando a tomada de decisão. Autores como Gass *et al.* (2023) também aplicaram a AHP para o estudo da paisagem rural como instrumento de gestão municipal em Santo Cristo, Rio Grande do Sul, Brasil, possibilitando concluírem que a paisagem seja o

resultado da combinação de elementos da sociedade e da natureza, que se relacionam e se transformam ao longo do tempo.

Portela *et al.* (2023) utilizaram a AHP na análise da vulnerabilidade à inundação em bacia hidrográfica e concluíram que o mapeamento da vulnerabilidade à inundação resultante do método AHP apresenta grau de vulnerabilidade baixo a moderado na bacia hidrográfica do Sirinhaém atestando assim a versatilidade de aplicações da AHP e que seus resultados auxiliam na predição das investigações mais adversas possíveis.

3 IMPACTOS DA DINÂMICA DOS USOS DA TERRA SOBRE OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS BENEFICIADAS PELA TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO

3.1 Introdução

Sustentado na ideia de findar os problemas da escassez hídrica do Nordeste setentrional, o Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) chega ao Ceará cercado de impasses políticos, legais e questionamentos quanto aos seus impactos ambientais. A maior obra de infraestrutura hídrica do país visa garantir segurança hídrica a cerca de 12 milhões de pessoas nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional – MIDR (MIDR, 2024). Diversas pesquisas no globo visam avaliar os impactos de obras de transposição de águas entre bacias hidrográficas, nas mais diversas vertentes, dada a magnitude dos impactos que obras de grande porte causam ao meio ambiente (Guo *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020; Barbosa *et al.*, 2021).

Guo *et al.* (2020) estudaram o projeto de desvio de água de sul para norte da China. Os autores enfatizaram que o aumento da conectividade hidrológica pode ter favorecido a invasão biológica e promoveu homogeneização biótica nas represas. Ainda sobre o mesmo projeto de transferência de águas, Liu *et al.* (2020) demonstraram que houve aumento da disponibilidade hídrica nas regiões receptoras, contudo, a transferência de águas apresenta riscos adversos para o ecossistema e o meio ambiente.

No Brasil, Barbosa *et al.* (2021) estudaram os impactos da transferência de águas entre bacias hidrográficas na qualidade da água em reservatórios no semiárido e identificaram alterações na qualidade da água dos reservatórios receptores e a resposta a transferência de águas é específica para cada reservatório. Ainda conforme os autores acima citados, as características da bacia receptora afetam profundamente os impactos negativos da transferência de águas entre bacias hidrográficas.

Ferreira (2019) aponta que a transposição tem gerado grande expectativa, justificada não somente pelos cenários de secas, mas também controvérsias públicas, sobretudo pelo impacto nos ecossistemas e nas comunidades. Para Henkes (2014) a justificativa de desenvolvimento econômico da transposição, sem que se considerem as dimensões ambientais e sociais, traduzirá em impactos à sociedade, em especial do semiárido.

Através do trecho emergencial do Cinturão das águas do Ceará (CAC), até fevereiro de 2023 foi transferido para o açude Castanhão 235.760.244 m³ conforme a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH (2023). Apesar desse aporte no Castanhão,

Nunes e Medeiros (2020), Silva e Sousa (2019) destacaram que entre os anos de 2011 e 2017, período de seca extrema, a má gestão das águas priorizou o atendimento da capital e região metropolitana enquanto demais regiões sofreram sérias restrições no abastecimento.

Para Cortez *et al.* (2017) o atendimento a comunidades difusas no Estado do Ceará continua difícil e oneroso e que a seca plurianual 2010-2017 mostrou a necessidade de uma visão proativa, com atuação na gestão de risco. Assim, as geotecnologias associadas a gestão hídrica podem auxiliar na tomada de decisão por parte dos gestores Barbosa *et al.* (2021) apontam que o geoprocessamento auxilia na predição e tomada de decisão sobre os recursos naturais, sendo fundamental para o mapeamento de áreas com iminência de danos aos ecossistemas.

Entre as várias definições para serviços ecossistêmicos, Daily (1997) definiu como sendo as condições e os processos a partir dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os constituem, sustentam e permitem a vida humana. De acordo com Rosa; Souza e Sánchez (2020) o conceito de serviços ecossistêmicos tem ganhado espaço em processos de tomada de decisão e na gestão de projetos com potencial de causar significativa degradação ambiental.

Costanza *et al.* (2014) ressaltam que expressar o valor dos serviços ecossistêmicos em unidade monetária não significa que eles devam ser tratados como *commodities*, expressar os serviços em unidade monetária é uma estimativa de seus benefícios para a sociedade que se comunica com o público de modo geral.

Pesquisadores como Kreuter *et al.* (2001), Hu *et al.* (2008), Cunha *et al.* (2014) utilizaram o modelo proposto por Costanza *et al.* (1997) e a partir dos valores globais estimaram o valor do serviço ecossistêmico em uma escala reduzida, em nível de município e de bacias hidrográficas. A utilização desse modelo para agregados regionais se mostra útil na avaliação de mudanças no uso da terra (COSTANZA *et al.*, 2014).

Nesse contexto, destaca-se que valorar os serviços ecossistêmicos de uma dada região no globo é trazer à tona os benefícios que a natureza propicia ao bem-estar humano, podendo servir de base para a tomada de decisões por parte dos gestores ambientais que podem limitar ou ampliar a exploração dos recursos naturais.

Objetivou-se quantificar os serviços ecossistêmicos a partir do mapeamento dos usos da terra nos anos de 2011, 2017 e 2021 nas bacias hidrográficas do rio Salgado, Alto e Médio Jaguaribe, beneficiadas por as águas da transposição do rio São Francisco e nessa ótica verificar os impactos atrelados a recepção das águas.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido nas bacias hidrográficas cearenses do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado (Figura 1). Compreendendo área de aproximadamente 48.000 km² ocupando a porção sul do estado. Essa região está sendo marcada por intensas obras de infraestrutura hídrica como as obras do Cinturão das Águas do Ceará - CAC e do Projeto de Integração do Rio São Francisco – PISF.

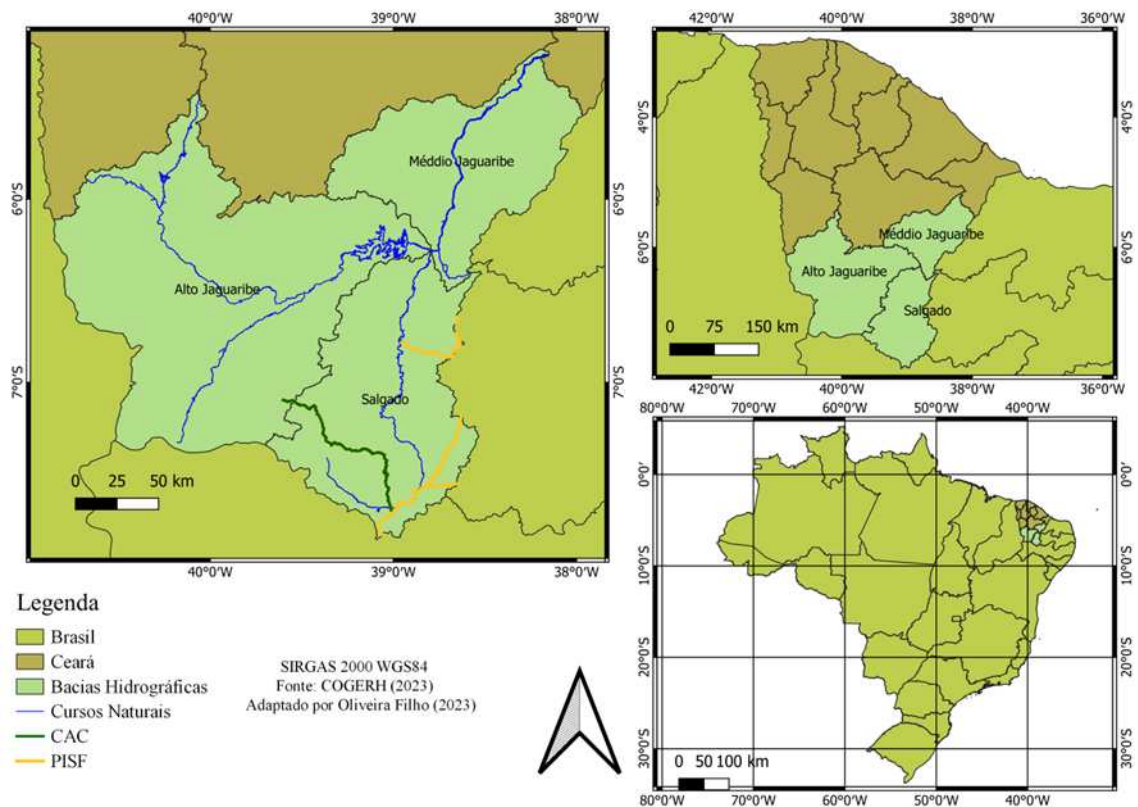


Figura 1 - Localização da área de estudo do presente trabalho: Bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Salgado, região Nordeste do Brasil

3.2.2 Aquisição e processamento de dados

Para a realização dos mapas de uso da terra, foram utilizadas imagens disponibilizadas na plataforma MapBiomass *Collection 7.0* (Souza *et al.*, 2020) para o estado do Ceará nos seguintes anos: 2011, 2017 e 2021, o que nos permitiu realizar uma análise espaço temporal da cobertura do solo para área de interesse. Após aquisição das imagens de cobertura do solo, foi realizado um recorte para a área de interesse (Bacias Hidrográficas do Alto e Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado), em seguida, foi realizada a reclassificação das imagens,

considerando a equivalência de coberturas conforme tabela 1. Utilizou-se da ferramenta reclassificação por tabela disponível no *software* livre QGis® versão 3.8.

Tabela 1 – Reclassificação das classes de uso e ocupação da terra disponibilizadas na coleção 7 do MapBiomias conforme Souza *et al.* (2020)

Classes da Reclassificação	Classes MapBiomias (Coleção 7)
Formação Florestal	Formação Florestal
Caatinga Densa	Formação Savânica Restinga Arborizada
Caatinga Esparsa	Formação Campestre Restinga Herbácea Outras Formações não Florestais
Gramínea e Pastagens	Pastagem
Área Cultivada	Agricultura Lavoura Temporária Soja Cana Arroz Algodão Outras Lavouras Temporárias Lavoura Perene Café Citrus Outras Lavouras Perenes Silvicultura
Solos Expostos	Mosaico de Usos Área não Vegetada Praia, Duna e Areal Mineração Outras Áreas não Vegetadas Afloramento Rochoso
Corpos Hídricos	Corpo D'água Rios, Lago e Oceano Aquicultura
Centros Urbanos	Área Urbanizada

Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, foram agrupadas oito categorias de uso da terra, a saber: Formação Florestal (cobertura vegetal de porte elevado, a exemplo da chapada do Araripe), Caatinga Densa (vegetação típica de Caatinga de porte e densidade de cobertura mais elevados), Caatinga Esparsa (vegetação espontânea típica de caatinga com porte reduzido e com baixa densidade de cobertura), Gramínea/Pastagens (campos de pastos e ou com cobertura predominantemente com gramíneas natural ou com manejo não irrigado), Área Cultivada (cultivo de culturas perenes, ciclos longos, manejadas com uso de irrigação), Solos Expostos (áreas com

predominância de solo exposto na maior parte do ano, seja campos naturais ou antrópicos), Corpos Hídricos (rios, lagos, represas, barragens e açudes) e Centros Urbanos (conglomerados de edificações, predominância da áreas ocupada por pavimentação e construções civis) em seguida extraiu-se os dados de área por classe agrupada para realizar a comparação de representatividade das áreas, variação ao longo do tempo e valoração dos serviços ecossistêmicos.

3.2.3 Valoração dos Serviços Ecossistêmicos

A estimativa dos valores dos serviços ecossistêmicos (VSE) foi realizada por meio do método de transferência de benefícios (Kreuter *et al.*, 2001; Hu *et al.*, 2008 e Ferreira *et al.*, 2019). Para tanto, utilizamos os coeficientes globais propostos por Costanza *et al.* (2014) que estimaram o VSE global para 17 serviços ecossistêmicos presentes em 16 biomas globais. Foi realizado equivalência de biomas (Tabela 2) para as coberturas estudadas de modo a obter maior representatividade.

Tabela 2 - Equivalência entre biomas estudados por de Costanza *et al.* (2014) e a categoria de uso e ocupação da terra nas bacias hidrográficas do semiárido cearenses

Biomas Estudados por Costanza et al. (2014)	Classe de Uso e Ocupação da Terra
Florestas (<i>Forest</i>)	Formação Florestal
Florestas Tropicais (<i>Forest Tropical</i>)	Caatinga Densa
Florestas Tropicais (<i>Forest Tropical</i>)	Caatinga Esparsa
Gramma/ Pastagens (<i>Grass/Rangelands</i>)	Gramíneas e Pastagens
Terras Agrícolas (<i>Cropland</i>)	Área Cultivada
Deserto (<i>Desert</i>)	Solos Expostos
Lagos e Rios (<i>Lakes/Rivers</i>)	Corpos Hídricos
Urbano (<i>Urban</i>)	Centros Urbanos

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores dos serviços ecossistêmicos para as oito classes de uso da terra identificadas na área de estudo, foram obtidos por semelhança entre os 16 biomas identificados no modelo de Costanza *et al.* (1997) com as classes de cobertura identificadas na área. Desse modo, o bioma mais representativo foi usado como *proxy* para as classes de uso da terra. Assim, foram atribuídos os respectivos coeficientes propostos por Costanza *et al.* (2014) às categorias de uso do solo (Tabela 3). Em seguida foi feita correção do valor monetário conforme o Índice de Preço ao Consumidor (IPC).

Tabela 3 - Coeficientes globais para os valores médios individuais dos serviços ecossistêmicos (US\$ 2023 ha⁻¹ ano⁻¹) por classe de uso e ocupação do solo

Serviços Ecossistêmicos	Categorias de Usos do Solo							
	Formação Florestal	Caatinga Densa	Caatinga Esparsa	Gramínea/Pastagens	Área Cultivada	Solos Expostos	Corpos Hídricos	Centros Urbanos
Regulação de gás	5,91	17,74	17,74	13,30	-	-	-	-
Regulação climática	1.050,86	3.021,02	3.021,02	59,12	607,46	-	-	1.337,59
Regulação de distúrbios	28,08	97,55	97,55	-	-	-	-	-
Regulação de água	4,43	11,82	11,82	4,43	-	-	11.105,66	23,65
Oferta de água	211,35	39,91	39,91	88,68	591,20	-	2.672,22	-
Controle da erosão	147,80	498,02	498,08	65,03	158,15	-	-	-
Formação do solo	20,69	20,69	20,69	2,96	786,29	-	-	-
Ciclagem de nutrientes	97,55	4,43	4,43	-	-	-	-	-
Tratamento de resíduos	177,36	177,36	177,36	110,85	586,76	-	1.356,80	-
Polinização	13,30	44,34	44,34	51,73	32,52	-	-	-
Controle biológico	249,78	16,26	16,26	45,82	48,77	-	-	-
Habitat / refúgio	914,88	57,64	57,64	1.794,29	-	-	-	-
Produção de alimentos	399,06	295,60	295,60	1.761,77	3.433,38	-	156,67	-
Matérias primas	224,66	124,15	124,15	79,81	323,68	-	-	-
Recursos genéticos	662,14	2.242,12	2.242,12	1.794,29	1.540,07	-	-	-
Recreação	1.408,53	1.281,42	1.281,42	38,43	121,20	-	3.201,34	8.483,40
Serviços Culturais	1,48	2,96	2,96	246,83	-	-	-	-
Total	5.617,86	7.953,03	7.953,09	6.157,34	8.229,48	-	18.492,69	9.844,64

Fonte: Elaborada pelo autor. Valores ajustados conforme o Índice de Preço ao Consumidor de dezembro de 2007 para janeiro de 2023.

O valor total dos serviços ecossistêmicos para os anos de 2011, 2017 e 2021 foram obtidos a partir da equação proposta por Kreuter *et al.* (2001):

$$VSE_{total} = \sum (A_k * VC_k) \dots \dots \dots (1)$$

Em que: VSE_{total} é o valor total dos serviços ecossistêmicos (US\$), A_k é a área total de cada categoria de uso do solo k (ha), e VC_k é o coeficiente de valor dos serviços ecossistêmicos para categoria de uso k (US\$ ha⁻¹.ano⁻¹).

Após a estimativa do valor total dos serviços ecossistêmicos por classe de uso e ocupação, realizou-se a estimativa dos impactos das alterações no uso e ocupação nas 17 funções ecossistêmicas individualmente para a área em estudo. As contribuições individuais das funções ecossistêmicas foram calculadas conforme descrito por Hu *et al.* (2008):

$$VSE_f = \sum (A_k * VC_{fk}) \dots \dots \dots (2)$$

Em que: VSE_f é o valor estimado do serviço ecossistêmico f (US\$), A_k é a área da categoria de uso da terra k (ha), e VC_{fk} é o coeficiente de valor para o serviço ecossistêmico f na categoria k (US\$ ha⁻¹.ano⁻¹).

