

Análise espaço-temporal dos remanescentes da cobertura vegetal da Mata Atlântica em um município costeiro no sul do Brasil

Spatiotemporal analysis of the Atlantic Forest remnants of vegetation cover in a coastal city in southern Brazil

Análisis espaciotemporal de los remanecientes de la cubierta vegetal de mata Atlántica en una ciudad costera del sur de Brasil



Luana Caroline Neitzel

Universidade da Região de Joinville – Santa Catarina – Brasil

luananeitzel@hotmail.com



Celso Voos Vieira

Universidade da Região de Joinville – Santa Catarina – Brasil

celso.v@univille.br

Resumo O entendimento das relações ecológicas dos fragmentos florestais permite a aplicação de uma correta gestão ambiental, favorecendo a sua conservação e restauração de áreas degradadas. Diante do exposto, foi realizada uma análise espaço-temporal a partir das métricas de paisagem, com o objetivo de mensurar a qualidade dos fragmentos florestais no município de Joinville no período de 1985 a 2019. A análise dos fragmentos florestais foi realizada com a adoção de métricas de paisagem de tamanho, borda e forma, com posterior análise estatística para verificar se houve alterações significativas na paisagem no período estudado. Os resultados indicaram uma supressão de 774 fragmentos florestais no município, com uma redução de 65,94 km² de área, com destaque para a supressão dos pequenos fragmentos, principalmente ao longo perímetro urbano e

áreas adjacentes, assim como a redução de 35% da área de manguezal. As métricas de paisagem indicaram uma consequente diminuição do efeito de borda, aumento de área média dos fragmentos florestais, aumento do número de fragmentos com morfologia menos complexa e diminuição da conectividade dos fragmentos florestais em decorrência da redução dos corredores ecológicos. A principal pressão antrópica envolvida na alteração ecológica identificada foi a expansão urbana. Como resposta a prefeitura municipal implementou medidas ações prioritárias, com a intenção de manutenção e restauro das funções ecológicas dos fragmentos florestais no município.

Palavras chave: Joinville, métricas de paisagem, uso e cobertura do solo, Baía Babitonga.

Abstract Understanding the ecological relationships of the forest fragments makes possible the application of a correct environmental management, favoring its conservation and the restoration of degraded areas. Considering it, a spatiotemporal analysis was performed based on the landscape metrics, aiming to measure the quality of forest fragments in the city of Joinville, Santa Catarina, Brazil, in the period between 1985 and 2019. This analysis used landscape metrics of size, edge, and shape, with a posterior statistical analysis in order to verify if there were significant alterations in the landscape during the studied period. The results revealed suppression of 774 forest fragments in the city, with area reduction of 65.94 km², highlighting the suppression of small fragments, especially in the urban perimeter and adjacent areas, as well as reduction of 35% in the mangrove area. The landscape metrics pointed out a logic reduction of the edge effect, increase of the average area of forest fragments, increase in the number of fragments with less complex morphology, and reduction of the connectivity between forest fragments because of the decrease of ecological corridors. The main identified anthropic pressure involved in ecological change was the urban sprawl. In answer, the city hall has implemented priority actions, aiming to keep and restore the ecological functions of the forest fragments in the city.

Keywords: Joinville, landscape metrics, land use and cover, Babitonga Bay.

Resumen El entendimiento de las relaciones ecológicas de los fragmentos de bosque posibilita aplicar la correcta gestión ambiental, favoreciendo su conservación y la restauración de áreas degradadas. En vista de eso, se llevó a cabo un análisis espaciotemporal basada en las métricas del paisaje, objetivando medir la calidad de los fragmentos de bosque en la ciudad de Joinville, Santa Catarina, Brasil, en el período de 1985 hasta 2019. El análisis se realizó por medio de métricas del paisaje como tamaño, borde y forma, con posterior análisis estadística para verificar se ocurrieron cambios significativos en el paisaje en el período en foco. Los resultados indicaran supresión de 774 fragmentos de bosque en la ciudad, con disminución de 65,94 km² de área, con destaque a la supresión de los pequeños fragmentos, de manera especial en el perímetro urbano y áreas adyacentes, además de reducción de 35% de la zona de manglares. Las métricas de paisaje revelarán una lógica disminución del efecto de borde, aumento en el área promedio de fragmentos de bosque, aumento en el número de fragmentos con morfología menos compleja y disminución de la conectividad de los fragmentos de bosque debido a la reducción de los corredores ecológicos. La presión antrópica principal que resultó en el cambio ecológico identificada fue la expansión urbana. Como respuesta, la alcaldía ha implementado acciones prioritarias, con el objetivo de mantener y restaurar las funciones ecológicas de los fragmentos de bosque de la ciudad.

Palabras clave: Joinville, métricas de paisaje, uso y cobertura del suelo, Bahía Babitonga.

Introdução

Atualmente o sensoriamento remoto vem sendo largamente aplicado para o monitoramento de coberturas vegetais e é voltado, principalmente, para o comportamento espacial (ABREU; COUTINHO, 2014). Segundo Borges e Rajão (2016), as discussões acerca do território brasileiro vêm sendo reiteradas em diversos meios: acadêmico, político, econômico e defesa nacional. Tendo em vista a importância dos mapeamentos e conhecimento de territórios, foram desenvolvidas as metodologias de Sensoriamento Remoto e Uso e Cobertura da Terra, que tornam possível não somente o monitoramento, mas a preservação (INÁCIO, et al., 2020).

Portanto, a biodiversidade da Mata Atlântica é considerada de extrema importância biológica, mas essa riqueza de fauna e flora está ameaçada pelo desmatamento (BRANCO, et al., 2021). Este bioma é uma das florestas tropicais mais ameaçadas do planeta (SAFAR; MAGNAGO; SCHAEFER, 2020) e vem sendo devastado com o processo de urbanização (FERREIRA et al., 2019), pois mais de 60% da população brasileira reside em área de domínio de Mata Atlântica (SCARANO; CEOTTO, 2015). Então, atualmente é possível afirmar de acordo com Fundação SOS Mata Atlântica (2021), que restam apenas 12,4% da floresta que existia originalmente e de 1985 a 2019, a ação antrópica desmatou cerca de 1,95 milhões de hectares desta cobertura florestal (SOUSA et al., 2022).

Já a fragmentação do habitat é frequentemente definida como o processo através do qual uma grande área é transformada em pequenas manchas, com área total menor, isoladas por uma matriz diferente do habitat original (FAHRIG, 2003).

