

COMPORTAMENTO SAZONAL DE REMANESCENTES DE FITOFISIONOMIAS DA MATA ATLÂNTICA, BACIA DO RIO DOS SINOS - RS, POR MEIO DE NDVI

Letícia Celise Ballejo da Costa

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS

Email:leticelise@yahoo.com.br

Laurindo Antonio Guasselli

Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS.

Email: laurindo.guasselli@ufrgs.br

RESUMO

Esse trabalho analisa o comportamento sazonal de remanescentes de fitofisionomias da Mata Atlântica, na bacia do Sinos, RS. Para tanto, utilizou-se uma série temporal de imagens de NDVI/MODIS entre 2000 e 2011, bem como, o mapeamento de remanescentes de fitofisionomias da Mata Atlântica. Empregou-se também a Análise por Componentes Principais (ACP). A ACP identificou as imagens de maiores contribuições no inverno e no verão, posteriormente realizou-se o fatiamento dessas imagens em classes de NDVI. Também se elaborou um mapa altimétrico a partir da base digital SRTM. Os resultados mostram que a vegetação mais preservada se concentra nas áreas mais elevadas e íngremes da bacia. Ocorre uma variação do comportamento sazonal de NDVI dos remanescentes florestais influenciado pela variação de temperatura entre as estações do ano. No verão os valores de NDVI aumentam, predominando a classe de 0,8 - 1 de NDVI. Já no inverno, os valores são inferiores, predominantemente 0,6 - 0,7 e 0,7 - 0,8. As baixas temperaturas interferem no comportamento das fitofisionomias, fazendo com que as folhas das árvores caiam, interferindo nos valores de NDVI.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Mata Atlântica. NDVI. Comportamento sazonal da vegetação.

INTRODUÇÃO

As técnicas de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para o mapeamento e avaliação das condições estruturais dos recursos florestais, além do monitoramento dos ciclos anuais da vegetação. Como destaca DeFries e Townshend (1994); Latorre et al. (2007, apud Carvalho Júnior et al., 2008, p. 506), “o comportamento espectro-temporal da vegetação fornece importantes indícios sobre as fitofisionomias presentes através dos diferentes atributos de fenologia das plantas, como a variação da arquitetura da vegetação, presença de pigmentos na planta, entre outros”.

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, os sensores remotos orbitais, foram dotados de características capazes de fornecer parâmetros precisos para monitorar continuamente os recursos florestais. Um exemplo é o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer*) a bordo do satélite Terra que tem se destacado como um importante recurso no estudo da dinâmica da vegetação.

Um dos produtos fornecidos pelo MODIS é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Baptista e Munhoz (2009, p. 1072) "ressaltam que o NDVI é um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de energia eletromagnética na região do vermelho utilizada na fotossíntese". Esse índice foi desenvolvido por Rouse et al. (1973) e é calculado a partir da seguinte equação:

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$$

Onde: NDVI - Índice de Vegetação de Diferença Normalizada; IVP - Infravermelho próximo; V - Vermelho.

Os valores de NDVI variam de -1 a 1, onde normalmente superfícies com alguma vegetação apresentará um valor que varia de 0 a 1. Já para superfícies como água e nuvens o valor geralmente é inferior a zero. A aplicação do NDVI em florestas possibilita a análise do seu comportamento sazonal, o diagnóstico de mudanças espaço-temporais e o monitoramento de parâmetros fenológicos.

O bioma Mata Atlântica possui uma das florestas mais ricas em biodiversidade de plantas no Planeta. Entretanto, apesar da grande diversidade florística e fisionômica é um dos biomas mais ameaçados do país, restando apenas fragmentos desta outrora extensa área florestada.

O Estado do Rio Grande do Sul, assim como no restante do país, foi profundamente alterado no que se refere ao Bioma Mata Atlântica (MARCUIZZO et al., 1998). Segundo dados da Fundação SOS Mata Atlântica/INPE de 2013, no Rio Grande do Sul, a Mata Atlântica ocupava originalmente uma área de 13.836.988 ha, cerca de 50% do território do estado, atualmente restam apenas 7,9% de remanescentes florestais.

Dados obtidos por análise temporal a partir de imagens SPOT, dos anos de 2002 e 2007, revelaram um decréscimo de 11,88% no total de área coberta por remanescentes do bioma Mata Atlântica no Planalto Meridional do RS, onde se destacam as formações Floresta Ombrófila Mista (Mata de Araucária), Floresta Estacional Semidecidual e Formações Florestais Secundárias, além da Estepe Gramíneo Lenhosa (GUASSELLI et al. 2009).