Foi calculado, também, a variação percentual a fim de verificar as mudanças da área (ha) em cada categoria de uso e ocupação do solo e dos valores dos serviços ecossistêmicos no intervalo estudado (US\$). Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade para verificar a dependência de nossas estimativas de mudanças nos valores dos serviços ecossistêmicos nos coeficientes aplicados. Assim, foi aplicado um ajuste de $\pm 50\%$ para os valores médios de serviços ecossistêmicos propostos por Costanza *et al.* (2014) para as classes de uso e ocupação do solo estudadas. A partir dessa análise, tornou-se possível verificar a robustez dos valores estimados para os serviços ecossistêmicos.

Para cada classe e ano estudado, foi calculado o coeficiente de sensibilidade (CS) conforme o método econômico padrão de elasticidade sugerido por Mansfield (1985); Stigler (1987) citado por Kreuter *et al.* (2001); Hu *et al.* (2008) e Ferreira *et al.* (2019):

$$CS = \frac{(VSE_j - VSE_i)/VSE_i}{(CV_{jk} - CV_{ik})/CV_{ik}} \dots \dots \dots (3)$$

Em que: CS é o coeficiente de sensibilidade, VSE é o valor estimado para os serviços ecossistêmicos, CV é o coeficiente de valor extraído de Costanza *et al.* (2014), *i* e *j* representam valores iniciais e ajustados, respectivamente, e *k* representa a classe de uso e ocupação do solo. Todos os dados foram processados com auxílio do software Microsoft Excel®. Quando $CS > 1$ o coeficiente é considerado elástico, ao passo que se a razão for menor que um, o valor estimado é inelástico. Quanto maior a variação proporcional no valor do serviço em relação à mudança proporcional no coeficiente de valoração, mais crítico é o uso do coeficiente para determinação do valor do serviço ecossistêmico (HU *et al.*, 2008).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Mudança no uso e ocupação da terra

Com o objetivo de quantificar os serviços ecossistêmicos a partir do mapeamento dos usos da terra em bacias hidrográficas no semiárido cearense nos anos de 2011, 2017 e 2021 a figura 2 apresenta a espacialização temporal dos usos da terra em que é possível observar a redução da classe de corpos hídricos e predominância da classe de caatinga densa.

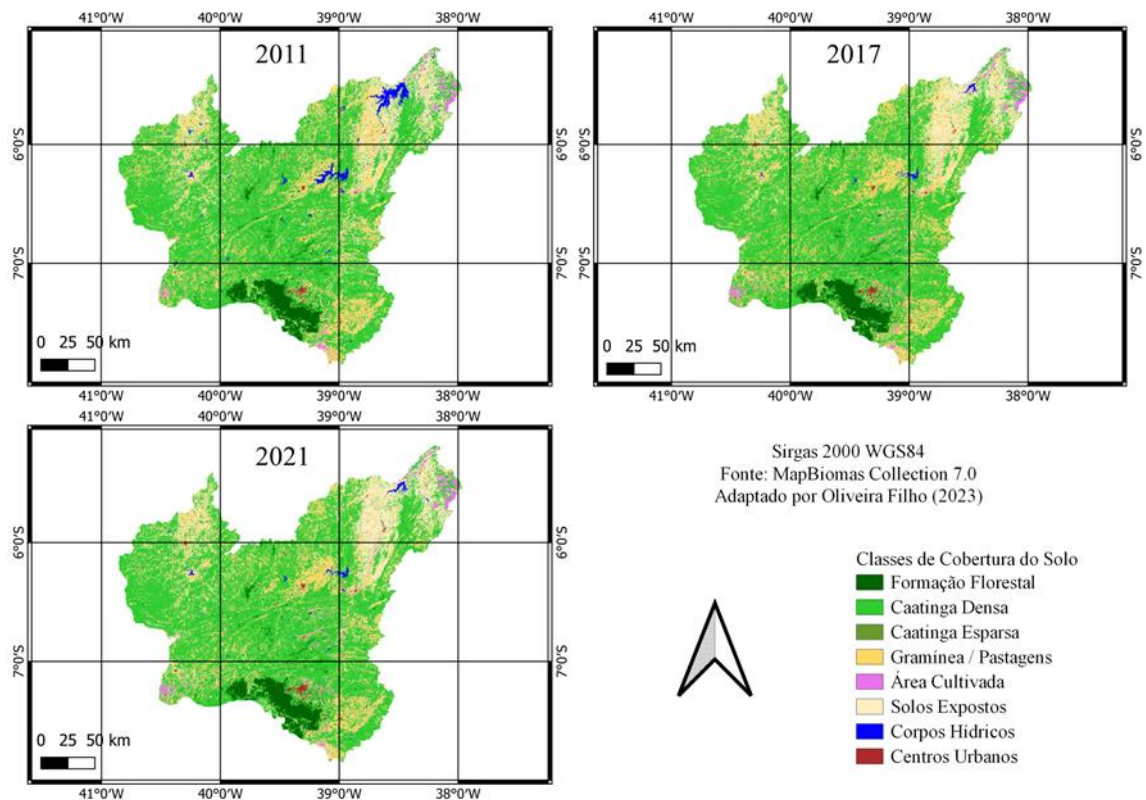


Figura 2 - Mapas de uso da terra para as bacias hidrográficas em estudo: Bacia do Alto Jaguaribe, Bacia do Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado para os anos de 2011, 2017 e 2021

A tabela 3 dispõe dos dados de área para as diferentes classes estudadas de usos da terra nos anos de 2011, 2017 e 2021 e suas respectivas representações percentuais de ocupação. Verificando-se que mais de 60% da área estudada é ocupada por caatinga densa, seguida da classe de uso gramínea e pastagens. Os corpos hídricos reduziram seu percentual de ocupação de 1,77% em 2011 para 0,4% em 2017, período de extrema seca no Nordeste brasileiro. A partir de 2017 os corpos hídricos tornaram a aumentar seu percentual de ocupação, saindo de 0,4% para 0,65% em 2021.

Tabela 4 - Áreas para as classes de uso da terra presentes nas bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado no Ceará

Classes	Cobertura do Solo (ha)			Porcentagem de área (%)		
	2011	2017	2021	2011	2017	2021
Formação Florestal	215.441,28	220.167,45	220.903,02	4,40	4,50	4,51
Caatinga Densa	2.964.905,73	2.970.620,10	2.962.584,99	60,56	60,68	60,51
Caatinga Esparsa	86.872,14	94.132,71	93.151,35	1,77	1,92	1,90
Gramínea/Pastagens	758.904,12	889.632,27	698.584,77	15,50	18,17	14,27
Área Cultivada	49.093,38	78.298,02	82.239,75	1,00	1,60	1,68
Solos Expostos	717.741,36	604.904,85	783.488,16	14,66	12,36	16,00
Corpos Hídricos	86.854,95	19.500,39	31.984,56	1,77	0,40	0,65
Centros Urbanos	15.846,84	18.404,01	22.723,20	0,32	0,38	0,46
Total	4.895.659,80	4.895.659,80	4.895.659,80	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com Rosa, Sousa, Sanchez (2020), ainda que o mapa de cobertura não demonstre o fornecimento de serviços ecossistêmicos, esses auxiliam o processo de identificação dos serviços e espacialização da análise.

Em 2011 a classe Solos Expostos cobria uma área correspondente a 14,66% da área em estudo, em 2017 houve redução para 12,36% e em 2021 cresce a área exposta e chega a ocupar 16,00% da área estudada. É possível perceber que ao passo que houve redução da área ocupada por Solos Expostos (2011 a 2017), cresceu a Área Cultivada e as áreas com Gramínea/Pastagens e, conforme reduziu a área com Gramínea/Pastagens de 2017 para 2021, cresceu a área de Solos Expostos no mesmo período.

Cunha *et al.* (2014) observaram que na bacia do Jacuípe na Bahia, houve redução de 27% na vegetação natural enquanto a área de Gramínea/Pastagens cresceu na mesma proporção num período de 12 anos (2000-2012). Ainda de acordo com os autores, a expansão do uso da terra pode ser explicada por questões socioambiental, cultural e econômicas. Diferente do que se observa no presente trabalho, em que as formações florestais se mantiveram com pouca variação, mesmo num período com eventos extremos como a seca e expansão da Área Cultivada e as áreas com Gramínea/Pastagens como observado na tabela 4.

Conforme visto na tabela 4, a classe com maior representatividade de área na região em estudo é a Caatinga Densa seguida de Gramínea/Pastagens e Solos Expostos. Partindo dessa observação, um olhar cuidadoso deve ser dado a essa região do estado, isso porque ao passo que se tem a maior parte da área ocupada por vegetação natural, as áreas exploradas somam

mais de 30%. Assim, medidas que estimulem a conservação dos recursos naturais como a compensação por serviços ambientais devem ser estimuladas.

De acordo com Barbosa *et al.* (2021) quando realizaram análise espaço-temporal dos espelhos d'água dos reservatórios do Ceará no período de 2012 a 2017, concluíram que a seca prolongada reduziu a quantidade de água superficial disponível. Fato esse ilustrado na figura acima, onde é possível observar a redução dos espelhos d'água ao longo dos anos estudados, com singela recuperação em 2021.

Quando se trata de expansão das áreas urbanas deve ser levado em consideração questões de extrema relevância como o êxodo rural e os impactos socioambientais decorrentes da falta de políticas públicas de fixação do homem no campo. Pesquisadores como Ferreira *et al.* (2019) avaliaram as mudanças no espaço temporal da disponibilidade dos serviços ecossistêmicos e observaram que no período de 1989, 2007 e 2014 na Microbacia Hidrográfica Riacho das Piabas, Paraíba, Brasil, houve um aumento de 115% da área construída. Ainda de acordo com os autores a expansão dos centros urbanos de forma desordenada pode causar impactos irreversíveis ao meio ambiente e a qualidade de vida da sociedade.

3.3.2 Mudança na oferta de serviços ecossistêmicos estimados com uso de coeficientes globais de valoração

A valoração dos serviços ecossistêmicos mostra-se como uma ferramenta que possibilitar dar ênfase aos recursos naturais. Em muitos casos, os serviços ecossistêmicos acabam sendo negligenciados por parte dos gestores dos recursos naturais, ou mesmo, sequer são questão de pauta por parte da sociedade (BARCCELOS *et al.*, 2018).

A classes de caatinga densa foi a que proporcionou maior contribuição do valor estimado para os serviços ecossistêmicos na área estudada, mais de 70% do valor total estimado está sendo ofertado por áreas com vegetação arbórea (Formação Florestal, Caatinga Densa e Caatinga Esparsa) (Tabela 5). Corroborando o presente trabalho, Ferreira *et al.* (2019) verificaram em seu estudo que a vegetação arbórea foi a que mais ofereceu funções ecossistêmicas, sendo, portanto, a mais valiosa. Isso implica dizer que as áreas de formação arbórea devem ser mantidas para que maior oferta de serviços ecossistêmicos seja prestada para o bem-estar social.

Tabela 5 - Valor total estimado para os serviços ecossistêmicos providos nas bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado no Ceará

Classes	VSE _{total} (US\$ 2023 x 10 ⁶ ano ⁻¹)			Variação (US\$ 2023 x 10 ⁶ ano ⁻¹)					
				2011 a		2017 a		2011 a	
	2011	2017	2021	2017	(%)	2021	(%)	2021	(%)
Formação Florestal	1.210,32	1.236,87	1.241,00	26,55	2,19	4,13	0,33	30,68	2,54
Caatinga Densa	23.579,98	23.625,43	23.561,53	45,45	0,19	-63,90	-0,27	-18,46	-0,08
Caatinga Esparsa	690,90	748,65	740,84	57,74	8,36	-7,80	-1,04	49,94	7,23
Gramínea/Pastagens	4.672,83	5.477,77	4.301,42	804,94	17,23	-1.176,34	-21,47	-371,41	-7,95
Área Cultivada	404,01	644,35	676,79	240,34	59,49	32,44	5,03	272,78	67,52
Solos Expostos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corpos Hídricos	1.606,18	360,61	591,48	-1.245,57	-77,55	230,87	64,02	-1.014,70	-63,17
Centros Urbanos	156,01	181,18	223,70	25,17	16,14	42,52	23,47	67,70	43,39
Total	32.320,24	32.274,86	31.336,77	-45,37	-0,14	-938,10	-2,91	-983,47	-3,04

Fonte: Elaborada pelo autor.

A classe de Formação Florestal apresentou pouca alteração no seu valor ao longo do período estudado 2,54% (Tabela 5), esse comportamento reforça a necessidade de permanência de áreas vegetadas para o bem-estar social. Implica ainda dizer que é necessário fortalecer as políticas de preservação e conservações dos recursos naturais.

Conforme disposto na tabela 5, a classe de uso da terra com maior representatividade do valor estimado para os serviços ecossistêmicos é a Caatinga Densa com VSE total estimado da ordem de US\$ 23.561,53 x 106 em 2021. Os resultados observados por Ferreira *et al.* (2019) corroboram com o presente estudo, em que a categoria de maior valor para as funções ecossistêmicas foram as classes de Formação arbórea. Tal observação ressalta a importância das reservas naturais para o estado e consequentemente para o bem-estar da sociedade.

Para a classe de Caatinga Esparsa, o que se observa é um crescimento até 2017 com 8,36% de crescimento no período (Tabela 5), O incremento de VSE total estimado foi de US\$ 690,90 em 2011 para 740,84 em 2021, ou seja, uma variação de 7,23%, mostrando-se que mesmo com período de adversidade climática, como a seca vivida e a expansão das áreas agrícolas que pode ter tido influência da maior oferta hídrica propiciada pela transposição, houve pouca alteração para as coberturas naturais.

Para a cobertura de Gramínea/Pastagens, segunda maior expressividade para os serviços ecossistêmicos da área estudada, observou-se que de 2011 para 2017 houve o maior avanço do período, seu VSE total variou nesse período na ordem de US\$ 840,94 com redução

no seu valor no período seguinte 2017 a 2021 e, no intervalo estudado, houve uma variação negativa de -7,95%, mostrando que a oferta dos serviços nessa cobertura desacelerou.

Para a classe de Corpos Hídricos o que se verifica é que seu valor foi drasticamente reduzido até o ano de 2017, representando uma variação percentual da ordem de -77,55%, esse comportamento se deve aos anos sucessivos de seca ocorrido no Ceará no período de 2011 a 2017 (Cortez *et al.*, 2017; Silva e Sousa, 2019; Nunes e Medeiros, 2020 e Barbosa *et al.*, 2021) que colocou o estado em situação crítica quanto ao abastecimento hídrico.

Ao passo que houve redução dos corpos hídricos aumentou a exploração de áreas de Gramínea/Pastagens e de Área Cultivada, fato reforçado quando se avalia os valores para a valoração dos serviços ecossistêmicos totais para essas classes. Sendo a Área Cultivada aquela que apresentou constante crescimento dentro do período estudado com incremento dentro do período da ordem de 67,52% (Tabela 5). Esse resultado implica dizer sobre a força que tem a exploração agrícola na região, mesmo com período de recessão hídrica vivido, os serviços prestados pelas atividades agrícolas se mostraram com força para crescer.

Os Centros Urbanos apesar de fornecerem um baixo VSE total estimado, apresentou constante crescimento no fornecimento de bem-estar social, implicando dizer que as áreas urbanas também têm papel fundamental na manutenção da vida.

Para a classe Solos Expostos, os autores que propuseram os coeficientes globais (Costanza *et al.*, 2014) não sugeriram coeficientes para essas áreas, assim, não foi possível estimar as contribuições para o valor dos serviços ecossistêmicos ofertados por essas áreas.

Os valores estimados para a maioria das funções ecossistêmicas (Tabela 6) apresentaram redução no intervalo 2011 a 2021, sendo a regulação de água e a oferta de água aquelas que apresentaram maior redução relativa, com -60,62 e -26,44%, respectivamente. A exceção ficou para as funções de regulação climática, regulação de distúrbios, controle de erosão, formação de solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico, produção de alimentos e matérias primas. O maior incremento relativo foi observado para a formação de solo com 24,05%.

Tabela 6 - Estimativa para os valores individuais dos serviços ecossistêmicos prestados pelas bacias hidrográficas do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Bacia do Salgado no Ceará

Serviços Ecossistêmicos	VSE _r (2023 US\$ x 10 ⁶ ano ⁻¹)			Porcentagem Relativa (%)		
	2011	2017	2021	2011 a 2017	2017 a 2021	2011 a 2021
Regulação de gás	65,51	67,50	64,81	3,05	-3,99	-1,07
Regulação climática	9.541,77	9.614,82	9.585,23	0,77	-0,31	0,46
Regulação de distúrbios	303,75	305,15	304,29	0,46	-0,28	0,18
Regulação de água	1.005,34	258,14	395,94	-74,32	53,38	-60,62
Oferta de água	495,75	346,14	364,68	-30,18	5,36	-26,44
Controle da erosão	1.608,81	1.629,09	1.612,91	1,26	-0,99	0,25
Formação do solo	108,45	132,16	134,53	21,87	1,79	24,05
Ciclagem de nutrientes	34,54	35,05	35,09	1,50	0,09	1,59
Tratamento de resíduos	810,25	753,63	750,23	-6,99	-0,45	-7,41
Polinização	179,04	187,39	177,24	4,66	-5,41	-1,00
Controle biológico	140,60	149,41	140,88	6,26	-5,71	0,20
Habitat / refúgio	1.734,70	1.974,34	1.631,70	13,81	-17,35	-5,94
Produção de alimentos	2.507,26	2.833,01	2.509,55	12,99	-11,42	0,09
Matérias primas	503,74	526,30	511,37	4,48	-2,84	1,52
Recursos genéticos	8.422,41	8.734,17	8.377,71	3,70	-4,08	-0,53
Recreação	4.661,67	4.499,58	4.558,81	-3,48	1,32	-2,21
Serviços Culturais	196,67	228,99	181,80	16,43	-20,60	-7,56
Total	32.320,24	32.274,86	31.336,77	-23,72	-11,51	-84,43

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme disposto na tabela 6, a regulação de água e oferta de água foram as funções ecossistêmicas que apresentaram maior redução na oferta no período de 2011 a 2017 e no intervalo estudado, 2011 a 2021 a redução foi da ordem de US\$ -609,40 para regulação de água e US\$ -131,07 para oferta de água. Essa perda, pode ser devido as reduções nos níveis dos reservatórios decorrentes de longos períodos de seca.