Sendo assim, o parcelamento do solo é um dos motivos pelos quais o processo de fragmentação da paisagem vem causando tanto a redução das áreas de cobertura vegetal quanto à distribuição fragmentada das mesmas e interferindo na sustentabilidade dos recursos naturais, da biodiversidade e, portanto, na qualidade de vida da sociedade (CHAVES; SANTOS, 2009; ANDERSSON et al., 2014; MASSOLI; STATELLA; SANTOS, 2016). No contexto das cidades, apesar

da infraestrutura verde ter capacidade de fornecer uma multiplicidade de serviços, denominados serviços ecossistêmicos, para que isso aconteça de forma eficaz é essencial o monitoramento da vegetação natural, tanto com relação à sua composição, quanto em termos temporais e distribuição espacial (ANDERSSON et al., 2014; LAWLEY et al., 2016).

Portanto, foram levantados dados ao longo do tempo a partir das métricas de paisagem, com o objetivo de mensurar a qualidade dos fragmentos, visto a escassez dessas informações sobre os fragmentos arbóreos no município de Joinville.

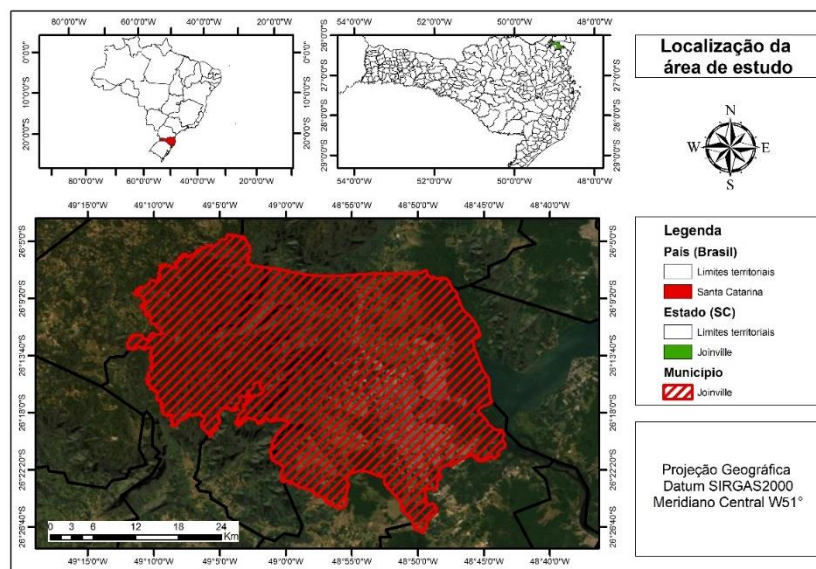
Logo, foram definidos os anos de 1985 e 2019 para o estudo em questão, visando analisar as alterações da cobertura e uso do solo no município, por meio da caracterização da evolução da estrutura da paisagem e análise das métricas de paisagem dos fragmentos de vegetação.

Metodologia

Área de estudo

O município de Joinville localizado no norte do estado de Santa Catarina confronta-se a leste com a baía Babitonga e a oeste com a Serra do Mar e possui uma área de 1.124 km² (Figura 1).

Figura 1: Localização do estado de Santa Catarina e do município de Joinville.



Fonte: Autores

O município é a maior cidade do estado e possui 604 mil habitantes (IBGE, 2021) e uma densidade demográfica de 457 hab./km². O município também se destaca por ser a maior economia do estado de Santa Catarina (IBGE, 2021). Dentre os ecossistemas que ocorrem na região destacam-se a Floresta Ombrófila Densa (que compreende 60% do município) e seus ecossistemas associados, com destaque para os manguezais no litoral e os campos de altitude nas áreas com mais de 1.100 m de altitude na Serra do Mar (PMJ, 2020).

Uso e cobertura do solo

Para a avaliação da dinâmica de uso de cobertura da terra, foram utilizados, os dados fornecidos pelo MapBiomas. De acordo com a base de dados do MapBiomas (2019), ele tem o propósito de contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais, estabelecendo uma rede colaborativa de especialistas nos biomas brasileiros para o mapeamento da cobertura do solo e da sua dinâmica de mudanças. Com esses dados, foi possível visualizar a evolução do município de Joinville. Depois de obter o levantamento de informações, foram selecionados dois momentos temporais, os anos de 1985 e 2019. Foi selecionado este recorte temporal devido a disponibilidade de informações na base de dados do MapBiomas, que eram limitadas a este período. Posteriormente, a partir dos dados obtidos foi realizado um estudo comparativo dos fragmentos florestais para estes dois momentos.

Métricas de paisagem

Para o cálculo de métricas de paisagem foram utilizados os softwares Fragstats (MCGARIGAL et al., 1995) e a extensão do ArcGIS Patch Analyst (REMPEL et al., 2012) com a análise das seguintes métricas de paisagem: (1) Métricas de tamanho; (2) Métricas de borda e (3) Métricas de forma (Quadro 1). A seleção das métricas de paisagem foi baseada em Silva et al. (2019), Fernandes et al. (2019) e Amorim et al. (2021).

Quadro 1 – Definições métricas de paisagem adotadas no estudo.

Sigla	Métrica	Descrição
Métricas de Tamanho		
CA	Área total da classe	Representa a soma de todas as manchas de determinada classe de uso do solo.
NumP	Número de manchas	Expressa o número total de manchas por tipo de classe de uso do solo.
MPS	Tamanho médio	Expressa o tamanho médio das manchas por tipo de classe de uso do solo.
MedPS	Tamanho mediano	Expressa o tamanho mediano das manchas por tipo de classe de uso do solo.
PSSD	Desvio padrão do tamanho	Expressa a variação do tamanho das manchas em torno do valor médio para cada classe de uso do solo.
Métricas de Borda		
TE	Comprimento total de borda	Comprimento total do perímetro (borda) para cada classe de uso do solo.
ED	Densidade de borda	Expressa a relação entre o perímetro (TE) de cada classe pela área total da paisagem (TLA).
MPE	Média do perímetro	Expressa o comprimento médio do perímetro (te) das manchas para cada tipo de classe. é calculado com a divisão do valor total do perímetro da classe (te) pelo número total de manchas (NumP).
Métricas de Forma		
MPAR	Média da relação perímetro/área	Nessa métrica é calculada a relação entre o perímetro (te) de cada classe pela área total classe (CA) dividido pelo número de manchas (NumP).
MSI	Indicador médio de forma	Expressa o quanto a mancha é próxima de um círculo. essa métrica efetua a soma do perímetro de todas as manchas e divide pelo quadrado da área da classe de uso. Basicamente expressa que quanto mais próximo de 1 for o valor, a forma da mancha é mais parecida com um círculo.
AWMSI	Indicador médio de forma ponderado pela área	Expressa o quanto a mancha é próxima de um círculo. essa métrica efetua a soma do perímetro de todas as manchas dividido pelo quadrado da área da classe de uso sendo o resultado dividido pelo número de manchas da classe. Basicamente expressa que quanto mais próximo de 1 for o valor, a forma da mancha é mais parecida com um círculo.
MPFD	Dimensão fractal média da mancha	É uma métrica que expressa a complexidade de forma da mancha, sendo que valores próximos de 1 representam perímetros simples e valores próximos de 2 indicam perímetros complexos, baseados na forma.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada com a apreciação de cada fragmento florestal dos anos de 1985 e 2019, totalizando 7.194 fragmentos ou casos. As variáveis utilizadas na análise estatística foram: área de cada fragmento (m^2), perímetro ou borda de cada fragmento (m), índice de forma (SI) de cada fragmento, relação perímetro/área de cada fragmento (PAR) e dimensão fractal (FD) de cada fragmento.