Diante disso, torna-se relevante desenvolver estudos que envolvam o mapeamento, a análise temporal e a compreensão das dinâmicas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, visando principalmente à detecção das alterações antrópicas que o bioma vem sofrendo.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica do rio dos Sinos que originalmente possuía cerca de 75% de sua área coberta pelas fitofisionomias da Mata Atlântica (RADAM BRASIL), hoje apresenta apenas remanescentes fragmentados, correspondendo a 18% da área total da bacia (SOS MATA ATLÂNTICA/IBGE, 2013). Esses remanescentes localizam-se principalmente nas encostas e nos fundos dos vales, locais com dificuldade de acesso e/ou baixa aptidão agrícola. A alteração da Mata Atlântica na bacia ocorre desde a chegada dos primeiros colonizadores alemães na região. A floresta começou a ser desmatada para dar lugar à agricultura, sendo que, além da ocupação agrícola com o arroz e a pecuária, áreas florestais foram drenadas e aterradas para o estabelecimento de loteamentos urbanos e industriais (OLIVEIRA, 2013).

Existem alguns estudos que envolvem a análise da vegetação na bacia do Sinos com auxílio de produtos de sensoriamento remoto (PAULINO, 2014; COSTA et al., 2013; MOURA et al., 2013; AZEVEDO, 2012; WEISSHEIMER, 2007; COUTO, 2007), porém em geral são pontuais

ou não analisam a vegetação como o principal foco do estudo. São raros os estudos que englobem uma análise temporal ampla utilizando índices de vegetação do sensor MODIS (COSTA e GUASSELLI, 2017). Diante disso, com o intuito de contribuir com os estudos sobre a Mata Atlântica na referida bacia hidrográfica, o presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento sazonal de remanescentes de fitofisionomias da Mata Atlântica, na bacia do rio dos Sinos - RS com o auxílio de imagens de NDVI do sensor MODIS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos se localiza na região nordeste do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas 29°20' a 30°10' de latitude Sul e 50°15' a 51°20' de longitude Oeste (Figura 01). De acordo com a FEPAM/RS, possui uma área de 3.820 km², com uma população aproximada de 975.000 habitantes, sendo que 90,6 % ocupam as áreas urbanas e 9,4 % estão nas áreas rurais. Esta bacia abrange municípios como Campo Bom, Canoas, Gramado, Igrejinha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Taquara e Três Coroas. Os principais corpos de água são os rios: Rolante, da Ilha, Paranhana e o rio dos Sinos.

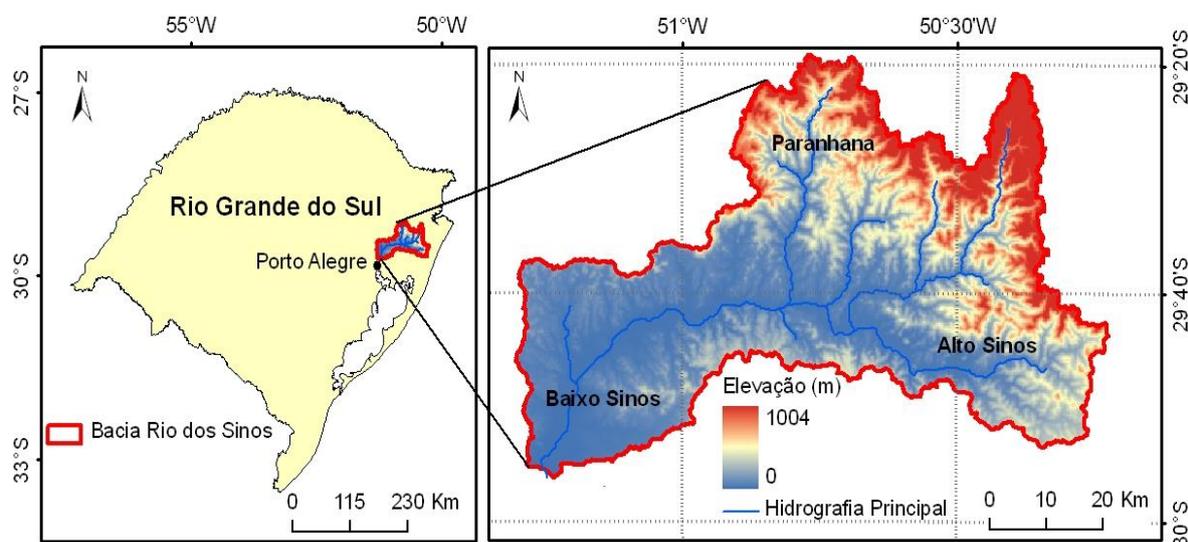


Figura 01: Localização e relevo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos - RS.

Fonte: BRUBACHER et al. (2012, p.02).

De acordo com a classificação do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), os remanescentes de Mata Atlântica estão distribuídos na bacia dos Sinos em três principais fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e Estepe (Figura 02). A Floresta Estacional Semidecidual possui as classes Terras Baixas, Submontana e Montana, diferenciadas pela a sua localização altimétrica.

A Floresta Estacional Semidecidual se caracteriza pela dupla estacionalidade climática, representada no Estado, pela seca fisiológica provocada pelas baixas temperaturas do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C. A percentagem das árvores que perdem as folhas no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50%. A classe das Terras Baixas está presente, na bacia dos Sinos, geralmente, em áreas de 5 a 30m de altitude; a Submontana situa-se entre 30 e 400m; e a Montana entre 400 a 1.000m (IBGE, 2012).