Para as demais funções ecossistêmicas apresentadas na tabela 6, verifica-se variações com menor porcentagem relativa. De modo geral, para os valores totais dos houve uma perda estimada da ordem de US\$ -983,47.

Entre os fatores que podem contribuir para alterações na disponibilidade dos serviços ecossistêmicos, Barcelos *et al.* (2018) apontam que às pressões antrópicas sobre os sistemas naturais, podem acarretar problemas de contaminação da água e do solo, causando desequilíbrio aos ecossistemas. Ainda conforme os autores, a falta de fiscalização pode ocasionar problemas futuros na proteção dos sistemas naturais.

A fim de constatar se o método utilizado é eficiente para a estimativa de valores de serviços ecossistêmicos no semiárido brasileiro, empregamos uma análise de sensibilidade, ajustando os coeficientes de SE disponibilizados pelas classes de uso e cobertura do solo (Tabela 7).

Tabela 7 - Estimativa dos serviços ecossistêmicos totais ajustado para $\pm 50\%$ (VSEaj), porcentagem relativa da variação nos intervalos estudados e coeficiente de sensibilidade (CS)

Coeficiente de Valoração (CV)	VSEaj (US\$ x 10 ⁶ ano ⁻¹)			Variação (%)			CS		
	2011	2017	2021	2011 a	2017 a	2011 a	2011	2017	2021
				2017	2021	2021			
Formação Florestal +50%	32.925,40	32.893,30	31.957,27	-0,10	-2,85	-2,94	0,04	0,04	0,04
Formação Florestal -50%	31.715,08	31.656,43	30.716,27	-0,18	-2,97	-3,15	0,04	0,04	0,04
Caatinga Densa +50%	44.110,23	44.087,58	43.117,53	-0,05	-2,20	-2,25	0,53	0,54	0,55
Caatinga Densa -50%	20.530,24	20.462,15	19.556,00	-0,33	-4,43	-4,75	1,15	1,15	1,20
Caatinga Esparsa +50%	32.665,69	32.649,19	31.707,19	-0,05	-2,89	-2,93	0,02	0,02	0,02
Caatinga Esparsa -50%	31.974,79	31.900,54	30.966,35	-0,23	-2,93	-3,15	0,02	0,02	0,02
Gramínea/Pastagens +50%	34.656,65	35.013,75	33.487,48	1,03	-4,36	-3,37	0,13	0,16	0,13
Gramínea/Pastagens -50%	29.983,82	29.535,98	29.186,06	-1,49	-1,18	-2,66	0,16	0,19	0,15
Área Cultivada +50%	32.522,24	32.597,04	31.675,16	0,23	-2,83	-2,60	0,01	0,02	0,02
Área Cultivada -50%	32.118,23	31.952,69	30.998,37	-0,52	-2,99	-3,49	0,01	0,02	0,02
Solos Expostos +50%	32.320,24	32.274,86	31.336,77	-0,14	-2,91	-3,04	-	-	-
Solos Expostos -50%	32.320,24	32.274,86	31.336,77	-0,14	-2,91	-3,04	-	-	-
Corpos Hídricos +50%	33.123,33	32.455,17	31.632,51	-2,02	-2,53	-4,50	0,05	0,01	0,02
Corpos Hídricos -50%	31.517,15	32.094,56	31.041,03	1,83	-3,28	-1,51	0,05	0,01	0,02
Centros Urbanos +50%	32.398,24	32.365,45	31.448,62	-0,10	-2,83	-2,93	0,00	0,01	0,01
Centros Urbanos -50%	32.242,23	32.184,27	31.224,92	-0,18	-2,98	-3,16	0,00	0,01	0,01

Fonte: Elaborada pelo autor.

A caatinga Densa foi a classe de uso e ocupação do solo que apresentou maior coeficiente de sensibilidade, variando de 1,15 a 1,20 quando o coeficiente foi ajustado para -50% e de 0,53 a 0,55 quando o coeficiente foi ajustado para +50% entre os anos de 2011 e 2021. Com exceção da Caatinga Densa ajustada para -50% todos os demais valores identificados para o CS foram menores que um (1) (Tabela 7).

Assim, com exceção da classe caatinga densa, os valores estimados para os serviços ecossistêmicos nas bacias hidrográficas do Alto e Médio Jaguaribe e bacia hidrográfica do Salgado são inelásticos, ou seja, baixa sensibilidade em relação aos valores médios globais

indicados por Costanza *et al.* (2014). Logo, os valores obtidos apresentam relativa robustez e podem ser razoavelmente aceitáveis.

A disponibilidade dos serviços ecossistêmicos no período estudado pouco variou quando se aplicou o ajuste de $\pm 50\%$. A maior variação observada foi para a classe de Caatinga Densa quando aplicado o ajuste para -50% no período de 2011 a 2021 com variação de $-4,75\%$ seguida da classe de Corpos Hídricos com variação de $-4,50\%$ também no mesmo período. Tanto no intervalo de 2017 a 2021 como 2011 a 2021 as variações observadas quando ajustadas $\pm 50\%$ foram negativas, indicando uma redução na capacidade de fornecimento dos serviços prestados nas bacias estudadas.

No intervalo 2011 a 2017 observa-se (Tabela 7) variações positivas quando aplicado o ajuste de $\pm 50\%$, indicando ganho na oferta dos serviços ecossistêmicos, contudo, esses ganhos além de baixos, foram reduzidos ao longo do tempo e conforme descrito acima, até 2021 as variações foram negativas.

3.4 Conclusão

O monitoramento dos usos e ocupação da terra permitem estimar o valor dos serviços ecossistêmicos a partir do uso de coeficientes globais e com isso é possível identificar como as alterações no uso e ocupação da terra impactam a oferta de serviços ecossistêmicos.

A seca prolongada impactou severamente a disponibilidade de água, entre os anos de 2011 e 2017 houve a maior redução da área ocupada por corpos hídricos o que reflete na necessidade da recepção das águas transpostas do rio São Francisco para o Ceará.

Algumas questões devem ser consideradas, a exemplo da falta de um coeficiente médio global para áreas de Solos Expostos, o que reflete, talvez, em uma subestimativa do valor total dos serviços ecossistêmicos, já que em regiões semiáridas, em especial em áreas de Caatinga, a cobertura do solo tende a ter uma sazonalidade decorrente do regime pluviométrico.

Reforçamos que os valores aqui apresentados, são uma estimativa do valor mínimo dos benefícios prestados pela natureza de forma direta e indireta ao bem-estar social. Esses valores devem ser levados em consideração quando da elaboração de projetos que venham interferir nos recursos naturais como é o caso dos projetos de transposição de águas.

Por fim, recomenda-se a elaboração de uma política de compensação por conservação e recuperação dos recursos naturais nessa área, por entender ser uma área estratégica para a segurança hídrica do estado. A compensação pode ser uma alternativa para conter a expansão da ação antrópica frente aos ecossistemas. O pagamento por serviços ambientais, por exemplo, deve estar presente nas bacias hidrográficas doadoras de água e a valoração dos serviços ecossistêmicos presentes nessas unidades podem ser a base para fundamentação do pagamento.

4 MODELO AJUSTADO DO CÁLCULO DE VALORAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS APLICADO ÀS CONDIÇÕES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

4.1 Introdução

A valoração de serviços ecossistêmicos em termos monetários é uma forma de expressar, em uma linguagem global, os benefícios prestados pelos ecossistemas para o bem-estar social. A valoração se dá de diversos modos, apresentando uma variedade de métodos capazes de traduzir o valor dos ecossistemas ao bem-estar humano. Oliveira e Medeiros (2023) relatam em sua pesquisa que apesar da relevância dos serviços ecossistêmicos a temática é incipiente em nível local. Para os autores os estudos relacionados aos serviços ecossistêmicos são de grande relevância no âmbito da ciência geográfica, pois envolvem as relações entre a sociedade e a natureza.

Costanza *et al.* (1997) apresentaram um apurado de diversos trabalhos no globo e propuseram coeficientes globais de valoração e estimaram o valor de 17 serviços ecossistêmicos em diferentes biomas do globo. Esse trabalho abriu discussões e colocou os serviços ecossistêmicos em evidência, principalmente em 2005 quando foi lançado o relatório de avaliação ecossistêmica do milênio, cujo objetivo trouxe à tona o debate relativo às relações ser humano e natureza.

Os estudos sobre serviços ecossistêmicos avançaram e em nível global destacam-se os trabalhos embasados por Costanza e seus colaboradores, assim como os trabalhos de Groot e seus colaboradores. Em 2014 Costanza e colaboradores apresentaram novo trabalho atualizando alguns valores dos coeficientes globais inicialmente propostos em 1997, os autores modificam os valores com base nos trabalhos de Groot *et al.* (2012) e Banco de Dados de Avaliação de Serviços Ecossistêmicos.

Este estudo pretende contribuir para o debate em questão ao estimar o valor dos serviços ecossistêmicos em uma região tipicamente semiárida no estado do Ceará, Nordeste brasileiro. Com o intuito de dar mais transparência e conhecimento de causa no processo de valoração dos serviços ecossistêmicos, especialistas em recursos naturais foram convidados a participar desse trabalho utilizando-se do Método Delphi para aplicação de questionário e Análise Hierárquica de Processos (AHP) para analisar e sintetizar a participação dos entrevistados.

O uso da AHP em estudos sobre serviços ecossistêmicos é observado em estudos recentes (Khomalli *et al.*, 2020; Ji *et al.*, 2024; Kundu *et al.*, 2024). Jorge-García e Estruch-

Guitart (2022) adotaram a AHP para valorar os serviços ecossistêmicos do Parque Natural da Albufera, uma região úmida localizada em Valência (Espanha) e D'Alpaos e D'Alpaos (2021) na valoração de serviços ecossistêmicos em um lago de Veneza (Itália). O presente capítulo visou evoluir na pesquisa através da aplicação das metodologias método Delphi e AHP para investigar novos coeficientes de valoração de serviços ecossistêmicos ajustando-os para as condições semiáridas, e, dessa forma chegar a um valor para os serviços ecossistêmicos com maior clareza e fidedignidade com a realidade local.

Nesse contexto, pretendeu-se avançar e propor uma metodologia adaptada e participativa para estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos, de tal modo que seja possível preencher as lacunas deixadas pelo método de valoração com coeficientes globais. Utilizamos, para tanto, metodologias consolidadas que nos permitiram ir além de simplesmente aceitar os coeficientes globais. Entende-se que com o método aqui proposto será possível sair de um valor global para um valor local ou regional com maior aproximação da realidade com que se percebe os serviços ecossistêmicos, além disso, pode ser replicada em diferentes escalas em todo o globo.

Assim, objetivou-se ajustar e aplicar a metodologia de valoração de serviços ecossistêmicos, criando coeficientes ajustados através da participação de especialistas, para as bacias hidrográficas do Alto e Médio Jaguaribe e do Salgado no Ceará, Nordeste, Brasil. E, por fim, realizou-se comparativo entre os valores dos serviços ecossistêmicos estimados com os coeficientes globais e com o coeficiente regional ajustado.

4.2 Material e Métodos

O presente trabalho se desenvolveu em uma região tipicamente semiárida, englobando três bacias hidrográficas do território cearense. Bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Salgado. Com área de aproximadamente 32% do território cearense, essa região foi objeto de estudo de valoração dos serviços ecossistêmicos na seção I desse trabalho.

Para realizar a valoração dos serviços ecossistêmicos nessa área, utilizou-se de imagens de uso e ocupação da terra, disponibilizadas pela plataforma MapBiomas (Souza *et al.*, 2020). E através do método de transferência de benefícios foi possível realizar as estimativas.

Para estimar o valor dos serviços ecossistêmicos, utilizou-se inicialmente os coeficientes globais para tal estimativa (Seção I) e, apesar de nos dar uma boa noção dos valores agregados aos serviços prestados pelos ecossistemas, percebemos a fragilidade para calcular determinadas coberturas, principalmente em uma região com alta variabilidade climática. Com a intenção de reduzir essa fragilidade metodológica, utilizamos o método Delphi seguido de uma das ferramentas mais empregadas nos processos de tomada de decisão multicritério: a Análise Hierárquica de Processos (AHP) (PANT *et al.*, 2022).

O método Delphi é comumente utilizado para resumir opiniões de especialistas individuais sobre pesos/importância de parâmetros (SUTADIAN *et al.*, 2017). Este trabalho teve o propósito de levantar a opinião de especialistas sobre os valores estimados para os serviços ecossistêmicos na região semiárida com base nos coeficientes globais propostos por Costanza e seus colaboradores.

Foi solicitado que os participantes da pesquisa atribuíssem valores aos serviços ecossistêmicos existentes na área de estudo, tomando como base seu conhecimento sobre as características locais e os valores obtidos na estimativa de valoração para a região utilizando os coeficientes globais propostos por Costanza *et al.* (2014) conforme disposto na seção 1 deste trabalho.

Assim, a partir dos valores atribuídos pelos especialistas, utilizamos a Análise Hierárquica de Processos (AHP) para obtermos pesos que foram utilizados para ponderar os coeficientes de valoração dos serviços ecossistêmicos. O uso da AHP para identificar pesos de parâmetros componentes de métricas é um procedimento aceito em diferentes perspectivas e tem apresentado estimativas bem-sucedidas (Ren *et al.*, 2019; Chakraborty e Kumar, 2016; Li *et al.*, 2022; Mishra *et al.*, 2024).

Com isso, aplicou-se questionários a diversos especialistas em que foram indagados sobre o valor global dos serviços ecossistêmicos estimados para as condições do estudo e qual

seria o valor mais adequado, assim, a partir desse questionário obteve-se o valor do coeficiente ajustado conforme análise de especialistas. Em conjunto foi pedido aos especialistas que atribuísem pesos para a contribuição de 17 serviços ecossistêmicos conforme proposto por Costanza *et al.* (1997) em diferentes coberturas do solo nas bacias hidrográficas cearenses do Alto e Médio Jaguaribe e bacia hidrográfica do Salgado, a saber :

- Formação Florestal (cobertura vegetal de porte elevado, a exemplo da chapada do Araripe);
- Caatinga Densa (vegetação típica de Caatinga de porte e densidade de cobertura mais elevados);
- Caatinga Esparsa (vegetação espontânea típica de caatinga com porte reduzido e com baixa densidade de cobertura);
- Gramínea/Pastagens (campos de pastos e ou com cobertura predominantemente com gramíneas naturais ou com manejo não irrigado);
- Área Cultivada (cultivo de culturas perenes, ciclos longos, manejadas com uso de irrigação);
- Solos Expostos (áreas com predominância de solo exposto na maior parte do ano, seja campos naturais ou antrópicos);
- Corpos Hídricos (rios, lagos, represas, barragens e açudes);
- Centros Urbanos (conglomerados de edificações, predominância da área ocupada por pavimentação e construções civis).

4.2.1 Método Delphi

O método Delphi consiste nas aplicações de questionários a um grupo de especialistas ao longo de várias rodadas cujo objetivo é obter um consenso sobre o assunto estudado (Kayo e Securato, 1997; Dalkey e Helmer, 1963; Scolozzi *et al.*, 2012; Navrud e Strand, 2018; Mukherjee *et al.*, 2014). Assim, temos as seguintes etapas metodológicas:

- Problema a ser investigado;
- Levantamento dos especialistas no assunto do problema investigado;
- Elaboração de questionários;
- Aplicação dos questionários aos especialistas;
- Análise das respostas obtidas;

- Validação do consenso entre as respostas: se obtiver o consenso desejado segue para apresentação dos resultados; se não houver consenso, aplica-se uma nova rodada de questionários.

Utilizou-se a metodologia proposta por Mostert-Phipps *et al.* (2013) para avaliar o nível de consenso das respostas dos participantes. O método consiste em calcular notas modais das respostas dos participantes e classificá-las quanto a concordância entre eles. Definiu-se que o nível de consenso para a nossa pesquisa seria o nível Alto que consiste em: 70% das classificações estão em uma única categoria de avaliação; ou, 80% estão em duas classes de avaliação adjacentes (Tabela 8).