As classes de tamanho (área) dos fragmentos florestais dos anos de 1985 e 2019 foram comparadas para verificar entre as seguintes classes: (i) área menor que 0,5 ha; (ii) área maior que 0,5 ha e menor que 5 ha; (iii) área maior que 5 ha e menor que 100 ha; (iv) área maior que 100 ha e menor que 300 ha; (v) área maior que 300 ha.

A análise estatística teve como objetivo efetuar uma comparação entre os fragmentos de 1985 e 2019 com o uso das variáveis supramencionadas e testar a hipótese nula se há diferença significativa entre os anos estudados.

A normalidade das variáveis foi analisada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homocedasticidade das variâncias foi analisada pelo teste de Levene (ANOVA). O teste de Mann-Whitney foi usado para comparar as medianas e amplitude interquartil (AI) das variáveis com distribuição não normal e não homocedástica e o teste ANOVA foi utilizado para comparar a média e desvio padrão das variáveis com distribuição normal e homocedástica. Os resultados foram considerados estatisticamente significativo quando $p < 0,05$.

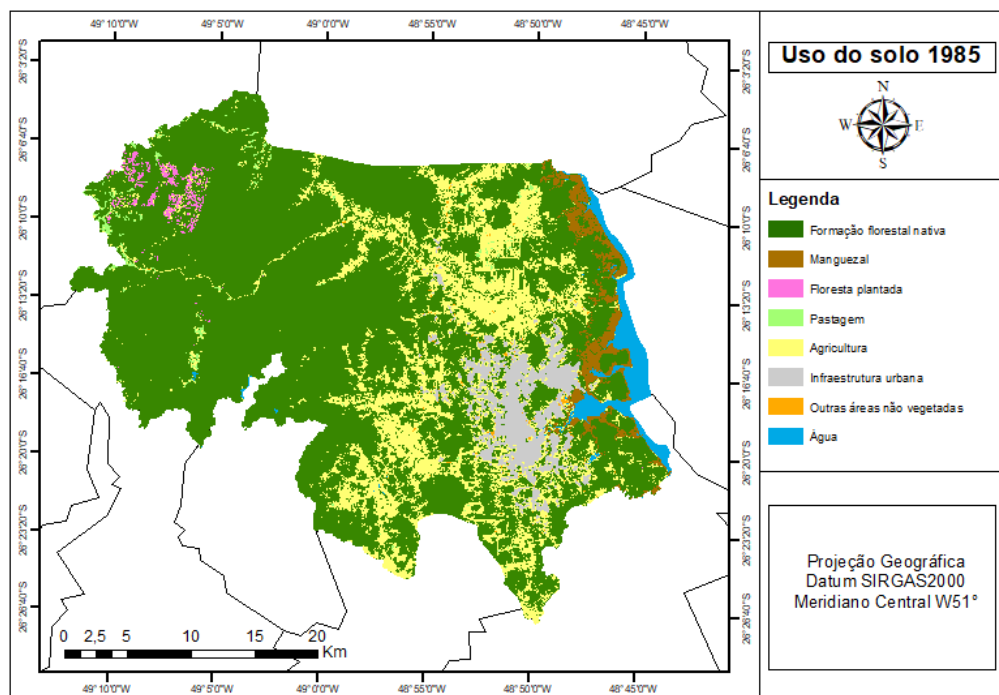
Resultados

Os dados de uso e cobertura do solo do município de Joinville podem ser analisados na Tabela 1 e observados na Figura 2 e Figura 3.

Tabela 1 - Classes de uso e cobertura do solo do município de Joinville.

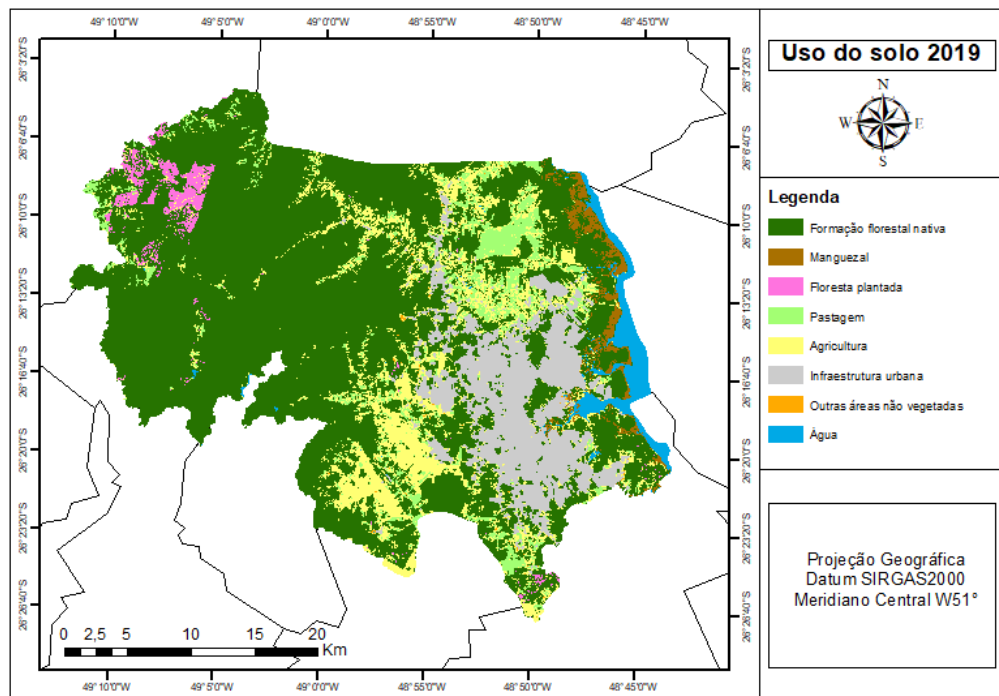
Classes	Área (Km ²)		Variação
	1985	2019	
Formação florestal	791,68	725,73	-8%
Manguezal	28,55	18,66	-35%
Floresta plantada	8,43	20,39	+142%
Pastagem	8,27	60,6	+633%
Agricultura	202,42	136,81	-33%
Infraestrutura urbana	53,87	131,74	+144%
Outras áreas não vegetadas	2,90	1,49	-49%
Água	28,00	28,67	+2%
Total	1.124 km ²	1.124 km ²	

Figura 2 - Mapa de uso e cobertura do solo no ano de 1985.