Na borda norte e nordeste da bacia, encontram-se as áreas de Floresta Ombrófila Mista, que se caracterizam por apresentar o estrato superior dominado pela *Araucária angustifolia*, floresta típica do Planalto Meridional, ocorrendo no RS em altitudes entre 500 m ao oeste a 1.000 m a leste.

Em algumas áreas no extremo norte da bacia dos Sinos, há a ocorrência da fitofisionomia Estepe, conhecida no Rio Grande do Sul como Campos de Cima da Serra ou Campos de Altitude (MARCUIZZO et al., 1998). Eles desenvolvem-se em altitudes superiores a 800m acima do nível do mar, tanto em áreas de relevo ondulado como forte ondulado.

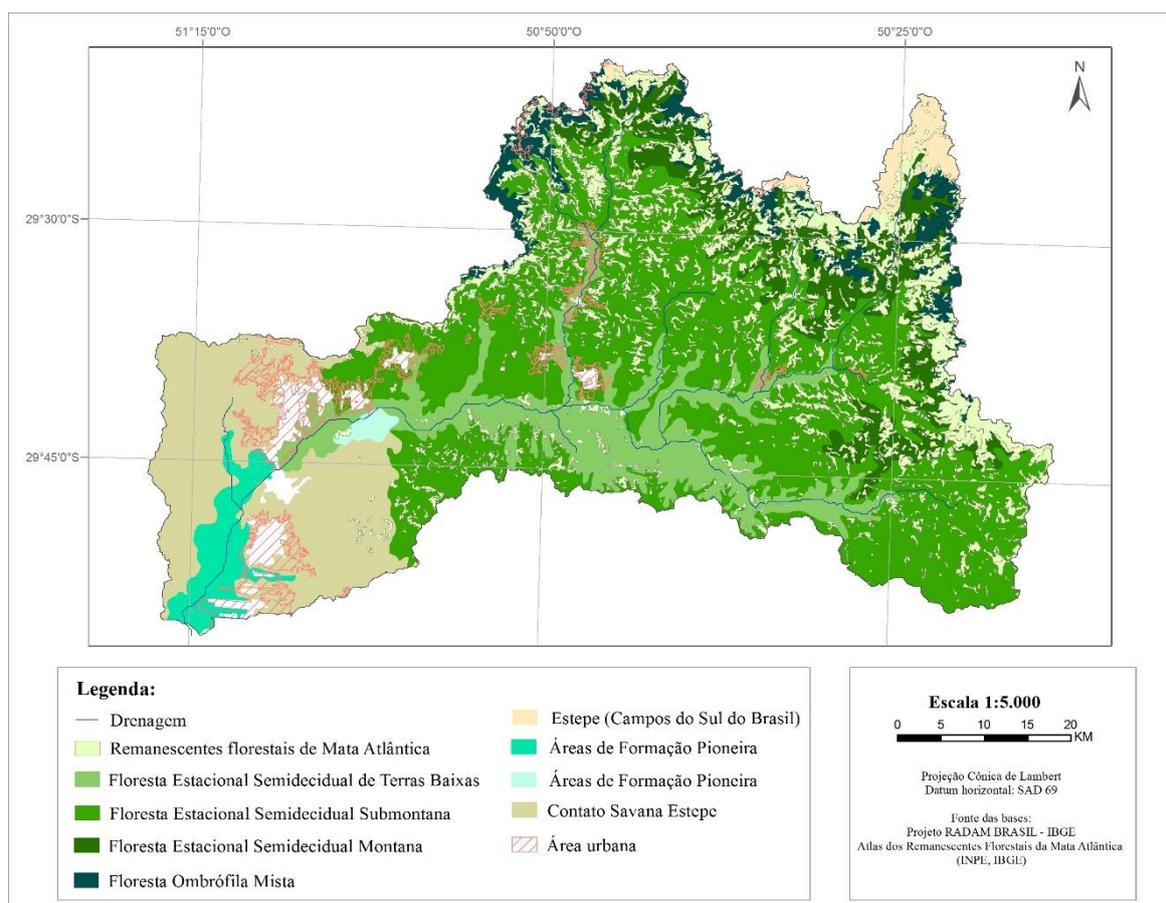


Figura 02: Mapa das fitofisionomias do bioma Mata Atlântica, bacia dos Sinos - RS.
Elaboração: Os autores.

A porção oeste da bacia onde a vegetação é classificada em “Áreas de formação pioneira” e “Contato Savana Estepe” não corresponde a Mata Atlântica, sendo assim uma área de transição.

As fitofisionomias da Mata Atlântica apresentadas na Figura 2, representam as áreas originais, que correspondiam a 2929,14km², ou seja, 75% da área da bacia (RADAM Brasil). Atualmente essas fitofisionomias são representadas pelos remanescentes que correspondem apenas 692,03 km², ou seja, 18% da área da bacia (SOS MATA ATLÂNTICA/IBGE, 2013). Destaca-se, que apesar da grande supressão florestal ao longo dos anos, a bacia do Sinos apresenta um percentual superior de remanescentes quando se compara com o percentual total do estado do RS de 7,9 %.