Tabela 8 Classificação para avaliar o nível de consenso das respostas dos participantes

Nível de consenso	Classificação
Alto	70% das classificações estão em uma única categoria de avaliação; ou, 80% estão em duas classes de avaliação adjacentes.
Médio	60% das classificações estão em uma categoria de avaliação; ou, 70% estão em duas categorias de avaliação adjacentes.
Baixo	50% das classificações estão em uma única categoria de avaliação; ou, 60% em duas categorias de avaliação adjacentes.
Nenhum	Menos de 60% das classificações estão em duas categorias de avaliação adjacentes.

Fonte: Mostert-Phipps *et al.* (2013).

Dessa forma, elaborou-se um questionário (Apêndice 1) em que se objetivou formular um novo coeficiente de valoração de serviços ecossistêmicos, a partir de coeficientes globais sugeridos por Costanza *et al.* (2014). Os coeficientes globais foram apresentados aos especialistas (Apêndice I) e então pediu-se que os participantes propusessem novos valores, esse foi o questionário quantitativo. Os valores foram apresentados aos especialistas em reais brasileiros após conversão da moeda realizadas através do site do Banco Central do Brasil (BCB, 2023) em que se converteu dólares de 2007 para reais 2023 conforme ajuste pelo Índice de Preço ao Consumidor (IPC) também de 2023.

Os especialistas convidados a participarem da pesquisa, que se deu de forma online, possuem no mínimo graduação na área de ciências agrárias, com notório conhecimento dos recursos naturais definido por sua formação e atuação na área. Participaram da pesquisa,

graduados, especialistas, mestres e doutores com atuação na docência e em órgãos ou instituições com atuação no setor agrário e de meio ambiente conforme distribuição percentual disposta na figura 3. Inicialmente, foram convidados 55 especialistas, destes 18 participaram da primeira rodada e ao final da segunda rodada apenas 16 participantes contribuíram com o trabalho. Ressalta-se que as contribuições dos especialistas dão maior embasamento, por conhecimento de causa, aos resultados aqui propostos.

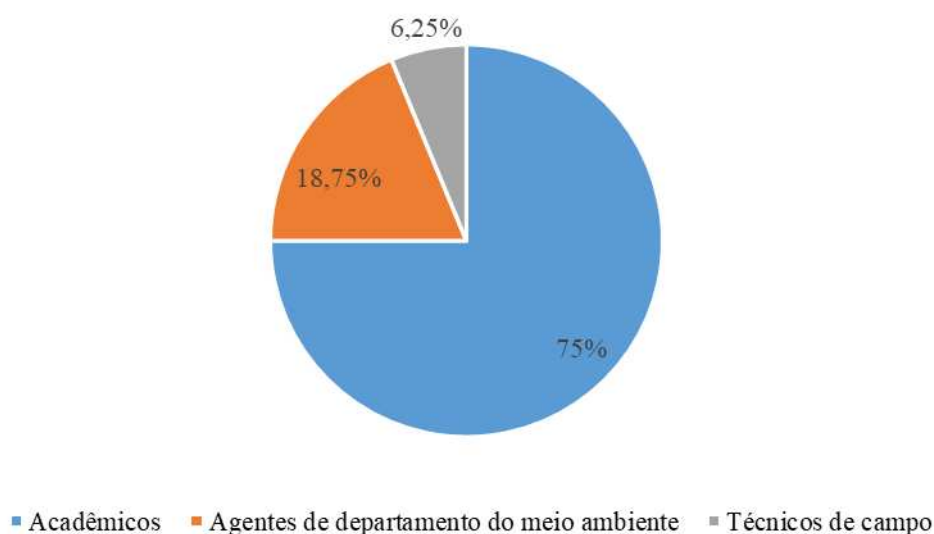


Figura 3 - Distribuição percentual do perfil dos especialistas que participaram da pesquisa respondendo os questionários conforme o método Delphi

Os entrevistados puderam concordar ou sugerir novos valores para cada serviço ecossistêmico a partir da seguinte consideração: o valor do coeficiente global de valoração proposto por Costanza foi assumido como valor padrão, assim, propomos que a média dos coeficiente globais mais duas vezes o desvio padrão como o valor máximo em que um serviço teria em uma determinada cobertura de solo e entre zero e esse valor máximo o entrevistado poderia sugerir um novo valor como disposto no apêndice 1 quadro 2.

Dessa forma, a estimativa de novos coeficientes para o cálculo de valoração torna-se mais dinâmico e acredita-se ser mais eficiente, já que como resultado do coeficiente foi considerada a média obtida entre as respostas dos participantes da pesquisa para cada serviço ecossistêmico nas diferentes categorias de uso do solo.

O valor dos serviços ecossistêmicos vai além do valor monetário, sob essa égide, aplicamos uma escala qualitativa (*likert*) da importância de cada serviço nas diferentes coberturas presentes na área estudada. Aos mesmos especialistas que participaram da pesquisa

quantitativa, foi-lhes indagado através de questionário qualitativo acerca das contribuições dos serviços ecossistêmicos nas diferentes coberturas de solo estudadas no capítulo I, Apêndice I. Essa análise permitiu gerar pesos, através na Análise Hierárquica de Processos – AHP, esses pesos foram posteriormente utilizados para adaptar a metodologia de valoração de serviços ecossistêmicos às condições do presente estudo.

4.2.2 Análise Hierárquica de Processos (AHP)

A incorporação dos pesos na valoração dos serviços ecossistêmicos requereu a aplicação da AHP, a qual seguiu as etapas descritas por Sutadian *et al.* (2017) e Shen *et al.* (2015). Sendo: (1) estruturação da hierarquia, (2) construção da matriz de comparação pareada, (3) cálculo dos pesos, (4) avaliação de consistência.

(1) Estruturação da hierarquia

A hierarquia é definida através da definição de uma meta específica no nível mais alto. Isto é seguido por níveis mais baixos usados para atingir esse objetivo (SUTADIAN *et al.*, 2017). Assim, estabelecer os pesos para estimar o valor dos serviços ecossistêmicos é o objetivo de nível mais alto e em níveis inferiores temos as classes de cobertura do solo e os diferentes serviços ecossistêmicos presentes em cada classe a serem considerados.

(2) Construção da matriz de comparação pareada

A partir das avaliações obtidas durante a aplicação do método Delphi foi construída uma matriz de diferença entre as notas de cada par de eixo, obtendo uma matriz quadrática de comparação aos pares, em que se calcula a diferença entre os escores atribuídos a cada par de eixo, indicador e componente. Feito isso, substitui-se os valores resultantes da matriz de diferença pelos valores propostos por Saaty (2008) conforme disposto na tabela 8 e com essa transformação é construído a matriz de comparação usando a escala Saaty.

Tabela 9 – Escala Saaty para comparação e valores para substituição na matriz

Escala Absoluta	Definição	Valor na Matriz	Substituir por	Valor na Matriz	Substituir por
1	Igual Importância	0	1	-1	0,3333
3	Importância moderada	1	3	-2	0,2000
5	Importância forte	2	5	-3	0,1429
7	Importância muito forte	3	7	-4	0,1111
9	Importância extrema	4	9		
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre valores adjacentes				

Fonte: Saaty (1990)

(3) Cálculo dos pesos

Normalmente os pesos são obtidos empregando-se álgebra matricial para determinar o autovetor principal $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ da matriz A , onde $w_i > 0$ e $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. O autovetor principal para cada matriz, quando normalizada, torna-se o vetor de prioridades para essa matriz (Saaty, 1990). De acordo com os autores, matematicamente o autovetor principal de A , como vetor de prioridade w pode ser estimado conforme a seguinte equação:

$$Aw = \lambda_{\text{Max}} w \quad (4)$$

Em que λ_{Max} é o maior autovalor da matriz A e o autovetor correspondente w .

Os valores substituídos representam na matriz os elementos (a_{ij}) de uma matriz de comparação do tipo par a par qualquer. O passo seguinte, é calcular a matriz normalizada que consiste em dividir cada elemento pelo total da sua coluna na matriz de comparação. Em seguida, calcula-se a média na linha dessa matriz normalizada para se obter os vetores das prioridades médias locais. Esses vetores são os pesos que foram posteriormente usados para ponderar o cálculo da estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos.

Posteriormente, determinou-se o cálculo para totalização das entradas, em que cada célula da matriz Saaty foi multiplicada pelo valor do respectivo indicador no vetor das prioridades médias locais (pesos) construindo-se uma nova matriz. A soma das linhas representa os valores das entradas iniciais. Em seguida, divide-se esses valores obtidos pelos pesos, a soma desse resultado será utilizada para determinar o λ_{max} obtido através da divisão entre a soma do passo anterior pelo número de elementos da ordem da matriz.

(4) Avaliação de consistência.

Consiste em uma medida para avaliar se o julgamento relativo dado pelos entrevistados é consistente ou não. Essa etapa fornece uma consistência lógica do julgamento das partes interessadas, uma vez que um julgamento consistente é difícil de se obter na prática Sutadian *et al.* (2017).

Em seguida, calcula-se o índice de consistência (μ) dado pela seguinte equação;

$$\mu = \frac{\lambda_{\text{max}} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{[(\frac{b_1}{p_1}) + (\frac{b_2}{p_2}) + \dots + (\frac{b_n}{p_n})]}{n} \quad (6)$$

Em que n é a ordem da matriz e λ_{max} é o maior autovalor da mesma matriz.

A consistência é um indicador necessário, mas não suficiente para demonstrar o ajuste entre valores julgados e a realidade. Assim, a razão de consistência deve assumir valores muito baixo, da ordem de 10%, $RC \leq 0,1$. Essa razão é dada pela seguinte equação:

$$RC = \frac{\mu}{IA} \quad (7)$$

Em que IA é o Índice de inconsistência aleatória definido por Saaty, em que depende da ordem da matriz de comparação, aplicado para dimensões de até 15 ($n = 15$), cujos valores estão dispostos na tabela 3. Cabe ressaltar que, ao passo que, tem-se uma matriz de ordem 17, representada pelos 17 serviços ecossistêmicos listados por Costanza *et al.* (2014), utilizamos o maior valor disponível para o IA.

Tabela 10 – Índice de Inconsistência Aleatória (IA)

Ordem da matriz	IA
2	0
3	0,416
4	0,851
5	1,115
6	1,15
7	1,345
8	1,334
9	1,315
10	1,42
11	1,395
12	1,482
13	1,491
14	1,47
15	1,466

Fonte: Saaty (1977)

Dessa forma, espera-se que a razão de consistência fique dentro do aceitável ($RC \leq 0,1$), sempre que essa condição não for alcançada deve-se refazer a análise aplicando as correções necessárias, para que o indicador fique dentro do limite aceitável.

Assim disposto, a tabela a seguir (Tabela 10) mostra o resumo da análise hierárquica de processos para as diferentes coberturas do solo estudadas.

Tabela 10 – Resumo da Análise Hierárquica de Processos para as diferentes coberturas do solo com base no resultado do método Delphi.

Classes de cobertura do solo	Resumo da Análise Hierárquica de Processos			
	λ_{\max}	μ	IA	RC
Formação Florestal	17,00	0,00	1,47	0,00
Caatinga Densa	16,90	0,00	1,47	0,00
Caatinga Esparsa	17,20	0,01	1,47	0,01
Gramíneas e Pastagens	17,47	0,03	1,47	0,02
Áreas Cultivadas	17,30	0,02	1,47	0,01
Solos Expostos	17,00	0,00	1,47	0,00
Corpos Hídricos	17,88	0,06	1,47	0,04
Centros Urbanos	17,27	0,02	1,47	0,01

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.3 Estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos ajustado - VSE_{aj}

Calculamos o Coeficiente Regional (CR_{vse}) de valoração dos serviços ecossistêmicos através dos coeficientes médios de valoração ($C_{\text{médio}}$) e dos pesos (P) que foram obtidos através da participação dos especialistas. Assim, ponderou-se os coeficientes médios tendo como resultado um coeficiente de valoração ajustado para as condições do estudo e ponderado com base na análise qualitativa de especialista conforme equação 8.

$$CR_{vse} = (C_{\text{médio}} * P) \quad (8)$$

Em que $C_{\text{médio}}$ é o coeficiente médio de valoração de serviços ecossistêmicos ajustado conforme sugestão de especialistas e expresso em $US\$ ha^{-1} ano^{-1}$;

P corresponde aos pesos gerados a partir da AHP cujo dados foram obtidos através de questionário qualitativo.

Os valores totais dos serviços ecossistêmicos (VSE_{aj}) para os anos de 2011, 2015, 2017, 2019 e 2021 foram obtidos a partir da equação proposta por Kreuter *et al.* (2001) ajustado pelo Coeficiente Regional (CR_{vse}):

$$VSE_{aj} = \sum (A_k * CR_{vsek}) \quad (9)$$

Em que: VSE_{aj} é o valor total ajustado dos serviços ecossistêmicos (US\$), A_k é a área total de cada categoria de uso do solo k (ha), e CR_{vsek} é o Coeficiente Regional de valor dos serviços ecossistêmicos para categoria de uso k ($US\$ ha^{-1}.ano^{-1}$).

Após a estimativa do valor total dos serviços ecossistêmicos por classe de uso do solo, realizou-se a estimativa dos impactos das alterações nos usos nas 17 funções

ecossistêmicas individualmente para a área em estudo. As contribuições individuais das funções ecossistêmicas foram calculadas conforme descrito por Hu *et al.* (2008) ajustando o coeficiente de valoração CR_{vsefk} :

$$VSE_f = \sum (A_k * CR_{vsefk}) \quad (10)$$

Em que: VSE_f é o valor estimado do serviço ecossistêmico f (U\$), A_k é a área da categoria de uso da terra k (ha), e CR_{vsefk} é o coeficiente regional de valoração para o serviço ecossistêmico f na categoria k (U\$ ha⁻¹.ano⁻¹).

Calculou-se a variação percentual da área, a fim de verificar as mudanças da área (ha) em cada categoria de uso do solo e dos valores dos serviços ecossistêmicos (U\$) no intervalo estudado. Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade para verificar a dependência das estimativas de mudanças nos valores dos serviços ecossistêmicos nos coeficientes aplicados. Assim, foi aplicado um ajuste de $\pm 50\%$ para os valores encontrados para VSE_{aj} para as classes de uso do solo estudadas. A partir dessa análise, tornou-se possível verificar a robustez dos valores estimados para os serviços ecossistêmicos.

Para cada classe e ano estudado, foi calculado o coeficiente de sensibilidade (CS) conforme o método econômico padrão de elasticidade sugerido por Mansfield (1985); Stingler (1987) citado por Kreuter *et al.* (2001); Hu *et al.* (2008) e Ferreira *et al.* (2019) ajustando o coeficiente de valoração dos serviços ecossistêmicos para o Coeficiente Regional (CR), dessa forma as equações foram adaptadas e ficaram assim dispostas:

$$CS = \frac{(VSE_{ajj} - VSE_{aji}) / VSE_{aji}}{(CR_{vsejk} - CR_{vseji}) / CR_{vseji}} \quad (11)$$

Em que: CS é o coeficiente de sensibilidade, VSE_{aj} é o valor estimado para os serviços ecossistêmicos ajustado, CR_{vse} é o coeficiente regional de valoração dos serviços ecossistêmicos, i e j representam valores iniciais e ajustados, respectivamente, e k representa a classe de uso do solo. Todos os dados foram processados com auxílio do software Microsoft Excel®.

Quando $CS > 1$ o coeficiente é considerado elástico, ao passo que se a razão for menor que um, o valor estimado é inelástico. De acordo com Ferreira *et al.* (2019) quando o CS é elástico os valores não serão aceitos e, portanto, a análise não se mostra robusta, ao passo

que quando ocorre inelasticidade $CS < 1$ representa que os valores são aceitáveis e que a análise é robusta.

Em seguida realizou-se um comparativo entre as estimativas de valoração, comparando os coeficientes globais com os coeficientes regionais assim como a estimativa do valor total estimado para os serviços ecossistêmicos e para o valor individual dos serviços ecossistêmicos conforme agrupamento proposto por MEA (2005). Para realizar o comparativo, foi aplicado um ajuste de adimensionalização nos dados para facilitar a comparação entre os valores.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos a partir de coeficientes regionais de valoração

A participação de especialista para obtenção dos coeficientes de valoração de serviços ecossistêmicos foi o diferencial da presente proposta. A partir dessa colaboração obtivemos o coeficiente médio de valoração, dado pela média das respostas obtidas através dos questionários (Tabela 11).