Fonte: Autores

Figura 3 - Mapa de uso e cobertura do solo no ano de 2019



Fonte: Autores

A área total da classe formação florestal em 1985 era de 791,68 km² e diminuiu em 2019 para 725,73 km², com isso houve uma redução na área total da classe de formação florestal na ordem de 8%.

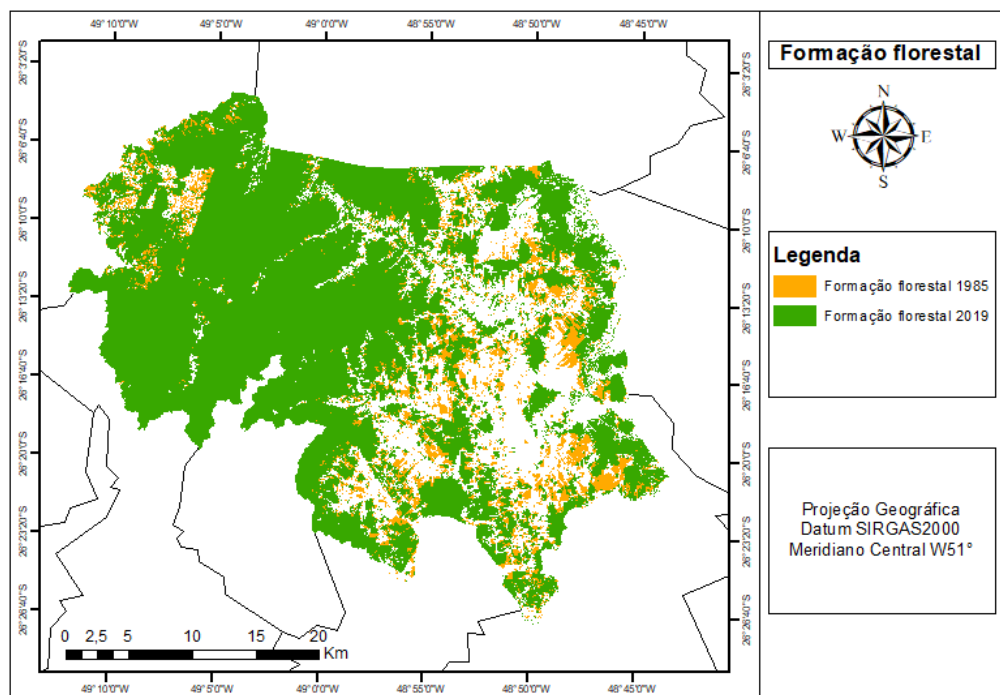
A classe manguezal teve uma diminuição de área 9,89 km² apresentando uma perda significativa para o ecossistema costeiro, com uma redução de 35% do ecossistema no período. Entretanto, a floresta plantada (silvicultura) teve um incremento de 142% de área, bem como a classe de pastagem com um crescimento de 633% no período analisado.

As áreas de agricultura no município sofreram uma redução de 32%, principalmente com o avanço do perímetro urbano do município no mesmo período, com um crescimento de 144% da classe de infraestrutura urbana. A classe de outras áreas não vegetadas é representada por locais associadas à infraestrutura urbana e atividades rurais e, contou com uma redução de 49%. A classe de água manteve-se praticamente estável, com uma pequena

expansão de 2% representada por oscilações na zona costeira do município, representada pelo manguezal.

Com relação aos fragmentos florestais (Figura 4) foi observado que a supressão das manchas ocorreu principalmente no interior do perímetro urbano e nas áreas periféricas do mesmo.

Figura 4 - Mapa de uso e cobertura da Classe de Formação Florestal nos anos de 1985 e 2019.



Fonte: Autores

Na Tabela 2 é evidenciada as métricas de tamanho dos fragmentos florestais, pode-se observar que a área total da classe (CA) de formação florestal expressou uma redução do tamanho dos fragmentos. Onde, no ano de 1985 era 791.685.000 m² ou 791,68 km² e no ano de 2019 passou para 725.736.000 m² ou 725,73 km², resultando em uma perda de 65.949.000,00 m² ou 65,94 km². Entretanto, houve um aumento do tamanho médio das manchas (MPS) de 198.716 m² para 226.086 m², indicando que as manchas menores (NumP) foram suprimidas ao longo do período em questão, com uma redução de 3.984 para 3.210 manchas, com uma supressão de 774 manchas de vegetação nativa. Já o tamanho mediano das

manchas (MedPS) apresentou valores praticamente idênticos ao longo do tempo. Por fim, o desvio padrão do tamanho das manchas (PSSD) teve um pequeno aumento, indicando um aumento da variação do tamanho das manchas.

Tabela 2 - Métricas de tamanho dos fragmentos florestais do município de Joinville.

Métricas	Sigla	1985	2019	Varição
Área total da classe	CA	791.685.000 m ²	725.736.000 m ²	-9%
Número total de manchas	NumP	3.984	3.210	-19%
Tamanho médio das manchas	MPS	198.716 m ²	226.086 m ²	+14%
Tamanho mediano das manchas	MedPS	1.609,18 m ²	1.609,67 m ²	+0,03%
Desvio padrão do tamanho das manchas	PSSD	9.049.170 m ²	9.164.960 m ²	+1%

Fonte: Autores

Com base na Tabela 3, referente as métricas de borda, foi possível identificar que o tamanho total de borda (TE) diminuiu 707.360,00 m (ou 14%) no período em questão assim como a densidade de borda (ED), já que houve uma redução de 6% tanto de área quanto de comprimento do perímetro dos fragmentos florestais. Entretanto, a média do perímetro (MPE) apresentou um aumento de 84,64 m (7%), em virtude da supressão dos fragmentos menores e manutenção das manchas maiores.

Tabela 3 - Métricas de borda dos fragmentos florestais do município de Joinville.