Aquisição e análise dos dados NDVI/MODIS

As imagens NDVI/MODIS foram adquiridas gratuitamente através do site da NASA, <http://reverb.echo.nasa.gov/>. O produto MODIS selecionado foi o MOD13, do satélite TERRA, imagens de 16 dias, com resolução espacial de 250m (2 bandas) e órbita h11v9.

As imagens de NDVI do sensor MODIS são disponibilizadas no formato HDF e com projeção sinusoidal. A reprojeção e o recorte das imagens de acordo com a área de estudo, foram realizados no *software* IDRISI (*Clark Labs*©). Convertem-se para o sistema UTM (*Universal Transversa de Mercator*), Datum WGS84, fuso 22 sul.

Os valores de NDVI das imagens MODIS, não são disponibilizados na escala entre -1 e 1, devido à compactação necessária dos arquivos. Dessa forma, foi necessário realizar a divisão por 10.000 de cada uma das imagens, para adaptar com a escala de valores do NDVI. Esse procedimento também foi realizado no IDRISI.

Para analisar o comportamento sazonal do NDVI das fitofisionomias da Mata Atlântica foi utilizada uma série temporal de imagens de NDVI/MODIS que engloba um período de 12 anos, do ano 2000 até 2011. Essa série temporal foi organizada considerando as estações de inverno e de verão, o total de imagens de inverno utilizadas foram 65 e de verão foram 50 imagens.

Nesse conjunto de imagens foi aplicada a técnica de Análise por Componentes Principais (ACP), a qual gera um novo conjunto de N imagens descorrelacionadas. Este novo conjunto de imagens apresenta as seguintes características: a primeira componente, denominada de 1ª Componente Principal (CP1), contém as informações que são comuns a todos os conjuntos de dados de entrada, a 2ª Componente Principal (CP2), contém as feições espectrais mais significantes do conjunto de dados e assim por diante. Portanto, as primeiras componentes contêm as feições espectrais mais significativas enquanto as CP de ordens mais altas possuem as informações menos significativas (CROSTA, 1992). Trabalhos têm empregado a ACP em estudos relacionados com a vegetação e NDVI. Um exemplo é o estudo realizado por Gurgel (2000), que utilizou a ACP para analisar a variabilidade espaço-temporal do NDVI sobre o Brasil, constatando a potencialidade dessa técnica na caracterização das grandes feições da vegetação que predominam no território brasileiro.

A partir da ACP foi possível identificar as imagens de maiores contribuições no inverno e no verão da série temporal, as datas 14/09/2000 e 02/02/2005, ambas integrando a CP1. Posteriormente foi realizado o fatiamento dessas imagens em classes de NDVI. O intervalo entre as classes foi definido visualmente com base no histograma da imagem, levando em conta a melhor representação visual da variação sazonal do NDVI.

Posteriormente, foram selecionados três polígonos de remanescentes de cada fitofisionomia da Mata Atlântica (Figura 03), e calculado no software ENVI a média de seus pixels para 211 datas de imagens. Esses dados foram plotados em gráficos para representar a variação temporal do NDVI para cada amostra de fitofisionomia ao longo dos 12 anos da série temporal. A partir desses gráficos foram produzidos os gráficos das médias anuais sazonais (inverno e verão).

Os polígonos dos remanescentes florestais de cada fitofisionomia foram obtidos a partir dos dados do “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica” (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2013), em formato *shapefile*. Eles foram selecionados aleatoriamente procurando-se escolher áreas mais homogêneas, com bordas longe de áreas de transição de uma fitofisionomia para outra. As amostras da fitofisionomia Estepe foram definidas visualmente através de imagens de alta resolução espacial, disponíveis no aplicativo Google Earth.

Também foi elaborado um mapa altimétrico a partir dos dados de radar adquiridos por meio do TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Valeriano, 2005; Valeriano, 2008) - com 30m de resolução espacial, provenientes do refinamento dos dados de radar da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) - modelo de superfície com 90m de resolução espacial - disponível no site da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Assim, a imagem SRTM foi classificada em faixas altimétricas com o auxílio do *software* Arcgis 9.3.

Para complementar a análise proposta no presente trabalho em julho de 2012 realizou-se um trabalho de campo para reconhecimento da área e do padrão de ocupação da Mata Atlântica, principalmente das florestas. Percorreu-se a área centro-norte da bacia dos Sinos, passando por municípios como Rolante, Taquara, Três Coroas e São Francisco de Paula. Visitou-se áreas mais interioranas com predomínio de paisagens naturais para poder realizar o registro fotográfico da vegetação.