Tabela 11 – Coeficientes médio de valoração dos serviços ecossistêmicos ajustados (CVaj em U\$ 2023 ha⁻¹ ano⁻¹) a partir do método Delphi para as condições do semiárido brasileiro

Serviços Ecossistêmicos	Categorias de Uso do Solo							
	Formação Florestal	Caatinga Densa	Caatinga Esparsa	Gramíneas e Pastagens	Áreas Cultivadas	Solos Expostos	Corpos Hídricos	Centros Urbanos
Regulação de gás	20,41	19,84	18,66	15,34	14,35	8,32	15,50	7,67
Regulação climática	32.711,69	3.082,23	2.680,48	3.077,92	2.697,61	2.162,36	2.590,48	1.236,48
Regulação de distúrbios	100,25	95,72	73,09	63,17	60,89	38,52	79,36	47,78
Regulação de água	7.070,11	7.080,72	5.833,96	4.206,76	3.426,49	3.061,52	7.570,91	3.196,79
Oferta de água	1.838,93	1.794,54	1.474,03	1.307,02	1.038,40	897,77	1.850,07	972,17
Controle da erosão	473,62	471,01	435,31	376,38	272,72	220,20	366,62	190,39
Formação do solo	540,95	533,55	481,15	356,88	310,08	199,27	274,66	168,31
Ciclagem de nutrientes	73,44	70,01	66,09	50,09	40,89	24,14	48,43	17,21
Tratamento de resíduos	831,52	702,23	656,05	525,03	611,35	360,28	752,19	714,28
Polinização	56,51	56,51	54,90	45,91	76,21	17,91	27,98	15,27
Controle biológico	169,31	164,86	136,25	95,26	97,69	44,42	80,85	63,28
Habitat / refúgio	1.417,98	1.374,81	1.178,70	863,69	730,24	287,26	981,44	284,78
Produção de alimentos	2.210,39	2.186,33	3.734,54	1.914,54	2.481,82	944,32	2.718,50	1.072,74
Matérias primas	296,20	285,90	233,04	208,56	175,55	91,66	161,75	81,23
Recursos genéticos	2.636,87	2.323,16	3.055,19	1.397,02	1.407,91	685,79	1.620,77	1.013,49
Recreação	6.094,35	5.742,95	4.278,62	2.370,24	2.618,88	1.747,84	6.149,75	4.058,40
Serviços Culturais	175,94	1.446,80	147,36	112,21	108,77	80,41	162,32	144,85
Total	56.718,47	27.431,17	24.537,42	16.986,02	16.169,85	10.871,99	25.451,58	13.285,12

Fonte: Elaborada pelo autor. Conversão de moeda através do site do Banco Central do Brasil. Os valores foram ajustados conforme IPC para janeiro de 2023.

Através da participação dos especialistas também foi possível definir pesos (Tabela 12) que foram utilizados para ponderar os coeficientes médios de valoração (Tabela 11) fazendo com que os coeficientes regionais (Tabela 13) tenham consigo um olhar crítico dos especialistas para além do valor monetário, pois está sendo ponderado o valor monetário com a análise qualitativa realizada através da aplicação dos questionários (Apêndice I).

Tabela 122 – Pesos (P) obtidos a partir da Análise Hierárquica de Processos a serem utilizados na equação de estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos ajustado.

Serviço Ecossistêmico	Formação Florestal	Caatinga Densa	Caatinga Esparsa	Gramíneas e Pastagens	Áreas Cultivadas	Solos Expostos	Corpos Hídricos	Centros Urbanos
Regulação de gás	0,0588	0,0435	0,0555	0,0234	0,1064	0,0617	0,0121	0,0729
Regulação climática	0,0588	0,1304	0,0555	0,0539	0,0410	0,0617	0,0121	0,0729
Regulação de distúrbios	0,0588	0,0435	0,1298	0,0539	0,0410	0,0617	0,0454	0,0729
Regulação de água	0,0588	0,0435	0,1298	0,0539	0,1064	0,0617	0,0121	0,0729
Abastecimento de água	0,0588	0,0435	0,0555	0,0539	0,0410	0,0617	0,0121	0,0729
Controle de erosão	0,0588	0,0435	0,0555	0,0234	0,1064	0,0617	0,0121	0,0729
Formação de solo	0,0588	0,0435	0,0555	0,0539	0,0410	0,0617	0,0777	0,0729
Ciclagem de nutrientes	0,0588	0,0435	0,0213	0,0539	0,0410	0,0617	0,1285	0,0729
Tratamento de resíduos	0,0588	0,1304	0,1298	0,2185	0,0410	0,0617	0,0777	0,0062
Polinização	0,0588	0,0435	0,0213	0,0118	0,0112	0,0617	0,2029	0,0729
Controle biológico	0,0588	0,0435	0,0213	0,0525	0,1064	0,0617	0,0454	0,0302
Refúgio	0,0588	0,0435	0,0213	0,1232	0,1064	0,0617	0,0777	0,0729
Produção de alimentos	0,0588	0,0435	0,1298	0,0118	0,0112	0,0617	0,0121	0,0729
Matérias-primas	0,0588	0,0435	0,0213	0,0118	0,0112	0,0617	0,2029	0,0729
Recursos genéticos	0,0588	0,0435	0,0213	0,0234	0,1064	0,0617	0,0454	0,0729
Recreação	0,0588	0,1304	0,0542	0,1232	0,0410	0,0617	0,0121	0,0062
Culturais	0,0588	0,0435	0,0213	0,0539	0,0410	0,0123	0,0121	0,0097
Total	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 13 - Coeficientes Regionais (U\$ 2023 ha⁻¹ ano⁻¹) de valoração dos serviços ecossistêmicos obtidos a partir do método Delphi e AHP para as condições do semiárido brasileiro

Serviços Ecossistêmicos	Categorias de Uso do Solo							
	Formação Florestal	Caatinga Densa	Caatinga Esparsa	Gramíneas e Pastagens	Áreas Cultivadas	Solos Expostos	Corpos Hídricos	Centros Urbanos
Regulação de gás	1,20	0,86	1,04	0,36	1,53	0,51	0,19	0,56
Regulação climática	1.924,22	402,03	148,76	165,76	110,62	133,48	31,22	90,15
Regulação de distúrbios	5,90	4,16	9,48	3,40	2,50	2,38	3,60	3,48
Regulação de água	415,89	307,86	757,08	226,55	364,62	188,98	91,23	233,06
Oferta de água	108,17	78,02	81,80	70,39	42,58	55,42	22,29	70,88
Controle da erosão	27,86	20,48	24,16	8,81	29,02	13,59	4,42	13,88
Formação do solo	31,82	23,20	26,70	19,22	12,72	12,30	21,34	12,27
Ciclagem de nutrientes	4,32	3,04	1,41	2,70	1,68	1,49	6,22	1,25
Tratamento de resíduos	48,91	91,60	85,14	114,72	25,07	22,24	58,45	4,43
Polinização	3,32	2,46	1,17	0,54	0,85	1,11	5,68	1,11
Controle biológico	9,96	7,17	2,91	5,00	10,40	2,74	3,67	1,91
Habitat / refúgio	83,41	59,77	25,14	106,37	77,71	17,73	76,27	20,76
Produção de alimentos	130,02	95,06	484,64	22,60	27,69	58,29	32,76	78,21
Matérias primas	17,42	12,43	4,97	2,46	1,96	5,66	32,82	5,92
Recursos genéticos	155,11	101,01	65,15	32,71	149,82	42,33	73,55	73,89
Recreação	358,49	749,09	231,73	291,92	107,39	107,89	74,11	25,02
Serviços Culturais	10,35	62,90	3,14	6,04	4,46	0,99	1,96	1,41
Total	3.336,38	2.021,14	1.954,41	1.079,57	970,60	667,14	539,78	638,19

Fonte: Elaborada pelo autor.

A tabela 13 dispõe dos coeficientes ajustados e ponderados que chamaremos de Coeficientes Regionais de valoração de serviços ecossistêmicos (CR_{VSE}). Esses valores foram utilizados para ajustar a valoração dos serviços ecossistêmicos às condições de semiaridez da área de estudo.

Com o intuito de aplicar as adaptações realizadas na metodologia de valoração dos serviços ecossistêmicos a partir dos coeficientes globais propostos por Costanza *et al.* (2014), este trabalho buscou trazer resultados a partir dos coeficientes regionalizados e adaptados para as condições da área estudada. Cabe ressaltar que as adaptações realizadas na metodologia possibilitam a estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos em qualquer parte do globo, bastando para tanto, seguir o procedimento metodológico apresentado no tópico anterior, além de reduzir as incertezas e subjetividades do método proposto pelos autores supracitados.

Tabela 14 – Estimativa de valoração dos serviços ecossistêmicos com base no ajuste do coeficiente de valoração regionalizado.

Classes	VSE _{total} ponderado (U\$ $\times 10^6$ ano ⁻¹)			Variação (U\$ $\times 10^6$ ano ⁻¹) e Porcentagem Relativa (%)					
	2011	2017	2021	2011 a 2017	(%)	2017 a 2021	(%)	2011 a 2021	(%)
Formação Florestal	345,70	353,29	354,47	7,59	2,20	1,18	0,33	8,77	2,54
Caatinga Densa	5.992,48	6.004,03	5.987,79	11,55	0,19	-16,24	-0,27	-4,69	-0,08
Caatinga Esparsa	169,78	183,97	182,06	14,19	8,36	-1,91	-1,04	12,28	7,23
Gramíneas e Pastagens	819,29	960,42	754,17	141,13	17,23	-206,25	-21,47	-65,12	-7,95
Áreas Cultivadas	47,63	75,98	79,79	28,35	59,52	3,81	5,01	32,16	67,52
Solos Expostos	478,83	403,55	522,69	-75,28	-15,72	119,14	29,52	43,86	9,16
Corpos Hídricos	46,88	10,52	17,27	-36,36	-77,56	6,75	64,16	-29,61	-63,16
Centros Urbanos	10,11	11,75	14,50	1,64	16,22	2,75	23,40	4,39	43,42
Total	7.910,70	8.003,51	7.912,74	92,81	1,17	-90,77	-1,13	2,04	0,03

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme disposto na tabela acima (Tabela 13) a soma dos serviços ecossistêmicos variou positivamente entre 2011 e 2017 (1,17%), indicando um ganho de valor dos serviços disponíveis na região. Essa variação se deve, principalmente ao aumento relativo as áreas cultivadas em que para o mesmo período apresentaram maior incremento percentual (59,52%). Ao passo que, os corpos hídricos foram os que apresentaram maior variação negativa (-77,56%) refletindo o cenário de seca vivido entre esses anos.

Entre os anos de 2017 e 2021 houve anos com chuvas regulares na região o que favoreceu a recuperação nos níveis dos corpos d'água e consequentemente houve ganho no

valor estimado dos serviços ecossistêmicos devido ao aumento da área ocupada por água. Oliveira *et al.* (2016) destacam que quanto maior a disponibilidade de água, melhor será o funcionamento dos serviços, ao passo que quando há redução na disponibilidade hídrica, ocorre uma pressão nos serviços prestados pela água o que compromete seu fornecimento. Com ganho de 64,16% no período, os corpos hídricos ainda ocupavam no ano de 2021 um cenário desfavorável em relação ao ano de 2011, como vemos ao observar a variação percentual em todo o período (2011 a 2021) com -63,16% da capacidade de ofertar serviços ecossistêmicos (Tabela 13).

Essa dinâmica dos níveis de água dos reservatórios cearenses e consequentemente no fornecimento dos serviços ecossistêmicos prestados pela água é característica do clima regional. Assim sendo, se justificou a transposição de águas como forma de amenizar os efeitos do déficit hídrico. Contudo, além da transposição de águas, torna-se necessário que medidas conservacionistas sejam aplicadas por parte dos gestores do estado, principalmente, na capital e região metropolitana. Carbone *et al.* (2020) destacaram que os tempos atuais demandam a busca por soluções inovadoras para melhorar a gestão da água, com destaque para metrópoles. Os autores citam o uso racional e método cíclico como formas possíveis de retardar a necessidade de captação em mananciais distantes com maior custo operacional.

Formação florestal e centros urbanos apresentaram comportamento crescente em sua capacidade de oferta de serviços ecossistêmicos conforme nossa estimativa. A formação florestal se mostrou mais estável, com baixa variação no período de 2011 a 2021 (2,54%) ao passo que a oferta de serviços ecossistêmicos para os centros urbanos variou em 43,42% no mesmo período, mostrando um crescimento mais expressivo.

Dentro de cada uma das classes de cobertura estudadas, encontram-se presentes diversas funções ecossistêmicas que compõem a estimativa do valor total por categoria apresentada na tabela 15. Essas funções ecossistêmicas estão listadas na tabela 15, que dispõe do valor estimado para cada uma das 17 funções estudadas além da porcentagem relativa aos intervalos apresentados.

Tabela 15 – Valoração das funções ecossistêmicas ajustadas para as condições do estudo

Serviços Ecossistêmicos	VSEf ponderado (U\$x10 ⁶ ano ⁻¹)			Porcentagem Relativa (%)		
	2011	2017	2021	2011 a 2017	2017 a 2021	2011 a 2021
Regulação de gás	3,65	3,69	3,72	1,10	0,81	1,92
Regulação climática	1.477,55	1.498,80	1.479,95	1,44	-1,26	0,16
Regulação de distúrbios	19,21	19,35	19,15	0,73	-1,03	-0,31
Regulação de água	1.405,23	1.427,84	1.418,97	1,61	-0,62	0,98
Oferta de água	360,08	364,51	361,08	1,23	-0,94	0,28
Controle da erosão	87,29	87,92	88,73	0,72	0,92	1,65
Formação do solo	104,04	104,60	103,31	0,54	-1,23	-0,70
Ciclagem de nutrientes	13,84	13,71	13,52	-0,94	-1,39	-2,31
Tratamento de resíduos	398,91	409,57	391,69	2,67	-4,37	-1,81
Polinização	9,85	9,47	9,63	-3,86	1,69	-2,23
Controle biológico	30,28	30,79	30,36	1,68	-1,40	0,26
Habitat / refúgio	301,60	311,61	295,36	3,32	-5,21	-2,07
Produção de alimentos	416,38	416,24	422,04	-0,03	1,39	1,36
Matérias primas	50,01	47,74	48,64	-4,54	1,89	-2,74
Recursos genéticos	408,67	409,57	411,95	0,22	0,58	0,80
Recreação	2.629,43	2.661,28	2.620,25	1,21	-1,54	-0,35
Serviços Culturais	194,72	195,83	194,40	0,57	-0,73	-0,16
Total	7.910,74	8.012,52	7.912,75	1,29	-1,25	0,03

Fonte: Elaborada pelo autor.

De modo geral, as variações no valor estimado para as funções ecossistêmicas foram baixas, entre os anos de 2011 e 2017 essa variação foi positiva com 1,29%. Entre 2017 e 2021 a variação foi negativa, com -1,25% e para os anos de 2011 e 2021 ocorreu uma variação da ordem de 0,03%. Tal comportamento indica uma capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos.

Os serviços ecossistêmicos recreação, regulação climática e regulação de água foram aqueles que ofereceram maior oferta de serviços e por consequência, maior o valor estimado. Essas funções correspondem a: recreação – oferta de atividades recreativas; regulação climática – refere-se à regulação da temperatura global, precipitação e outros processos climáticos; regulação de água – regulação dos fluxos hidrológicos.

Oliveira e Medeiros (2023) estudaram os serviços ecossistêmicos em um parque municipal em Mossoró – RN e seus estudos demonstraram a importância dos serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano. Os autores destacam os serviços abióticos de provisão que têm importância para a manutenção do lençol freático e promovem equilíbrio térmico.

Destaque especial deve ser dado para essas áreas de conservação, tanto pela oferta de serviços ecossistêmicos diversos, quanto pela sua contribuição com o equilíbrio entre os ecossistemas terrestres. Assim, é desejável que essas regiões doadoras e protegidas por lei, permaneçam preservadas. Clemente e Moreira (2023) destacaram que uma medida equilibrada

para a relação sociedade e natureza seria o pagamento por serviços ambientais. De acordo com os autores, isso poderia estabelecer um cenário de conservação almejando uma cobertura vegetal preservada, oferta hídrica, aumento dos estoques de carbono, além de fornecer renda para os beneficiários. Rodrigues *et al.* (2024) concluíram que tanto o pagamento por serviços ambientais como o mercado de crédito de carbono representam uma abordagem promissora na promoção da conservação ambiental e na contenção das mudanças climáticas.

Já as funções com menor expressão para a valoração dos serviços ecossistêmicos, foram regulação de gás – regulação da composição química da atmosfera; polinização – movimento dos gametas florais; ciclagem de nutrientes – armazenamento, ciclagem interna, processamento e aquisição de nutrientes; regulação de distúrbios - capacitância, amortecimento e integridade da resposta do ecossistema às flutuações ambientais. Nota-se que essas funções estão presentes, porém com menor expressividade. Isso pode ser justificado pelas condições climáticas e pelo próprio bioma que com seus solos rasos, pedregosos, vegetação com porte mais baixo e presença de espécies adaptadas com mecanismos de defesa para longos períodos sem chuva, além do déficit hídrico que fazem dessa região única no globo.

Em 2005 a avaliação ecossistêmica do milênio, MEA (2005) apresentou um relatório através do qual, agrupou os serviços ecossistêmicos apresentados por Costanza *et al.* (1997) em quatro categorias (Tabela 15). Essa categorização permite um olhar mais incisivo acerca da valoração ecossistêmica, permite resumir e nos dá um panorama da oferta e disponibilidade dos serviços em uma dada região.