Métricas	Sigla	1985	2019	Varição
Comprimento total do perímetro (borda)	TE	5.039.340 m	4.331.980 m	-14%
Densidade de borda	ED	0,0064 m/m ²	0,0060 m/m ²	-6%
Média do perímetro (borda)	MPE	1.264,89 m	1.349,53 m	+7%

Fonte: Autores

Em relação as métricas de forma dos fragmentos florestais (Tabela 4) foi possível identificar que o indicador médio de forma (MSI) sofreu em um pequeno aumento (1%), indicando que a forma dos fragmentos florestais está ligeiramente mais complexa. Já a média da relação perímetro/área (MPAR) diminuiu 4%, indicando um menor efeito de borda nas manchas de 2019. A dimensão fractal média da mancha (MPFD) indicou uma sutil diminuição, resultando em maiores fragmentos florestais com menor efeito de borda. O indicador médio de forma ponderado pela área (AWMSI) também sofreu uma diminuição que indica que em 1985 existiam vários pequenos fragmentos, porém mais complexos, já em 2019, restaram fragmentos maiores contemplando um menor efeito de borda.

Tabela 4: Métricas de forma dos fragmentos florestais do município de Joinville.

Métricas	Sigla	1985	2019	Variação
Indicador médio de forma	MSI	1,4162	1,4299	+1%
Média da relação perímetro/área	MPAR	0,1007 m/m ²	0,0969 m/m ²	-4%
Dimensão fractal média da mancha	MPFD	1,3969	1,3932	-0,3%
Indicador médio de forma ponderado pela área	AWMSI	17,25	14,73	-15%

Fonte: Autores

A análise estatística (Tabela 5) indicou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os anos de 1985 e 2019 para as variáveis de área (m²), perímetro ou borda (m), relação perímetro/área (PAR) e dimensão fractal (FD). Destarte, podemos verificar que as alterações sofridas na paisagem, com a supressão dos fragmentos florestais no período estudado, possuem relevância estatística e indicam alterações ecológicas.

Tabela 5 - Teste de hipóteses.

Hipótese nula	Teste Estatístico	Sigma	Decisão
A distribuição da área (m ²) dos fragmentos é igual entre os anos de 1985 e 2019	Mann-Whitney U	p<0,05	Rejeitar a hipótese nula
A distribuição do perímetro (m) dos fragmentos é igual entre os anos de 1985 e 2019	Mann-Whitney U	p<0,05	Rejeitar a hipótese nula
A distribuição do índice de forma (SI) dos fragmentos é igual entre os anos de 1985 e 2019	Mann-Whitney U	p=0,062	Aceitar a hipótese nula
A distribuição da relação perímetro/área (PAR) dos fragmentos é igual entre os anos de 1985 e 2019	Mann-Whitney U	p<0,05	Rejeitar a hipótese nula
A distribuição da dimensão fractal (FD) dos fragmentos é igual entre os anos de 1985 e 2019	Mann-Whitney U	p<0,05	Rejeitar a hipótese nula

Fonte: Autores

A análise comparativa das classes de tamanho dos fragmentos dos anos de 1985 e 2019 (Tabela 6) indicou que houve diferença significativa para os fragmentos florestais com (i) área <0,5 ha com uma redução de 653 fragmentos e (ii) fragmentos com área >5 ha e <100 ha com uma redução de 24 de fragmentos. As demais classes não possuem diferença estatisticamente significativa no nível de p<0,05.

Tabela 6 - Análise comparativa das classes de tamanho dos fragmentos para o ano de 1985 e 2019.

Classe de área	1985	2019	Total
<0,5 ha	N= 2.804 _a 39%	N= 2.151 _b 29,9%	N= 4.955 68,9%
>0,5 ha e <5 ha	N= 982 _a 13,7%	N= 836 _a 11,6%	N= 1.818 25,3%
>5 ha e <100 ha	N= 169 _a 2,3%	N= 193 _b 2,7%	N= 362 5,0%
>100 ha e <300 ha	N= 16 _a 0,2%	N= 15 _a 0,2%	N= 31 0,4%
>300 ha	N= 13 _a 0,2%	N= 15 _a 0,2%	N= 28 0,4%

Letras iguais (a,a) denotam categorias que não diferem significativamente umas das outras no nível $p < 0,05$.

Letras diferentes (a,b) denotam categorias que diferem significativamente umas das outras no nível $p < 0,05$.

Discussão

De acordo com a Tabela 1 foi observado que a classe de Infraestrutura Urbana expandiu, em área territorial 144% nos últimos 34 anos, com a expansão do perímetro urbano municipal, principalmente ao longo da planície costeira. Chaves e Santos (2009) destacam que as alterações de uso e ocupação no solo, associadas ao processo de urbanização, tais como o parcelamento do solo, a construções de edificações e o aumento da densidade viária são alguns dos principais fatores associados ao aumento da fragmentação das paisagens naturais (SILVA et al., 2019). Portanto, sabe-se que a intensificação do processo de urbanização provocada por grandes empreendimentos se estabelece por meio da mudança no uso do solo e modificações da cobertura natural do mesmo (NETO et al., 2021).

Já a classe de Formação Florestal, teve uma diminuição de 1985 para 2019 de 65,95 km² que representa 8,33% da área total da classe, sendo assim, o efeito causado pela urbanização sobre as comunidades florestais é uma questão importante para os gestores ambientais, tanto para o uso da terra como para a conservação da

natureza (SILVA et al., 2019). Uma das consequências diretas da fragmentação e perda de habitat é justamente a perda da biodiversidade microbológica do solo, da flora e da fauna, a perda da diversidade genética, a redução da densidade ou abundância, alteração da estrutura da vegetação e maior possibilidade de ocorrência de espécies invasoras, entre outros (CALEGARI et al., 2010). Esses danos podem ocorrer para uma espécie em particular ou para a comunidade de plantas e animais, podendo ainda provocar a modificação ou, mesmo, a eliminação das relações ecológicas originalmente entre as espécies vegetais, os polinizadores e os dispersores (BORGES et al., 2004).