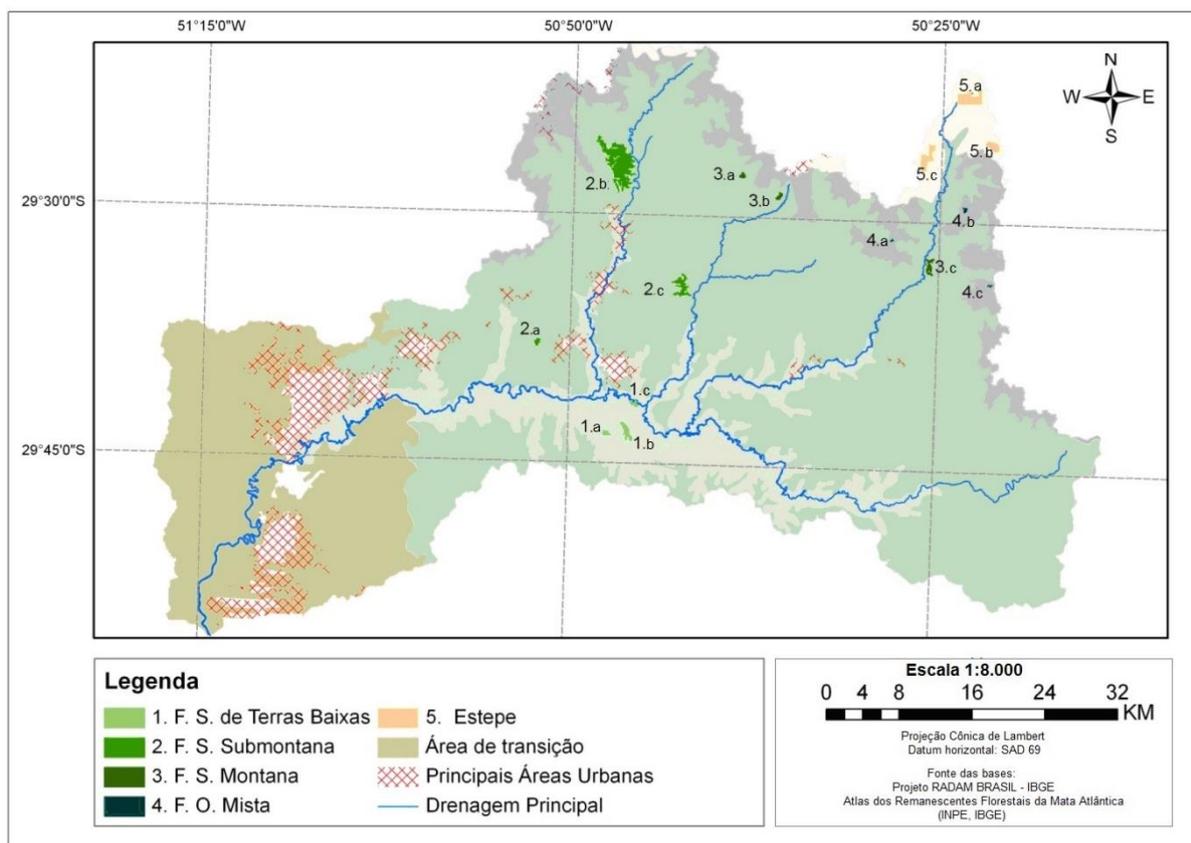
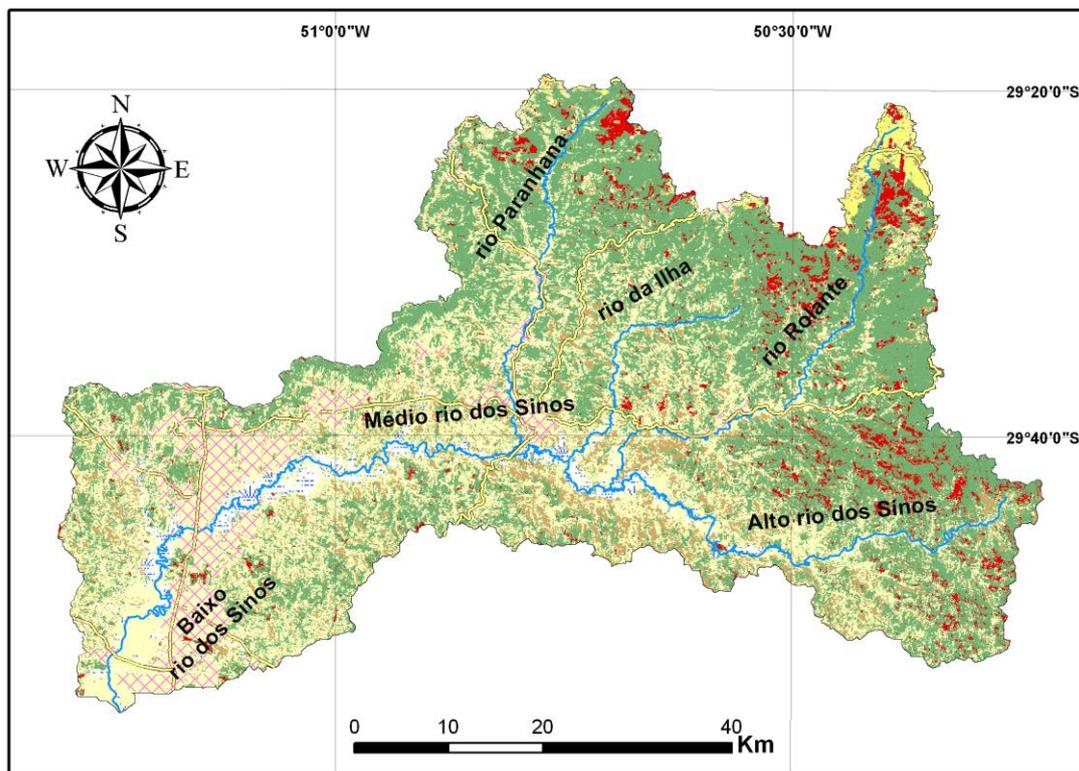