Tabela 16 – Estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos agrupados conforme sistema de classificação de serviços ecossistêmicos proposta da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005)

Categoria	VSE (U\$ $\times 10^6$ ano ⁻¹) MEA (2005)			Porcentagem Relativa (%)		
	2011	2017	2021	2011-2017	2017-2021	2011-2021
Serviços de Suporte	419,48	429,91	412,19	2,49	-4,12	-1,74
Serviços de Provisão	1.352,72	1.356,77	1.362,80	0,30	0,44	0,75
Serviços de Regulação	3.314,39	3.359,72	3.323,12	1,37	-1,09	0,26
Serviços Culturais	2.824,14	2.857,11	2.814,64	1,17	-1,49	-0,34
Total	7.910,73	8.003,51	7.912,75	1,17	-1,13	0,03

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme agrupamento proposto na tabela acima, os serviços de regulação oferecem maior valor estimado para os serviços ecossistêmicos da região, seguido de serviços culturais, provisão e os serviços de suporte.

Essa visão dos serviços ecossistêmicos em grupo facilita o entendimento da importância desses serviços para o bem-estar social. Fornece base para formulação de políticas públicas que visem a conservação, valoração e incentivo a manutenção das áreas com maior potencial de gerarem serviços ecossistêmicos, além de permitir identificar regiões que necessitam de intervenção. De acordo com Santos Júnior *et al.* (2022) para estimular o desenvolvimento regional e sustentável no Semiárido é importante a apropriação de novas estratégias, contemplando os serviços ecossistêmicos, sobretudo com foco em conservação de água e outros recursos naturais.

Em termos percentuais, os serviços de regulação são os mais influentes na área de estudo, seguido pelos serviços culturais e de provisão e os serviços de suporte são aqueles com menor percentual médio entre os anos estudados como disposto na figura 3.

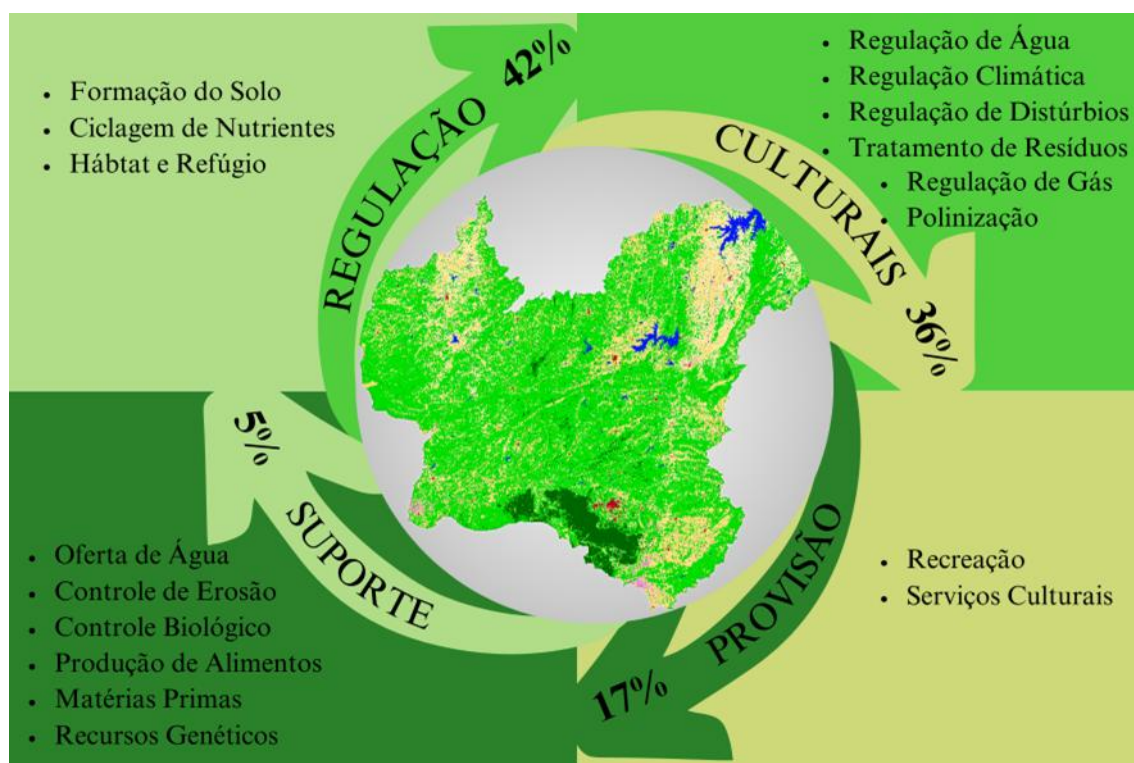


Figura 4 – Representação média (2011, 2017 e 2021) dos valores estimados para os serviços ecossistêmicos em termos percentuais

A fim de atestar a efetividade da análise aqui proposta, aplicou-se um ajuste de $\pm 50\%$ para os valores estimados dos serviços ecossistêmicos totais em cada uma das classes de cobertura do solo estudadas. Em seguida determinou-se a variação percentual e por fim calculou-se o coeficiente de sensibilidade (CS) que nos proporciona inferir sobre a robustez do método aplicado conforme disposto na Tabela 16.

Tabela 17 – Ajuste de $\pm 50\%$ no VSE total, porcentagem relativa da variação nos intervalos estudados (%) e coeficiente de sensibilidade (CS)

Coeficiente de Avaliação (VC)	VSEaj (U\$ $\times 10^6$ ano $^{-1}$)			Variação (%)			CS		
	2011	2017	2021	2011-2017	2017-2021	2011-2021	2011	2017	2021
Formação Florestal +50%	8.083,58	8.180,16	8.089,99	1,19	-1,10	0,08	0,043	0,043	0,044
Formação Florestal -50%	7.737,87	7.826,87	7.735,51	1,15	-1,17	-0,03	0,045	0,045	0,046
Caatinga Densa +50%	10.906,97	11.005,53	10.906,65	0,90	-0,90	0,00	0,549	0,546	0,549
Caatinga Densa -50%	4.914,48	5.001,50	4.918,85	1,77	-1,65	0,09	1,219	1,200	1,217
Caatinga Esparsa +50%	7.995,62	8.095,50	8.003,77	1,25	-1,13	0,10	0,021	0,023	0,023
Caatinga Esparsa -50%	7.825,84	7.911,53	7.821,73	1,09	-1,14	-0,05	0,022	0,023	0,023
Gramíneas e Pastagens +50%	8.320,38	8.483,73	8.289,83	1,96	-2,29	-0,37	0,098	0,113	0,091
Gramíneas e Pastagens -50%	7.501,08	7.523,31	7.535,66	0,30	0,16	0,46	0,109	0,128	0,100
Áreas Cultivadas +50%	7.934,54	8.041,50	7.952,65	1,35	-1,10	0,23	0,006	0,009	0,010
Áreas Cultivadas -50%	7.886,91	7.965,53	7.872,85	1,00	-1,16	-0,18	0,006	0,010	0,010
Solos Expostos +50%	8.150,14	8.205,29	8.174,10	0,68	-0,38	0,29	0,059	0,049	0,064
Solos Expostos -50%	7.671,31	7.801,74	7.651,40	1,70	-1,93	-0,26	0,062	0,052	0,068
Corpos Hídricos +50%	7.934,17	8.008,77	7.921,38	0,94	-1,09	-0,16	0,006	0,001	0,002
Corpos Hídricos -50%	7.887,29	7.998,25	7.904,12	1,41	-1,18	0,21	0,006	0,001	0,002
Centros Urbanos +50%	7.915,79	8.009,38	7.920,00	1,18	-1,12	0,05	0,001	0,001	0,002
Centros Urbanos -50%	7.905,67	7.997,64	7.905,50	1,16	-1,15	0,00	0,001	0,001	0,002

Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme preconizam Hu *et al.* (2008) quando o CS for menor que 1, significa que a estimativa é inelástica, ou seja, os valores são aceitáveis e a análise é robusta. Porém, quando o CS for maior que 1, representa elasticidade e, portanto, não se considera uma estimativa robusta.

Dito isso, observa-se que quando foi aplicado um ajuste de -50% para a classe de Caatinga Densa, o coeficiente de sensibilidade foi maior que 1, indicando, portanto, baixa precisão na aplicação desse ajuste. Para os demais casos, o CS ficou sempre inferior ao limite que atesta a robustez do método.

4.3.2 Análise comparativa das estimativas de valoração dos serviços ecossistêmicos

Para comparar as estimativas de valoração utilizando os diferentes coeficientes (global e regional) os dados foram adimensionalizados para tornar o comparativo mais notório devido a escala de valores em muitos casos ter ficado muito distintas. Assim, figura 5 dispõe do comparativo entre os coeficientes globais propostos por Costanza *et al.* (2014) e os coeficientes regionais aqui propostos para estimar o valor dos serviços ecossistêmicos em regiões semiáridas.

Figura 5 - Comparativo entre coeficientes de valoração de serviços ecossistêmicos Regionais e Globais

Conforme disposto na figura 5, os coeficientes globais de valoração propostos por Costanza *et al.* (2014) e adaptados para as coberturas da terra identificados na área de estudo, o serviço ecossistêmico de maior representatividade foi a recreação nos centros urbanos, seguido de regulação de água para os corpos hídricos, já quando se observa os coeficientes regionais, as maiores representatividades são regulação de clima para a formação florestal seguida de regulação de água na caatinga esparsa.

Um outro ponto a se considerar nessa análise comparativa é a classe de uso e ocupação da terra solos expostos. No trabalho de Costanza *et al.* (2014) não foram identificados coeficientes para o bioma deserto, utilizado por semelhança, como área de solo exposto nesse estudo. Assim, a partir da participação de especialistas na obtenção de coeficientes de valoração, foi possível suprir essa lacuna. Os especialistas propuseram valores que aqui sugerimos para regiões com predominância de solos expostos.

Acerca desse tipo de bioma, Chen e Costanza (2024) discutem os serviços ecossistêmicos em regiões desérticas a partir de uma revisão bibliográfica. Os autores apontam que entre as avaliações dos serviços ecossistêmicos nessas regiões estão a conservação de solo, quebra-ventos e fixação de areia, regulação de água, fixação de carbono, conservação da biodiversidade e o turismo. Mostrando assim que há serviços ecossistêmicos nessas regiões, mas que carecem de maiores estudos.

Assim, os coeficientes foram utilizados para estimar o valor total dos serviços ecossistêmicos em ambas as condições, utilizando coeficientes regionais e globais em diferentes anos e em uma mesma região.

Na figura 6 está disposta a análise comparativa do valor total dos serviços ecossistêmicos em ambos os momentos do estudo, demonstrando que a classe de uso e ocupação da terra, Caatinga Densa, é a mais representativa tanto quando se utilizou coeficientes globais, como quando se utilizou os coeficientes regionais. Assim como já discutido, os solos expostos aparecem somente quando o valor dos serviços ecossistêmicos foi estimado com os coeficientes regionais (Figura 6). Observa-se pouca variação para os valores totais.

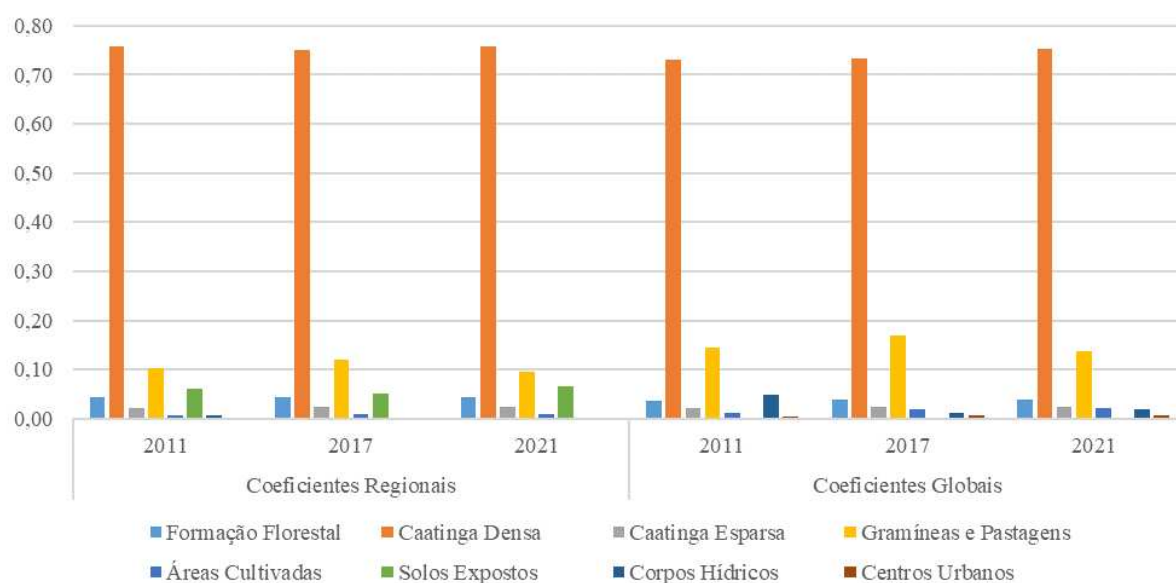


Figura 6 - Comparativo entre o valor total dos serviços ecossistêmicos obtido com o coeficiente regional x coeficiente global

Quando a análise é realizada para os diferentes serviços ecossistêmicos fica claro a magnitude do impacto do uso dos coeficientes regionais. Assim, agrupou-se os serviços ecossistêmicos conforme proposta da MEA (2005) e realizou-se o teste comparativo para identificar as variações conforme figura 7.

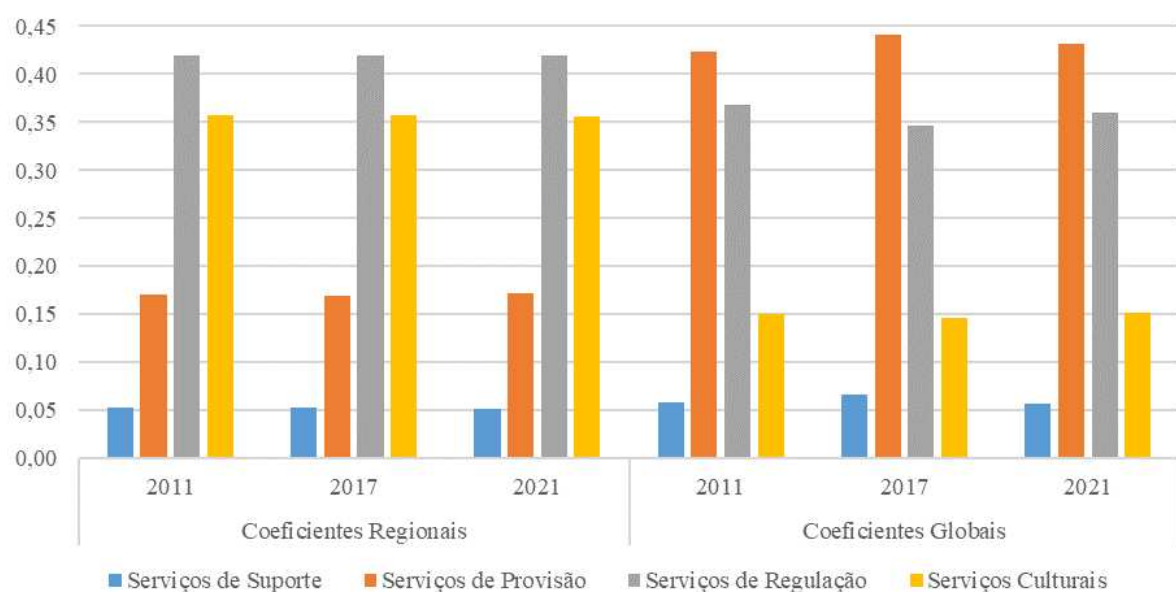


Figura 7 - Comparativo entre as categorias dos serviços ecossistêmicos quando estimados com coeficientes regionais x coeficientes globais

A valoração dos serviços ecossistêmicos a partir dos coeficientes regionais mudou a hierarquia de importância dos serviços ecossistêmicos. Conforme a figura 7, quando os coeficientes regionais foram utilizados, os serviços de regulação foram os mais representativos, seguido dos serviços culturais, ao passo que, quando foram utilizados os coeficientes globais os serviços de provisão foram os mais expressivos seguido dos serviços de regulação.

Acreditamos que essas alterações decorrem da visão dos especialistas que propuseram diferentes coeficientes conforme seus entendimentos e conhecimento de causa o que tornou a valoração mais humanizada e, portanto, defendemos ser mais fiel as reais contribuições dos serviços ecossistêmicos para o bem-estar da humanidade.

4.4 Conclusões

O ajuste ao método de valoração dos serviços ecossistêmicos possibilitou estimar coeficientes para as diferentes coberturas do solo, mostrando-se capaz de ser empregado em qualquer região ou bioma do globo, bastando, para tanto, a colaboração de especialistas com fim de ajustar os coeficientes globais para a realidade que se deseja traduzir através da valoração.

Os dados calculados a partir da adaptação metodológica aqui proposta, apresentam maior uniformidade, preenchendo as lacunas dos coeficientes globais que para algumas coberturas de solo inexistem.

Devido a necessidade de colaboração de especialistas, o método aqui proposto pode se limitar no tempo de obtenção das respostas. No entanto, agregar a percepção dos especialistas foi o que permitiu realizar o ajuste.

Há que se considerar novos estudos para melhor emprego desses coeficientes, devendo-se observar que pode haver funções ecossistêmicas que podem ter um alto impacto negativo quando se considera determinada classe de uso do solo.