A classe de manguezal teve uma redução de área de 35% em relação ao ano de 1985. A Prefeitura Municipal de Joinville (2011) relatou que grande parte do ecossistema costeira foi perdido durante as fases de expansão urbana do município, principalmente durante a década de 70 e 80. Deve ser ressaltado que os remanescentes de manguezal situados na baía Babitonga correspondem a 75% dos manguezais de todo o Estado de Santa Catarina. O manguezal é um dos ecossistemas mais expressivos e dominantes do litoral costeiro (RODRIGUES et al., 2020) e é um dos responsáveis pela estabilidade da geomorfologia costeira, conservação da biodiversidade e da manutenção de recursos pesqueiros, geralmente utilizados pela população local. Em virtude da elevada sensibilidade dos manguezais em função das mudanças ambientais, incluindo as alterações climáticas, é possível elencar os manguezais entre os ecossistemas mais ameaçados do mundo (RODRIGUES et al., 2020; ALONGI, 2002; GIRI et al., 2007, 2011). A intensa pressão antrópica no ecossistema costeiro, com a introdução indiscriminada de espécies exóticas no ambiente natural ocasionou um desequilíbrio na comunidade, reduzindo o crescimento, a taxa de reprodução das plantas e, causando a perda das espécies presentes no local, influenciando na competição, composição e diversidade do ecossistema (SANTOS, 2006). Entre os anos de 2016-2017 foi registrada uma bioinvasão de mariposas da espécie *Hyblaea puera* (Cramer, 1777 - Lepidoptera), ocasionando o desfolhamento maciço em uma área de 800 hectares de manguezal em Joinville. Com a intensa herbivoria, muitos

indivíduos presentes na localidade sofreram danos irreversíveis em toda extensão de sua copa, o que elevou a taxa de mortalidade da população de *L. racemosa* (FRANÇA et al., 2020).

Em mais um exemplo de pressão antrópica no município, destaca-se que as áreas de floresta plantada (silvicultura) tiveram um aumento de 142% no período estudado. As plantações florestais têm estado no meio de grandes controvérsias e continuam a despertar acalorados debates quanto a seus impactos no meio ambiente. De modo geral, criticam-se os efeitos sobre o solo (empobrecimento e erosão), a água (impacto sobre a umidade do solo, os aquíferos e lençóis freáticos) e a baixa biodiversidade observada em monoculturas (VITAL, 2007). Os efeitos ecológicos, decorrentes de empreendimentos florestais, envolvem principalmente questões relativas aos problemas de destruição de ecossistemas, manutenção da biodiversidade, degradação de microbacias, diminuição do capital de nutrientes do solo, desfiguração da paisagem, entre outros (MENDES & LIMA, 2007). Destaca-se que as áreas mais expressivas de silvicultura estão situadas à montante da principal área de captação e tratamento de água potável do município, situada no Rio Cubatão.

Com relação às áreas agrícolas no município foi constado uma diminuição das áreas de agricultura (-33%) e o aumento da classe de pastagem em 633%. Ao longo do período estudado houve um conseqüente abandono das atividades agrícolas e um avanço na supressão de vegetação nativa nas margens do perímetro urbano municipal. A retirada de vegetação nativa, o abandono das áreas agrícolas e a manutenção de áreas com vegetação herbácea na zona rural do município está relacionada com valorização do preço dos imóveis. Essas áreas normalmente são alvo de implantação de condomínios rurais (condomínios de chácaras) ou possuem um tratamento urbanístico especial, classificadas como de expansão urbana, de acordo com o zoneamento municipal (JOINVILLE, 2017).

A classe intitulada água teve um pequeno aumento de 2%, podendo afetar de forma negativa as áreas de mangue, visto que o manguezal é particularmente vulnerável ao processo de elevação do nível do mar (FIELD, 1995; LOVELOCK e ELLISON, 2007; FARACO, ANGRETO-FILHO e LANA, 2010; GIRI et al., 2011). Contudo, o padrão

de resposta do manguezal à elevação do nível do mar é dependente das características geográficas, oceanográficas e ambientais, nas escalas local e regional (GILMAN et al., 2006), assim como, também, da capacidade adaptativa das espécies vegetais do manguezal (ESPINOSA e FLORES, 2011). Ressalta-se que essa diferença de área pode estar associada a própria hidrodinâmica estabelecida na baía da Babitonga, como erosão da linha de costa ou mesmo diferenças de altura de maré na passagem dos sensores imageadores nas distintas datas.

A análise estatística indicou diferença significativa para o tamanho dos fragmentos florestais entre os anos 1985 e 2019 (Tabela 5). Neste período houve uma supressão de 774 fragmentos e uma redução de área de 65,94 km². Contudo, em uma análise mais detalhada das classes de tamanhos dos fragmentos (Tabela 6) foi identificado que somente os fragmentos com (i) área menor que 0,5 ha e (ii) área maior 5 e menor 100 ha possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os anos de 1985 e 2019. A classe de tamanho de fragmento florestal que mais sofreu supressão foi a classe (i) com área menor que 0,5 ha, com uma perda de 653 fragmentos, que representa 84% dos fragmentos florestais suprimidos. Os fragmentos florestais com área superior a 100 hectares permaneceram praticamente inalterados ao longo do mesmo período (1985 a 2019).

A área média dos fragmentos identificados em 2019 foi de 22,6 hectares, com uma diminuição no número total de manchas em 19%, principalmente dos pequenos fragmentos (<0,5 ha). Neste sentido, houve um aumento do tamanho médio das manchas que influenciou na redução do efeito de borda. Entretanto, houve a exclusão das manchas florestais menores, o que contribuiu para um aspecto negativo de conectividade, visto que os fragmentos menores exerciam um papel de corredores ecológicos entre os fragmentos maiores no município (FARIA e SANTOS, 2016).

Com relação as métricas de borda, a transformação da estrutura florestal na borda destes fragmentos é também uma das principais consequências do processo de fragmentação (MASSOLI; STATELLA; SANTOS, 2016). Normalmente é visualizada uma diferença

entre as áreas de borda e as regiões mais interiores dos fragmentos, com uma maior riqueza e diversidade de espécies nas áreas mais distantes da borda em comparação às áreas marginais que, por sua vez, apresentam menor diversidade e maior abundância de árvores de espécies pioneiras e regenerantes (SILVA et al., 2019). Observa-se ainda alterações abióticas com pronunciados efeitos sobre o microclima, como aumento da temperatura, redução da umidade, aumento da luminosidade, aumento da exposição aos ventos e estresse hídrico. No entanto, espécies oportunistas podem beneficiar-se dessas condições e aumentar a sua densidade nessas áreas, passando a ser elemento de perturbação para a estrutura da comunidade (VIDOLIN, et al., 2011). Com a redução do número de pequenos fragmentos (<0,5 ha), as métricas de comprimento total do perímetro (borda) e densidade de borda igualmente diminuíram (Tabela 3). Deve ser ressaltado que foi identificada uma diferença significativa ($p < 0,05$) das métricas de perímetro (borda) e relação perímetro/área dos fragmentos florestais entre os anos de 1985 e 2019 (Tabela 6).