Figura 03: Mapa de localização das amostras de remanescentes de Mata Atlântica para cada fitofisionomia, bacia dos Sinos - RS. Elaboração: Os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica atualmente representam aproximadamente apenas 18% da área total da bacia dos Sinos. De acordo com estudos já realizados, os principais usos e ocupação do solo que substituem a vegetação natural são as áreas urbanas, as atividades agrícolas e a silvicultura (PAULINO, 2014; COSTA et al., 2013; LIMA, 2011).

A figura 4 apresenta um Mapa do Uso do Solo do ano de 2011 (LUERCE et al., 2014). Nele pode-se observar que a vegetação se concentra principalmente na porção nordeste a sudeste da bacia. Há também fragmentos espalhados na região central próximo ao Médio rio dos Sinos. As figuras 05 e 06 apresentam fotos de áreas onde a vegetação está localizada.



Legenda

-  Principais Rodovias
-  Áreas Urbanas
-  Principais Linhas de Drenagem
-  Bacia hidrográfica do rio dos Sinos

Uso do Solo

-  Campos
-  Silvicultura
-  Área Agrícola
-  Pastagens
-  Áreas Úmidas ou de Banhado
-  Vegetação

Figura 04: Mapa do Uso do Solo de 2011, bacia dos Sinos - RS. Fonte: LUERCE et al., 2014.

Em primeiro plano na Figura 05, observa-se uma área destinada a atividades agrícolas e em segundo plano, em relevo mais elevado, área de Mata Atlântica com interferência de silvicultura. Na Figura 06 a Mata Atlântica também se localiza na parte mais elevada e acidentada do terreno. A área destacada pelo círculo em vermelho refere-se à silvicultura.

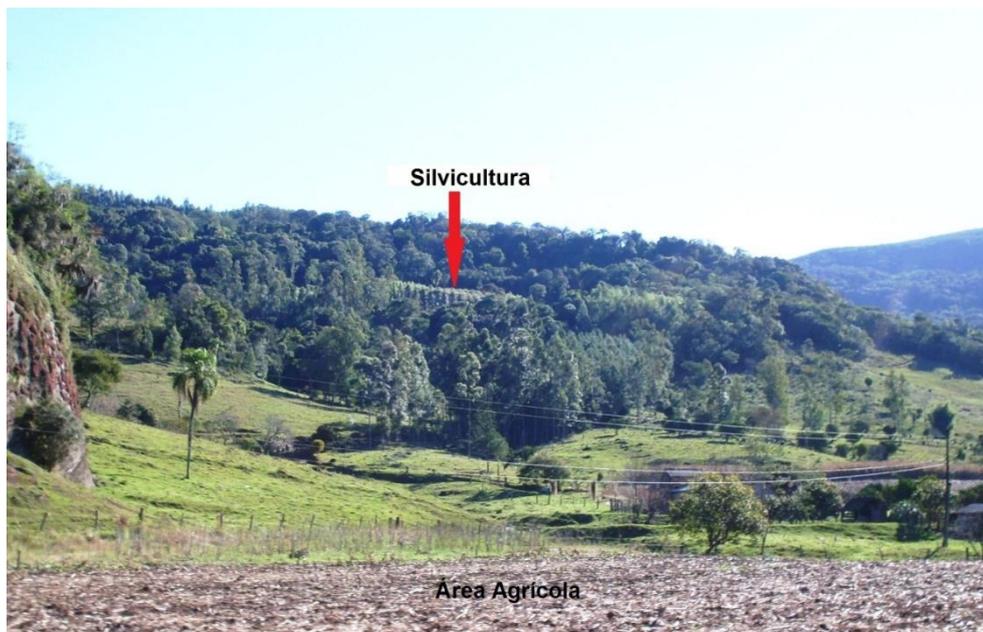


Figura 05: Área agrícola, silvicultura e vegetação nativa, bacia dos Sinos - RS.
Fonte: Trabalho de campo, 2012.



Figura 06: Mata Atlântica em áreas de encostas. Em destaque área de silvicultura.
Município de Rolante, RS. Fonte: Trabalho de campo, 2012.

Desse modo, a vegetação que se apresenta mais preservada concentra-se nas áreas mais elevadas e íngremes da bacia, nas encostas e topos de morros. Para demonstrar melhor esse processo, a Figura 07 apresenta os remanescentes de Mata Atlântica sobrepostos sobre o Mapa Altimétrico da bacia.