Comparativamente, os coeficientes regionais alteram a ordem de importância, em termos monetários, dos serviços ecossistêmicos pois integram a percepção de especialistas com conhecimento da região estudada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área beneficiada pela transposição das águas do rio São Francisco e pelas obras do projeto Cinturão das Águas do Ceará, são áreas cujo cobertura do solo é predominantemente composto por vegetação arbórea: Caatinga Densa, Caatinga Esparsa e Formação Florestal, indicando uma alta contribuição dessas coberturas no equilíbrio dos ecossistemas.

Assim, é necessário que haja equilíbrio entre exploração e preservação dos recursos naturais, de tal modo que as atividades produtivas agrícolas sejam suficientes para movimentar a economia local, promovendo o desenvolvimento regional e, principalmente, uso racional dos recursos disponíveis, garantindo a subsistência dessa e das futuras gerações.

Entre as metodologias disponíveis o método de transferência de benefícios, utilizando coeficientes globais de valoração propostos por Costanza et al. (1997) se destaca para grandes áreas, pois, trata-se de uma abordagem para diferentes biomas do globo. Com isso, há a possibilidade de ajuste para às condições de uma dada região com certa confiabilidade.

Partindo do pressuposto de que os coeficientes globais servem de base para as estimativas do valor dos serviços ecossistêmicos, tem-se a possibilidade de adaptar esses coeficientes às condições de determinada região, assim, através de um método colaborativo, utilizando questionários e análise hierárquica de processos.

A partir dos coeficientes globais propostos por Costanza et al. (1997) propomos coeficientes regionais ajustados para as condições de Semiárido Brasileiro. Utilizando-se do método Delphi e da análise hierárquica de processos a partir da colaboração de especialistas.

A partir da participação dos especialistas foi possível identificar coeficientes para todos os serviços ecossistêmicos em todas as classes de uso e ocupação da terra estudados. Isso preencheu as lacunas do trabalho de Costanza et al. (2014).

Por fim, reitera-se que os valores aqui propostos devem ser entendidos como uma estimativa dos benefícios dos ecossistemas para o bem-estar da humanidade em termos monetários, não devendo para tanto ser considerado como *commodities*, tão logo, os programas de pagamento por serviços ambientais já existentes devem ser melhor difundidos para que com isso aumente a oferta dos serviços ecossistêmicos e então estará garantida a qualidade e quantidade de fornecimento desses serviços para a atual e futuras gerações.

REFERÊNCIAS

ANA. **Projeto de integração do Rio São Francisco**. [entre 2021 e 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/pisf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Valoração de serviços ecossistêmicos: por que e como avançar? **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 4, n. 1, p. 43-58, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v4n1.2013.9199>. Acesso em: 15 jan. 2021

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R.; FASIABEN, M. C. R.; GARCIA, J. R. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 25, p. 53-71, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v25i0.26056>. Acesso em: 20 jan. 2021.

ANDRADE, D. C. **Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos: uma contribuição da economia ecológica**. 2010. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP, 2010. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/480718>. Acesso em: 7 fev. 2021.

BCB. **Conversor de Moedas**. [entre 2023 e 2025]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/conversao>. Acesso em: 15 jun. 2023.

BARBOSA, A. H. S.; CUELLAR, M. D.Z.; MOREIRA, M. M.; ARRAES, K. A. PEREIRA SILVA, C. S. Seis anos de seca: Análise Espaço temporal dos Espelhos d'água dos Reservatórios do Ceará por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.04, p. 2220-2241. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244978>. Acesso em: 15 jun. 2023.

BARBOSA, J. E. L.; SEVERIANO, J. S.; CAVALCANTE, H.; LUCENA-SILVA, D.; MENDES, C. F.; BARBOSA, V. V. Impacts of inter-basin water transfer on the water quality of receiving reservoirs in a tropical semi-arid region. **Hydrobiologia**, v. 848, p. 651–673, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04471-z>. Acesso em: 15 jan. 2022.

BARCELOS, T. S.; FERREIRA, J. A. T.; CAMARGO, P. L. T.; MOTA, L. F. O capital natural, antropoceno, os serviços e valores ecossistêmicos aplicados ao parque estadual da serra dos Martírios/Andorinhas/PA. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 12, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/5132>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CARBONE, A. S.; COUTINHO, S. V.; FERNANDES, V.; PHILIPPI JUNIOR, A. Serviços Ecossistêmicos no Planejamento Integrado do Território Metropolitano: Oferta, Demanda e Pressões sobre a Provisão de água na Região Metropolitana de Curitiba. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, n. 3, p. 381-400, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200705>. Acesso em: 15 jan. 2024.

CASIMIRO FILHO, F.; COSTA, M. I. E. Valoração Econômica de Bens Ambientais: um Suporte à Formulação de Políticas Públicas para o Turismo em Áreas Naturais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009. Disponível em: <https://www.aba-agroecologia.org.br/revista/cad/article/view/3407>. Acesso em: 15 mar. 2021.

CHAKRABORTY, S.; KUMAR, R. N. Assessment of groundwater quality at a MSW landfill site using standard and AHP based water quality index: a case study from Ranchi, Jharkhand, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, p. 1-18, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5336-x>. Acesso em: 17 fev. 2024.

CLEMENTE, C. M. S.; MOREIRA, A. A. M. Serviços Ambientais Relativos aos Estoques de Carbono no Semiárido da Bahia. **Geografia**, v. 25, n. 55, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374024791_Servicos_ambientais_relativos_aos_estoques_de_carbono_no_semiarido_baiano. Acesso em: 15 jan. 2024.

COGERH. **Atlas**. [entre 2018 e 2024]. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/mapas/>. acesso em: 15 jan. 2023.

CORTEZ, H. S.; LIMA, G. P.; SAKAMOTO, M. S. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 22 n. 44 p. 83-118, 2017. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdi.mecon.gob.ar/bases/doc/parceriasest/44.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

COSTA, C. R.; COSTA, M. F; BARLETTA, M. Análise integrada da qualidade da água na bacia e no complexo estuarino do Rio Goiana, Pernambuco, Brasil. **Revista Costas**, v. 1, n. 1, p. 133-146, 2019. Disponível em: doi: 10.26359/costas.0107. Acesso em: 15 jan. 2022.

COSTANZA, R. Misconceptions about the valuation of ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 70, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101667>. Acesso em: 15 dez. 2024.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; SUTTON, P.; VAN DER PLOEG, S.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R.K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, n. 1, p. 152-158, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014000685>. Acesso em: 15 jun. 2021.

COSTANZA, R.; D'AGRE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. V. D. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/387253a0>. Acesso em: 15 jan. 2021.

CUNHA, F. L. S. J. **Valoração dos serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas**. 2008. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1608589>. Acesso em 17 jan. 2021.

CUNHA, J. U. C. P.; ANDRADE, D. C.; UEZU, A.; ALENCAR, C. M. M. Valoração econômica de serviços ecossistêmicos no território Bacia do Jacuípe (Bahia). **Revista Debate Econômico**, v. 2, n. 2, p. 5-30, 2014. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/revistadebateeconomico/article/view/197>. Acesso em: 15 jun. 2021.

D'ALPAOS, C.; D'ALPAOS, A. The valuation of ecosystem services in the venice lagoon: A multicriteria approach. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9485, 2021.

DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystem**. Washington, DC.: Island Press, 1997.

DALKEY, N.; HELMER, O. Na experimental application of the delphi method to the use of experts. **Management Science**, Maryland, v. 9, n. 3, p. 458-467. 1963.

ELOI, W. M; SALES, M. A. L; LIRA, J. V. de; SALES, M. L. M; NASCIMENTO, N. V. do; SOUZA, J. V. R. S. de. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da bacia do rio Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 3, p. 247 - 255, 2014.

FERREIRA, J. G. A transposição das águas do Rio São Francisco na resposta à seca do Nordeste brasileiro. Cronologia da transformação da ideia em obra. Campos Neutrais. **Revista Latino-Americana de Relações Internacionais**, v. 1, n. 2, p. 53-72, 2019. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/cn/article/view/9085>. Acesso em: 15 jun. 2021.

FERREIRA, L. M. R.; ESTEVES, L. S.; SOUZA, E. P.; SANTOS, C. A. C.; RÊGO, V. G. S. Mudanças espaço temporal da disponibilidade de serviços ecossistêmicos em uma microbacia hidrográfica do nordeste brasileiro. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 52, p. 155-174, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/57716>. Acesso em: 15 jun. 2021.

FIGGIS, P.; MACKEY, B.; FITZSIMONS, J.; IRVING, J.; CLARKE, P. Valuing nature: protected areas and ecosystem services. **Australian Committee for IUCN**, p. 140, 2015. Disponível em: <https://www.wavespartnership.org/en/knowledge-center/valuing-nature-protected-areas-and-ecosystem-services>. Acesso em: 15 jan. 2021.

FRANÇA, J. M. F. de; MORENO, J. C. Uma reflexão sobre os impactos causados pela seca no Rio Grande do Norte de 2012 a 2016. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 22, n. 44, p. 213-232, 2017.

GARSHASBI, F.; ASHOURNEJAD, Q.; GHALENOEI, N. A comparative assessment of remote sensing based land cover products for economic valuation of ecosystem services of Hycanian forests. **Advances in Space Research**, v. 75, p. 4552-4574, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.12.064>. Acesso em: 15 dez. 2024.

GASS, S. L. B.; SILVA, D. M.; ARRUDA, S. F. A leitura e representação da paisagem como instrumento de gestão municipal: uma proposta para Santo Cristo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Água y Territorio**, p. 43-55, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.17561/at.23.7266>. Acesso em: 15 jan. 2024.

GOHARI, A.; ESLAMIAN, S.; MIRCHI, A.; ABEDE-KOUPAEI, J.; BAVANI, A. M.; MADANI, K. Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can backfire. **Journal of Hydrology**, v. 491, p. 23 – 39, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.021>. Acesso em: 10 jan. 2021.

GOLDMAN, R.L.; TALLIS, H.; KAREIVA, P.; DAILY, G.C. Field evidence that ecosystem service projects support biodiversity and diversify options. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 27, p. 9445-9448, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0800208105>. Acesso em: 10 jan. 2021.

GROOT, R.; BRANDER, L.; PLOEG, S. VAN DER.; COSTANZA, R.; BERNARD, F.; BRAAT, L.; CHRITIE, M.; CROSSMAN, N.; GHERMANDI, A.; HEIN, L.; HUSSAIN, S.; KUMAR, P.; MCVITTIE, A.; PORTELA, R.; RODRIGUEZ, L. C.; BRINK, P. TEM.; BEUKERING, P. van. Global estimates of value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem Services**, v.1 p. 50–61, 2012. Acesso em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>. Disponível em: 15 jan. 2021.

GUO, C.; CHEN, Y.; GOZLAN, R. E.; LIU, H.; LU, Y.; QU, X.; XIA, W.; XIONG, F.; CIE, S.; WANG, L. Patterns of fish communities and water quality in impounded lakes of China's South-to-north water diversion project. **Science of the Total Environment**, v. 713, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136515>. Acesso em: 15 jun. 2021.

HEIN, L.; VAN KOPPEN, K.; GROOT, R. S.; VAN IERLAND, E. C. Spatial scale, stakeholders and the valuation of ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 57, p. 209-228, 2006.

HENKES, S. L. A política, o direito e o desenvolvimento: um estudo sobre a transposição do rio São Francisco. **Revista Direito GV**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 497-534, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-2432201421>. Acesso em: 15 jan. 2021.

HU, H.; LIU, W.; CAO, M. Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, Southwest China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 146, p. 146-156, 2008. Disponível em: doi: 10.1007/s10661-007-0067-7. Acesso em: 15 jan. 2021.

Jl, Z.; ZUO, S.; ZHANG, W.; SONG, F.; YUAN, T.; XU, B. Optimizing zoning for ecological management in alpine region by combining ecosystem service supply and demand with ecosystem resilience. **Journal of Environmental Management**, v. 365, p. 121508, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121508>. Acesso em: 15 dez. 2024.

JORGE-GARCÍA, D.; ESTRUCH-GUITART, V. Comparative analysis between AHP and ANP in prioritization of ecosystem services-A case study in a rice field area raised in the Guadalquivir marshes (Spain). **Ecological Informatics**, v. 70, p. 101739, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101739>. Acesso em: 15 jan. 2024.

KAYO, E. K.; SECURATO, J. R. Método Delphi: fundamentos, críticas e vieses. **Caderno de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 51-61, 1997.

KHOMALLI, Y.; ELYAAGOUBI, S.; MAANAN, M.; RAZINKOVA-BAZIUKAS, A.; RHINANE, H.; MAANAN, M. Using analytic hierarchy process to map and quantify the ecosystem Services in Oualidia Lagoon, Morocco. **Ecosystem Services of Wetlands**, v. 40, n. 6, p. 2123-2137, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13157-020-01386-2>. Acesso em: 15 jan. 2021.

KREUTER, U. P.; HARRIS, H. G.; MATLOCK, M. D.; LACEY, R. E. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. **Ecological Economics**, v. 39, p. 333–346, 2001 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article>. Acesso em: 15 jan. 2021.

KUNDU, S; RANA, N K.; MAHATO, S. Unravelling blue landscape fragmentation effects on ecosystem services in urban agglomerations. **Sustainable Cities and Society**, v. 102, p. 105192, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105192>. Acesso em: 15 dez. 2024.

LI, X.; WANG, C.; ZOU, S.; YUE, W.; LUO, S.; WANG, W.; QIN, Y.; SANG, J.; QIAN, J.; WANG, C. Evaluation on ecological resilience in water conservation area in the upper Yellow River based on AHP: A case study of the Gannan and Linxia region. **Journal of Desert Research**, v. 42, n. 6, p. 85-93, 2022. Disponível em: <http://www.desert.ac.cn/EN/article/advancedSearchResult.do>. Acesso em: 15 jun. 2024.

LIU, J.; LI, M.; WU, M.; LUAN, X.; WANG, W.; YU, Z. Influences of the South-to-north water diversion project and virtual water flows on regional water resources considering both water quality and quantity. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118920, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118920>. Acesso em: 15 jan. 2021.

LORETO, M. D. S.; SILVA, A. O.; VENÂNCIO, L. P; MORAES, C. A.; VALADÃO, G. F. Análise Multicritério para identificação de áreas prioritárias para irrigação, por meio de indicadores socioeconômicos, no contexto da Bacia Tocantins-Araguaia, Região Centro-Oeste do Brasil. **Interações**, Campo Grande, v. 23, n. 4, p. 927-943, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v23i4.3601>. Acesso em: 15 jan. 2023.

MANCAL, Ansu. **Capacidade Adaptativa das Comunidades nas Áreas Susceptíveis à desertificação no Estado do Ceará**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/15340>. Acesso em: 10 fev. 2021.

MANSFIELD, E. **Microeconomics: theory and applications**. 5. ed. New York: Norton and Company, 1985.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil-past, presente, and future. **Theoretical Applied Climatology**, v. 129, p. 1189–1200, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 15 jan. 2021.

MEDEIROS, E. R.; CARVALHO, T. S.; SOUZA, K. B. São Francisco River Transposition Project: Socio-economic impacts in Brazilian Northeast semi-arid region. **Regional Science Association International**. v. 101, p. 1441-1469, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pirs.12705>. Acesso em: 15 dez. 2024.

MIDR. **Site Oficial**. [entre 2020 e 2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco/o-projeto> Acesso em: 15 set. 2024.

MEA. **Ecosystem and Human Well-Being: a framework for assessment**. Washington, DC.: Island Press, 2003. Disponível em: https://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf Acesso em: 15 fev. 2021.

MEA. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington, DC.: Island Press, 2005. Disponível em:

<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.

MISHRA, A. P.; SINGH, S.; JANI, M.; SINGH, K. A.; PANDE, C. B.; VARADE, A. M. Assessment of water quality index using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS: a case study of a struggling Asan River. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 104, n. 5, p. 1159-1171, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2032015>. Acesso em: 15 dez. 2024.

MOSTERT-PHIPPS, N; POTTAS, D.; KORPELA, M. A South African perspective on factors that impact on the adoption and meaningful use of health information technologies. **South African Family Practice**, v. 55, n. 6, p. 545-554, 2013. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/20786204.2013.10874415>. Acesso em: 15 jun. 2023.

MUKHERJEE, N.; SUTHERLAND, W. J.; DICKS, L.; HUGÉ, J.; KOEDAM, N.; DAHDOUN-GUEBAS, F. Ecosystem service valuations of mangrove ecosystems to inform decision making and future valuation exercises. **PloS one**, v. 9, n. 9, p. 107706, 2014.

Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0107706&type=printable>. Acesso em: 15 jun. 2024.

NAVRUD, S.; STRAND, J. Valuing global ecosystem services: What do European experts say? Applying the Delphi method to contingent valuation of the Amazon rainforest.

Environmental and Resource Economics, v. 70, p. 249-269, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s10640-017-0119-6>. Acesso em: 15 jan. 2021.

NUNES, L. F. C. V.; MEDEIROS, P. H. A. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 17, p. 18, 2020. Disponível em:

<https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/409>. Acesso em: 15 jan. 2021.

OLIVEIRA, A. M.; COSTA, D. F. S.; ARAÚJO, W. S.; SILVA, E. E. S. Análise dos serviços ecossistêmicos em reservatórios da Região Nordeste Semiárida do Brasil. **Regne**, v. 2 n. especial, p. 1447-1458, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10611>.