A métrica de dimensão fractal (FD) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) ao longo do período estudado (1985 a 2019) indicando uma diminuição na complexidade da forma dos fragmentos florestais para o ano de 2019. O indicador médio de forma ponderado pela área (Tabela 4) igualmente apresentou uma diminuição, indicando que atualmente os fragmentos possuem morfologia com um menor efeito de borda e áreas maiores do que o ano de 1985.

Por fim, o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica do município de Joinville - PMMA (PMJ, 2020) indicou que serão adotadas algumas ações prioritárias no município, com a intenção de manutenção e restauro das funções ecológicas dos fragmentos florestais no município. O supracitado plano indicou como ações prioritárias o (i) levantamento de irregularidades e áreas passíveis de restauro em Áreas de Preservação Permanente, (ii) criação de áreas verdes urbanas, (iii) monitoramento de remanescentes florestais, (iv) regulamentação do Zoneamento Ecológico Econômico, (v) criação de projeto de conservação e

recuperação em corredores ecológicos e (vi) criação de unidades de conservação.

Conclusão

Diante das análises obtidas por meio das métricas da paisagem durante o período de 1985 e 2019, foi possível constatar alterações ecológicas associadas aos fragmentos florestais no município de Joinville, em que a classe de formação florestal diminuiu à proporção que a classe de infraestrutura urbana expandiu em área e perímetro. O avanço urbano impactou negativamente a biodiversidade no município, onde, destaca-se os danos causados sobre o manguezal com redução de 35% da área do ecossistema costeiro. Ressalta-se que os manguezais da Baía Babitonga representam 75% do ecossistema de todo o estado de Santa Catarina e encontram-se dentre os ecossistemas mais ameaçados do mundo.

Também, pôde-se observar que no período em questão (1985 a 2019) houve um crescente abandono das atividades agrícolas em decorrência da valorização dos imóveis que foi estimulado pela implantação de condomínios rurais e expansão do perímetro urbano.

No mesmo período ocorreu a supressão de 774 fragmentos florestais no município, com uma redução de 65,94 km² de área, com destaque para a supressão dos pequenos fragmentos (com área menor que 0,5 ha) principalmente ao longo perímetro urbano e áreas adjacentes. Todavia, os fragmentos arbóreos com área superior a 100 ha foram pouco impactados no mesmo período. Desta maneira, com a supressão dos pequenos fragmentos as métricas de paisagem indicaram (i) uma conseqüente diminuição do efeito de borda, (ii) aumento de área média dos fragmentos, (iii) fragmentos com morfologia menos complexa e (iv) diminuição da conectividade dos fragmentos florestais em decorrência da redução dos corredores ecológicos.

Por fim, diante do cenário de perda ecológica ao longo do período estudado (1985 a 2019) a Prefeitura Municipal de Joinville no âmbito do Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica estabeleceu ações prioritárias, com a intenção de

manutenção e restauro das funções ecológicas dos fragmentos florestais no município.

Referências

- ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem**. *Vértices*, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.1, p. 173 - 198, 2014.
- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangroves forests. **Environmental Conservation**, v. 29, n.03, p. 331 - 349, 2002.
- AMORIM, A. T.; SOUSA, J. A. P. de; PIROLI, E. L. O uso das métricas de ecologia da paisagem para análise dos padrões espaciais da Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Boa vista. **Revista Formação (ONLINE)**, v. 28, n. 53, p. 625 - 642, 2021.
- ANDERSSON, E. BARTHEL, S.; BORGSTRÖM, S.; COLDING, J.;
- BORGES, G. de F.; RAJÃO, R. G. L. Projeto Radam: (Re)Descobrimo o Projeto de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento da Amazônia. **Revista FSA**, Teresina, v. 13, n. 6, p. 03 - 17, 2016.
- BORGES, L. F. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; JUNIOR, F. W. A.; FREITAS, G.D. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 22 - 38, 2004.
- BRANCO, A. F. V. C.; LIMA, P. V. P. S.; FILHO, E. S. de M.; COSTA, B. M. G.; PEREIRA, T. P. Avaliação da perda da biodiversidade na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 1885-1909, 2021.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p. 871-880, 2010.
- CHAVES, H. M. L.; SANTOS, L. B. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. Suplemento, p. 922-930, 2009.
- ELMQVIST, T.; FOLKE, C.; GREN, A. **Reconnecting Cities to the Biosphere: Stewardship of Green Infrastructure and Urban Ecosystem Services**. *AMBIO*, Stockholm, v. 43, n. 4, p. 445 - 453, 2014.

ESPINOSA, L. Y.; FLORES, J. A Review of Sea-Level Rise Effect on Mangrove Forest Species: Anatomical and Morphological Modifications. In: CASALEGNO, S. Global Warming Impacts - Case Studies on the Economy, Human Health, and on Urban and Natural Environments. InTech: London, 2011. p. 253-276. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/24662>>. Acesso em: 10 abril 2022.

FARACO, L. F. D.; ANDRIGUETTO-FILHO, J. M.; LANA, P. C. A methodology for assessing the vulnerability of mangroves and fisherfolk to climate change. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 205 - 223, 2010.

FARIA, K.M.S de; SANTOS, R. A. Análise espacial da densidade de fragmentos remanescentes e da estrutura da paisagem na sub-bacia do Rio Caiapó – GO. **Ateliê Geográfico**, Goiânia-GO, v. 10, n. 2, p. 115-127, 2016.

FERNANDES, W. A. A.; PIMENTEL, M. A. S. Dinâmica da paisagem no entorno da Resex Marinha de São João da Ponta/PA: Utilização de métricas e geoprocessamento. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 20, n. 72, p. 326 - 344, 2019.

FERREIRA, I. J. M; BRAGA, G. da R.; FERREIRA, J. H. D.; BENEDITO, E.; COUTO, E. V. **Landscape pattern changes over 25 years across a hotspot zone in southern Brazil, Southern Forests**, v. 81, n. 2, p. 175-184, 2019.

FIELD, C. Impacts of expected climate change on mangroves. **Hydrobiologia**, v. 295, p. 75 - 81, 1995.

FIRMINO, R. G.; FONSECA, M. B. Uma Visão Econômica dos Impactos Ambientais Causados pela Expansão da Agricultura. **R. Econ. e Adm. Campo Grande**, MS, v. 9, n. 18, p. 32-48, 2008.

FRANÇA, B. S.; MELO JR., J. C. F.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F. Padrão temporal de herbivoria e defesas antiherbivoria em população natural de *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) em manguezal predado maciçamente por *Hyblaea puera* (Lepidoptera). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 07, p. 3151-3158, 2020.