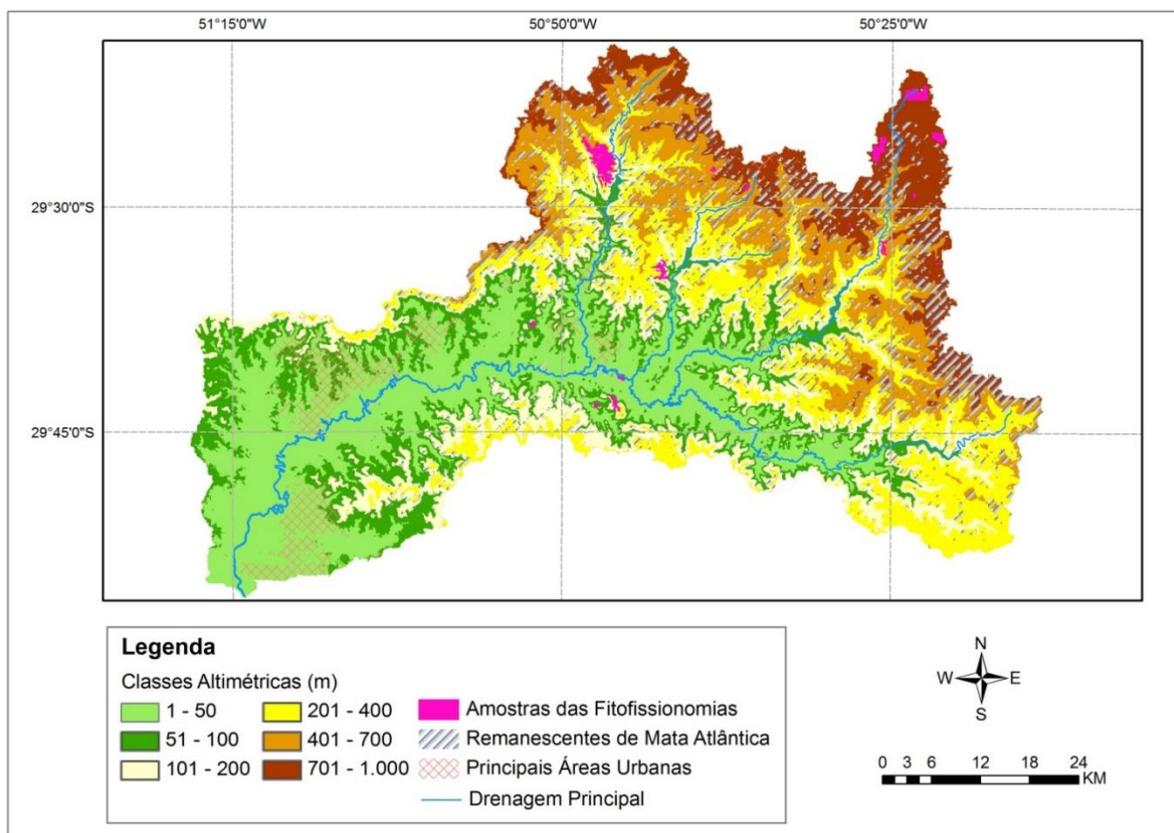


Figura 07: Remanescentes de Mata Atlântica sobre o Mapa Altimétrico, bacia dos Sinos RS. Fonte: Atlas dos remanescentes da Mata Atlântica e imagem SRTM. Elaboração: Os autores.

De acordo com a figura 07, a maior parte dos remanescentes se localiza nas altitudes mais elevadas da bacia, onde se apresentam em áreas mais contínuas. A Tabela 01 apresenta a área e o percentual dos remanescentes localizados em cada classe altimétrica da bacia. Nota-se que a classe que engloba a maior parte da vegetação nativa é a correspondente a 401 - 700m de altitude. E a classe com menor presença de vegetação nativa é a de 51 - 100m de altitude.

Paulino (2014), por meio de uma análise temporal do uso e ocupação do solo da bacia dos Sinos, constatou que as porções que apresentam maior cobertura florestal são as porções norte e leste do Médio e o Alto Sinos – a partir da faixa altimétrica de 401m - onde a predominância das áreas cobertas por florestas se encontra em regiões com grande variação altimétrica com trechos de declividade elevada e não próprios para a agricultura. No mesmo estudo foi constatado que em termos percentuais o Baixo Sinos apresenta uma maior proporção de áreas agrícolas.

De acordo com Lima (2011, p. 49),

“ Um dos fatos que justificam o predomínio de áreas de vegetação no alto curso da bacia é a topografia acidentada, que apresenta vales escarpados, o que dificulta, em parte, as práticas agropecuárias. Já no curso baixo da bacia, a topografia mais plana, facilitou o desenvolvimento da atividade agropecuária e a formação de sítios urbanos. ”

Classes altimétricas (m)	Área dos remanescentes (km²)	Área total dos remanescentes (%)	Área dos remanescentes em relação à da bacia (%)
1 - 50	11,18	1,94	0,3
51- 100	10,00	1,78	0,26
101 - 200	61,04	10,6	1,6
201 - 400	159,56	27,75	4,17
401 - 700	169,44	29,45	4,43
700 - 1000	163,90	28,5	4,3

Tabela 01: Área e percentual dos remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica de acordo com a classe altimétrica.