Acesso em: 15 jan. 2021.

OLIVEIRA, J. S. P.; COSTA, M. M.; WILLE, M. F. C.; MARCHIORI, P. Z. Introdução ao método Delphi. **Mundo Material**, Curitiba, p. 16, 2008. Disponível em:

<https://core.ac.uk/download/pdf/11885081.pdf>. Acesso em: 115 jun. 2024.

OLIVEIRA, P. D.; MEDEIROS, W. D. A. Serviços ecossistêmicos de provisão promovidos pelo parque municipal Professor Maurício de Oliveira, Mossoró/RN. **Revista GeoInterações**, Assú, v. 7, p. 78-95, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59776/2526-3889.2023.4811>.

Acesso em: 15 jan. 2024.

OLIVEIRA, S. C; AMARAL, R. C; ALMEIDA, K. C. B; PINTO, C. C. Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de

Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 711-721, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017136784>. Acesso em: 15 jan. 2021.

PANT, A.; KUMAR, A.; RAM, M.; KLOCHKOV, Y.; SHARMA, H. K. Consistency indices in analytic hierarchy process: a review. **Mathematics**, v. 10, n. 8, p. 1206, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/math10081206>. Acesso em: 15 jan. 2023.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. Projeto de transposição de água do rio São Francisco. **Consulta legislativa**, Brasília, p. 11, 2005. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/bitstreams/5c8fd0e9-a292-4268-913e-fd0960e29d04/download>. Acesso em: 15 jan. 2021.

PORTELA., B, M, ALVES; G, B.; SILVA, S, R.; LAFAYETTE., K, P, V. Análise da vulnerabilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.03 p. 1247-1262, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1247-1262>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; FERREIRA, J. N.; CAMPANHA, M. M.; VARGAS, L. M. P.; MATTOS, L. M.; PEDREIRA, B. C. C. G.; MONTEIRO, J. M. G.; TURETTA, A. P. D.; MARTINS, A. L. S.; DONAGEMMA, G. K.; COUTINHO, H. L. C. Pesquisas em serviços ecossistêmicos e ambientais na paisagem rural do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. especial, p. 610-622, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1034700/pesquisas-em-servicos-ecossistemicos-e-ambientais-na-paisagem-rural-do-brasil>. Acesso em: 15 jan. 2021.

REN, C.; LI, Z.; ZHANG, H. Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 12-24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.348>. Acesso em: 15 jan. 2021.

RESENDE, F. M.; FERNANDES, G. W.; ANDRADE, D. C.; NÉDER, H. D. Economic valuation of the ecosystem services provided by a protected area in the Brazilian Cerrado: application of the contingent valuation method. **Brazilian Journal of Biology**, v. 77, n. 4, p. 762-773, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.21215>. 15 jan. 2022.

RIGOTTO, R. M.; FREITAS, B. M. C.; MAIA, R. C. C.; GADELHA, D.; VERÍSSIMO, A. G. P.; TEIXEIRA, M. M.; COSTA, D. S. Perímetros irrigados e direitos violados no Ceará e Rio Grande do Norte: “por que a água chega e a gente tem que sair?”. **Revista Pegada**, v. 17, n. 2, p. 122, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.33026/peg.v17i2.4684>. Acesso em: 15 jan. 2021.

RODRIGUES, D. R.; RIBEIRO, B. P. C.; LINHARES, N. R. Sinergia entre PSA e MCC: estratégias para conservação e mitigação climática. **Revista OWL**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 144-164, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10521051>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ROSA, J. C. S.; GENELETTI, D.; MORRISON-SAUNDERS, A.; SÁNCHEZ, L. E.; HUGHES, M. To what extent can mine rehabilitation restore recreational use of forest land? Learning from 50 years of practice in southwest Australia. **Land Use Policy**, v. 90, p. 104290,

2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837719303539>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ROSA, J. C. S.; SOUZA, B. A.; SÁNCHEZ, L. E. Identificação de serviços ecossistêmicos em áreas de floresta mediante sensoriamento remoto. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 53, p. 276-295, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/62669>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, Columbus, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022249677900335?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan. 2024.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Journal of Services Sciences**, Seoul, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. Disponível em: <https://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v. 48, p. 9-26, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I). Acesso em: 15 jan. 2023.

SANTOS JÚNIOR, V. J.; PRADO, R. B.; LIMA, E. P. Valoração de Serviço Ambiental Hídrico na Zona de Amortecimento de um Parque Estadual no Semiárido de Minas Gerais, Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 104-143, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v11e22022104-143>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SANTOS, C. S. A.; GAVIÃO, L. O.; OLIVEIRA, L. A. S.; PEREIRA, J. C. Proposta de Avaliação da Política Nacional de Segurança da Informação por Processo de Análise Hierárquica. **Revista Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 27, n. 4, p. 108-145, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-5344/29373>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SCOLOZZI, R.; MORRI, E.; SANTOLINI, R. Delphi-based change assessment in ecosystem service values to support strategic spatial planning in Italian landscapes. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 134-144, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/234136758>. Acesso em: 15 jan. 2021

SRH. **Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará**. 2018. Disponível em: https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/PLANO-DE-ACOES-ESTRATEGICAS-DE-RECURSOS-HIDRICOS-CE_2018.pdf. Acesso em: 15 abr. 2021.

SHEN, L.; MUDULI, K.; BARVE, A. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. **Resources Policy**, v. 46, p. 15-26, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.10.006>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SILVA, A. L.; RIBEIRO, A. Í.; LONGO, R. M. Tools for prioritizing Ecosystem Services provided by fragments forest in the contexto of cities. **Ambiente e Sociedade**, v. 24, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200012r1vu2021L2AO>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SILVA, D. R.; SOUSA, J. A. As faces da seca: as transformações socioespaciais das grandes secas no Ceará (1979-83 e 2011-16). **Conexões Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v.13, n. 5, p. 105 - 111, 2019. Disponível em: <http://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1869>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SOARES, E. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13362>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L.G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S.W.; ROCHA, W.F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C.B.; DINIZ, C.G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E.J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, p. 2735, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SOBHANI, P.; ESMAEILZADEH, H. DINAN, N. M. Prioritization and valuation of ecosystem services in protected áreas. **Journal for Nature Conservation**, v. 84, p. 126804, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126804>. Acesso em: 10 fev. 2025.

SUTADIAN, A. D.; MUTTIL, N.; YILMAZ, A. G.; PERERA, B. J. C. Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index. **Ecological Indicators**, v. 75, p. 220-233, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.043>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SPENCE, D. S.; BAULCH, H. M.; LLOYD-SMITH, P. Collaborative valuation of ecosystem services to inform lake remediation. **Environmental Science and Policy**, v. 150, p. 103595, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103595>. Acesso em: 15 jun. 2024.

APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

QUESTIONÁRIO

QUESTIONÁRIO

Estimado pesquisador, este questionário objetiva coletar informações que serão fundamentais na elaboração de uma metodologia sobre Valoração de Serviços Ecossistêmicos na região Semiárida do Brasil. Contamos com sua participação e contribuição no desenvolvimento de um futuro mais consciente.

Os pesquisadores, desde já, agradecem suas valiosas contribuições.

INVESTIGAÇÃO

O presente instrumento de pesquisa se deu devido às incertezas nos métodos disponíveis na literatura para determinação do valor dos serviços ecossistêmicos prestados pelos diferentes ecossistemas. Os serviços ecossistêmicos devem ser entendidos como a capacidade dos ecossistemas em ofertar benefícios ao bem-estar humano. A valoração desses serviços é uma tentativa de traduzir sua importância para a subsistência humana atual e futura em um valor monetário. Assim, um serviço ecossistêmico terá maior valor se tiver maior capacidade de gerar bem-estar humano. Diante desse entendimento, propomos a participação da comunidade de especialistas em recursos naturais, na elaboração de um coeficiente a ser utilizado na atribuição de valor a 17 tipos de serviços ecossistêmicos.

Compreendendo que tais serviços podem apresentar valor diferenciado de acordo com o tipo de cobertura do solo, pedimos sua colaboração para atribuir os valores solicitados nas seguintes condições: i) formação florestal (áreas em que há predomínio de vegetação de porte elevado, a exemplo da reserva florestal da chapada do Araripe), ii) caatinga densa (áreas em que há predomínio de vegetação típica de Caatinga, com predomínio de formação natural preservada), iii) caatinga esparsa (áreas em que há predomínio de vegetação de porte reduzido, natural ou com características de áreas em recuperação, ou em processo de degradação da cobertura natural), iv) gramíneas e pastagens (áreas em que há predomínio de vegetação espontânea do tipo gramínea, assim como campos de pastos naturais), v) área cultivada (áreas em que há exploração de atividades agrícolas como produção de alimentos), vi) solos expostos (áreas em que na maior parte do ano o solo não dispõe de cobertura, são áreas desprotegidas e marcadas por processos de degradação natural ou antrópica), vii) corpos hídricos (áreas

ocupadas por água, seja natural ou a partir de obras de infraestrutura hídrica), e viii) centros urbanos (áreas em que há predomínio de urbanização, pavimentação, comunidades, vilas, distritos ou cidades).

Preencha a quadro 1, considerando a seguinte escala de importância:

0 – Representa a importância dada a um serviço com nenhuma contribuição para o bem-estar humano;

1 – Representa a importância dada a um serviço com contribuição muito baixa para o bem-estar humano;

2 - Representa a importância dada a um serviço com contribuição baixa para o bem-estar humano;

3 – Representa a importância dada a um serviço com contribuição média para o bem-estar humano;

4 - Representa a importância dada a um serviço com contribuição alta para o bem-estar humano; e,

5 - Representa a importância dada a um serviço com contribuição muito alto para o bem-estar humano.

Preencha a quadro 2, atribuindo valores monetários para cada categoria de uso do solo, conforme a escala de valores proposta para cada um dos 17 serviços ecossistêmicos listados.

QUADRO 1 - AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA IMPORTÂNCIA DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS PARA DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO

Nº	Serviço ecossistêmico	Descrição	Exemplo	ATRIBUA OS VALORES DE 0 A 5 CONFORME DESCRIÇÃO ACIMA PARA:							
				Centros urbanos	Corpos hídrico	Solos expostos	Área cultivada	Gramíneas e pastagens	Caatinga esparsa	Caatinga densa	Formação florestal
1	Regulação de gás	Regulação da composição química atmosférica	Equilíbrio de CO ₂ /O ₂ , O ₃ para proteção UVB e níveis de SO _x .								
2	Regulação climática	Regulação da temperatura global, precipitação e outros processos climáticos	Regulação de gases de efeito estufa, produção de DMS afetando a formação de nuvens								
3	Regulação de distúrbios	Capacidade de amortecimento e integridade da resposta do ecossistema às flutuações ambientais	Proteção contra tempestades, controle de enchente, recuperação de secas e outros aspectos da respoista do habitat à variabilidade ambiental controlada principalmente pela estrutura da vegetação.								
4	Regulação de água	Regulação dos fluxos hidrológicos	Fornecimento de água para processos agrícolas como irrigação, indústrias ou transporte.								
5	Abastecimento de água	Armazenamento e retenção de água	Abastecimento de água em bacias hidrográficas, reservatórios e aquíferos.								
6	Controle de erosão e retenção de sedimentos	Retenção de solo dentro de um ecossistema	Prevenção de perda de solo pelo vento, escoamento ou outros processos de remoção, armazenamento de lodo em lago e pântanos.								
7	Formação de solo	Processo de formação do solo	Intemperismo da rocha e acúmulo de material orgânico.								
8	Ciclagem de nutrientes	Armazenamento, ciclagem interna, processamento e aquisição de nutrientes	Fixação de nitrogênio, N, P e outros ciclos elementares ou de nutrientes.								
9	Tratamento de resíduos	Recuperação de nutrientes móveis e remoção ou quebra de nutrientes e compostos em excesso ou xênicos	Tratamento de resíduos, controle de poluição, desintoxicação.								
10	Polinização	Movimento dos gametas florais	Fornecimento de polinizadores para a reprodução de populações de plantas.								
11	Controle biológico	Regulações trófico-dinâmicas das populações.	Controle de predadores-chave de espécies de presas, redução de herbivoria por predadores de topo.								
12	Refúgio	Habitat para população residentes e transitórias.	Viveiros, habitat para espécies migratórias, habitats regionais para espécies colhidas localmente ou sobre áreas de inundação.								
13	Produção de alimentos	A parcela da produção primária bruta extraível como alimento.	Produção de peixes, caça, colheitas, coleta, agricultura de subsistência ou pesca.								
14	Matérias-primas	A parcela da produção primária bruta extraível como matéria-prima.	A produção de madeira, combustível ou forragem.								
15	Recursos genéticos	Fontes de materiais e produtos biológicos únicos.	Medicamentos, produtos para ciência dos materiais, genes para resistência a fitopatógenos e pragas agrícolas, espécies ornamentais.								
16	Recreação	Oferecer oportunidade para atividades recreativas.	Ecoturismo, pesca esportiva e outras atividades recreativas ao ar livre.								
17	Culturais	Oferecendo oportunidades para usos não comerciais.	Valores estéticos, artísticos, educacionais espirituais e/ou científicos dos ecossistemas.								

QUADRO 2 - AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO VALOR DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS PARA DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO												
Nº	Serviço ecossistêmico	Descrição	Exemplo	Considere a seguinte escala de valores (R\$ ha-1 ano-1)	Atribua valores para cada categoria de cobertura do solo conforme a escala de valores dos serviços ecossistêmicos proposta							
					Centros urbanos	Corpos hídrico	Solos expostos	Área cultivada	Gramíneas e pastagens	Caatinga esparsa	Caatinga densa	Formação florestal
1	Regulação de gás	Regulação da composição química atmosférica	Equilíbrio de CO ₂ /O ₂ , O ₃ para proteção UVB e níveis de SO _x .	R\$0,00 a R\$117,53								
2	Regulação climática	Regulação da temperatura global, precipitação e outros processos climáticos	Regulação de gases de efeito estufa, produção de DMS afetando a formação de nuvens	R\$0,00 a R\$18.577,51								
3	Regulação de distúrbios	Capacidade, amortecimento e integridade da resposta do ecossistema às flutuações ambientais	Proteção contra tempestades, controle de enchente, recuperação de secas e outros aspectos da resposta do habitat à variabilidade ambiental controlada principalmente pela estrutura da vegetação.	R\$0,00 a R\$588,33								
4	Regulação de água	Regulação dos fluxos hidrológicos	Fornecimento de água para processos agrícolas como irrigação, indústrias ou transporte.	R\$0,00 a R\$46.860,91								
5	Abastecimento de água	Armazenamento e retenção de água	Abastecimento de água em bacias hidrográficas reservatórios e aquíferos.	R\$0,00 a R\$11.608,17								
6	Controle de erosão e retenção de sedimentos	Retenção de solo dentro de um ecossistema	Prevenção de perda de solo pelo vento, escoamento ou outros processos de remoção, armazenamento de lodo em lago e pântanos.	R\$0,00 a R\$3.012,48								
7	Formação de solo	Processo de formação do solo	Intemperismo da rocha e acúmulo de material orgânico.	R\$0,00 a R\$3.327,03								
8	Ciclagem de nutrientes	Armazenamento, ciclagem interna, processamento e aquisição de nutrientes	Fixação de nitrogênio, N, P e outros ciclos elementares ou de nutrientes.	R\$0,00 a R\$413,24								
9	Tratamento de resíduos	Recuperação de nutrientes móveis e remoção ou quebra de nutrientes e compostos em excesso ou xênicos	Tratamento de resíduos, controle de poluição, desintoxicação.	R\$0,00 a R\$6.263,35								
10	Polinização	Movimento dos gametas florais	Fornecimento de polinizadores para a reprodução de populações de plantas.	R\$0,00 a R\$345,02								
11	Controle biológico	Regulações trófico-dinâmicas das populações.	Controle de predadores-chave de espécies de presas, redução de herbivoria por predadores de topo.	R\$0,00 a R\$1.092,79								
12	Refúgio	Habitat para população residentes e transitórias.	Viveiros, habitat para espécies migratórias, habitats regionais para espécies colhidas localmente ou sobre áreas de inverno.	R\$0,00 a R\$8.501,04								
13	Produção de alimentos	A parcela da produção primária bruta extraível como alimento.	Produção de peixes, caça, colheitas, coleta, agricultura de subsistência ou pesca.	R\$0,00 a R\$16.273,71								
14	Matérias-primas	A parcela da produção primária bruta extraível como matéria-prima.	A produção de madeira, combustível ou forragem	R\$0,00 a R\$1.745,57								
15	Recursos genéticos	Fontes de materiais e produtos biológicos únicos.	Medicamentos, produtos para ciência dos materiais, genes para resistência a fitopatogênese pragas agrícolas, espécies ornamentais.	R\$0,00 a R\$15.582,73								
16	Recreação	Oferecer oportunidade para atividades recreativas.	Ecoturismo, pesca esportiva e outras atividades recreativas ao ar livre.	R\$0,00 a R\$38.764,62								
17	Culturais	Oferecendo oportunidades para usos não comerciais.	Valores estéticos, artísticos, educacionais espirituais e/ou científicos dos ecossistemas.	R\$0,00 a R\$1.042,36								