GILMAN, E. L.; ELLISON, J.; JUNGBLUT, V.; LAVIEREN, H. V.; WILSON, L.; AREKI, F.; BRIGHOUSE, G.; BUNGITAK, J.; DUS, E.; HENRY, M.; KILMAN, M.; MATTHEWS, E.; SAUNI JR., I.; TEARIKI-RUATU, N.; TUKIA, S.; YUKNAVAGE, K. Adapting to Pacific Island mangrove responses to sea level rise and climate change. **Climate Research**, v. 32, p. 161-176, 2006.

GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using

earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 1, p. 154 – 159, 2011.

GIRI, C.; PENGRA, B; ZHU, Z.; SINGH, A.; TIESZEN, L. L. Monitoring mangrove forest dynamics of the sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 73, n. 1-2, p. 91 – 100, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>>. Acesso em: 11 abril 2022.

INÁCIO, D. R.; BARBOZA, D. V.; BRUNO, S. F.. Sensoriamento Remoto e uso e Cobertura da Terra: Uma Revisão sobre Monitoramento. **Revista FSA**, Teresina, v. 17, n. 11, p. 263 - 277, 2020.

JOINVILLE. Lei complementar nº 470, de 09 de janeiro de 2017. Redefine e institui, respectivamente, os Instrumentos de Controle Urbanístico - Estruturação e Ordenamento Territorial do Município de Joinville, partes integrantes do Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Joinville e dá outras providências.

JOINVILLE. SECRETARIA DE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE. **Plano municipal de conservação e recuperação da Mata Atlântica de Joinville**. Joinville, 2020. 94 - 95 p.

LAWLEY, V.; LEWIS, M.; CLARKE, K.; OSTENDORF, B. Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. **Ecological Indicators**, Coimbra, v. 60, p. 1273 - 1283, 2016.

LOVELOCK, C. E.; ELLISON, J. Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change. In: JOHNSON, J. E.; MARSHALL, P. A. Climate change and the Great Barrier Reef: a vulnerability assessment. Great Barrier Reef Marine Park Authority: Townsville, 2007. p. 237-269. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/11017/542>>. Acesso em: 4 abril 2022.

MapBiomas. **O projeto**. 2019. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/o-projeto>>. Acesso em: 16 maio 2020.

MASSOLI, E. V. J.; STATELLA, T.; SANTOS, V. S. Estimativa da fragmentação florestal na microbacia Sepotubinha, Nova Marilândia - MT, entre os anos de 1990 a 2014. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 60, p. 480 - 60, 2016.

MCGARIGAL, K.; ENE, E. **Fragstats. A Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps.** Version 4.2., 2015.

MENDES, C. A. B.; LIMA, W. de P. Análise de impactos ambientais de florestas plantadas, no contexto de bacias hidrográficas: princípios norteadores. **Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, Taubaté, Brasil, p. 263-270, 2007.

NETO, A. M.; BATISTA, L. M.; SOUSA, M. C.; FREITAS, K. M.; ARAÚJO, S. R. Sensoriamento Remoto na Análise de Variáveis Ambientais Influenciadas pela Implantação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (PA). **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 66, p. 823 – 841, 2021.

PMJ - PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Joinville Cidade em Dados.** Joinville, 2020. 06 p.

PMJ - PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Qualidade ambiental em Joinville: Sua ação faz diferença!** Joinville, 2011. 08 p.

REMPEL, R.S., D. K; CARR. A.P. **Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources.** Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario. Version 5.2.0.16, 2015.

RODRIGUES, S. W. P.; FILHO, P. W. M. e Souza. Detecção de Mudanças no Manguezal ao Longo do Estuário do Rio Coreau, Nordeste do Brasil a partir da Classificação Orientada a Objeto em Imagens Orbitais. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 43, n. 3, p. 158 - 169, 2020.

SAFAR, N. V. H.; MAGNAGO, L. F. S.; SCHAEFER, C. E. G. R. Resilience of lowland Atlantic forests in a highly fragmented landscape: insights on the temporal scale of landscape restoration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 470, n. 118183, p. 1 - 10, 2020.

SANTOS, I. V. **Estudo das interações planta-herbívoros em *Laguncularia racemosa* (L.) Gartten (Combretaceae) no manguezal de Maracaípe, Ipojuca, PE.** Mestrado em Biologia Vegetal – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 24, p. 2319 - 2331, 2015.

SILVA, A. Leite; LONGO, R. M.; BRESSANE, A.; CARVALHO, M. F. H. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1254 - 1269, 2019.

Fundação SOS Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020, relatório técnico.** Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. – São Paulo : Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. 73 p.

SOUSA, W. L.; IRFFI, G.; ASEVEDO, M. D. G. de A. Deforestation of the Atlantic Forest in the state of Ceará: analysis of the Environmental Kuznets Curve from panel data, 2011 to 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60(1), n. e229884. p. 1 – 18, 2022.

THIAGO, C. R. L.; MAGALHÃES, I. A. L.; SANTOS, A.R. Identificação de Fragmentos Florestais Potencias para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.02, p. 595 - 612, 2020.

VIDOLIN, G. P.; BIONDI, D. WANDEMBRUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com araucária, Paraná, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.35, n.3, p. 515 - 525, 2011.

VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

Publisher

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

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

Contribuições dos autores

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. A primeira autora Luana Caroline Neitzel ficou especialmente responsável pela aquisição de dados e suas interpretações e análise. O segundo autor Celso Voos Vieira ficou responsável pelo desenvolvimento teórico-conceitual, análise estatística e interpretações dos resultados.

Luana Caroline Neitzel, Agente de defesa ambiental da empresa Cubatão Pesquisas; Bacharela em Ciências Biológicas - Meio Ambiente e Biodiversidade na Universidade da Região de Joinville - Univille. Mestranda em Saúde e Meio Ambiente na Universidade da Região de Joinville - Univille.

Celso Voos Vieira, Possui Graduação em Geografia com Mestrado e Doutorado em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, área de concentração em Utilização e Conservação de Recursos Naturais na linha de pesquisa em Oceanografia Costeira e Geologia Marinha. Atua como docente e pesquisador na Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) no curso de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente e nos curso de graduação de Engenharia Ambiental e Sanitária, Biologia e Biologia Marinha, Engenharia Civil, Arquitetura. Destaca-se a experiência na área das Geociências, com ênfase em Geografia Física e Geologia Costeira, atuando principalmente nos seguintes temas: Geologia e Geomorfologia Costeira, Sensoriamento Remoto, Cartografia, Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas.

Data de recebimento: 15 de julho de 2022

Aceite: 17 de julho de 2023

Publicação: 20 de outubro de 2023