As figuras 08 e 09 apresentam as imagens MODIS da bacia dos Sinos fatiadas em classes de NDVI para as estações de inverno e verão, respectivamente. Ao realizar-se uma análise visual, destaca-se que as imagens de NDVI demonstram um comportamento diferenciado da vegetação no inverno e no verão. De acordo com as imagens 08 e 09 há uma predominância no inverno das classes de menores valores de NDVI.

Na porção leste e sudeste da bacia, onde se localiza a Floresta Semidecidual Montana, a Floresta Ombrófila Mista e uma parte da Semidecidual Submontana, observa-se que no verão os valores de NDVI aumentam, predominando a classe de 0,8 - 1 de NDVI. Já no inverno, nessas mesmas áreas os valores são menores, predominando as classes de 0,6 - 0,7 e 0,7 - 0,8 de NDVI. Em um estudo Roseback et al. (2010, p. 412), verificaram que a "Floresta Estacional Semidecidual apresenta valores altos de NDVI em todas as estações (entre 0,7 e 0,8), com queda nos meses de julho a setembro (inverno)."

Na área correspondente a fitofisionomia Estepe (Campos de Cima da Serra), os valores de NDVI também se diferenciam no inverno e verão. De acordo com a Figura 08 no inverno há ocorrência das classes de -0,2 - 0,2 e 0,2 - 0,4. Já no verão predomina a classe de 0,4 - 0,6 de NDVI (Figura 09).

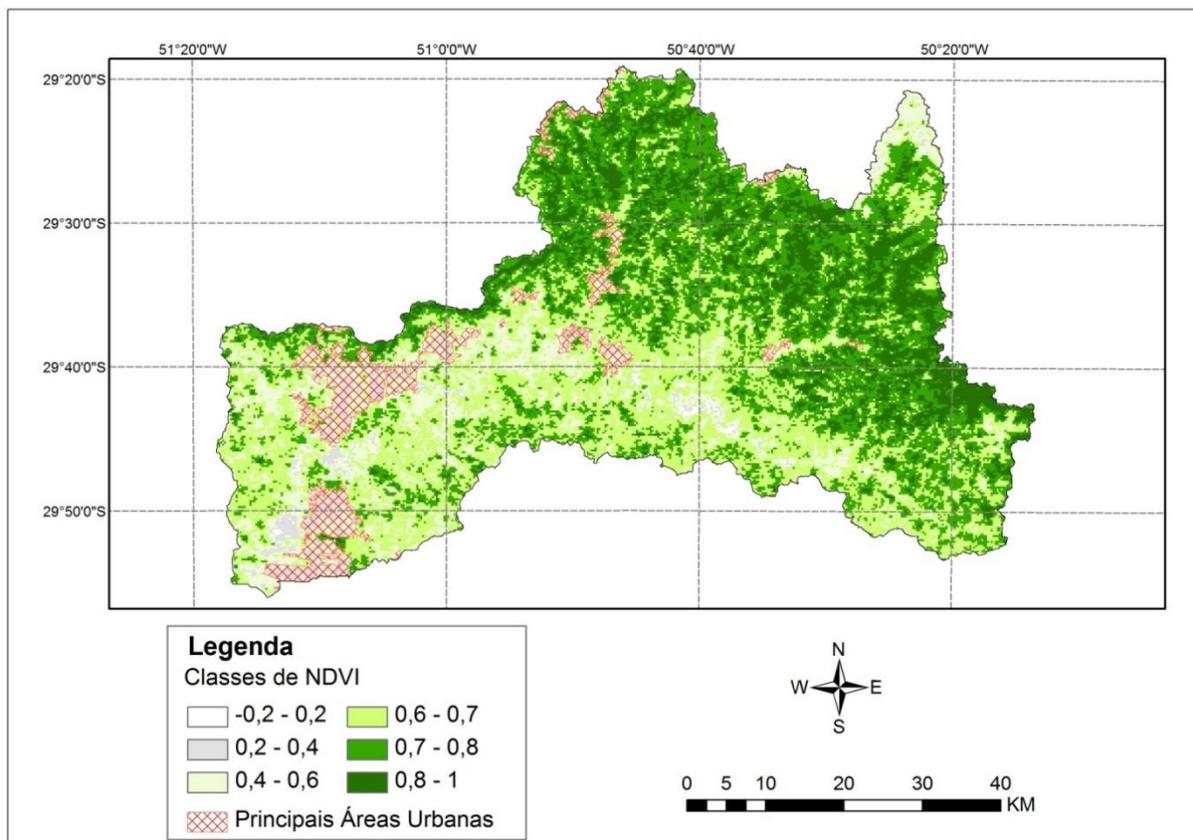


Figura 08: Classes de NDVI/MODIS, inverno (14/09/2000), bacia dos Sinos - RS.

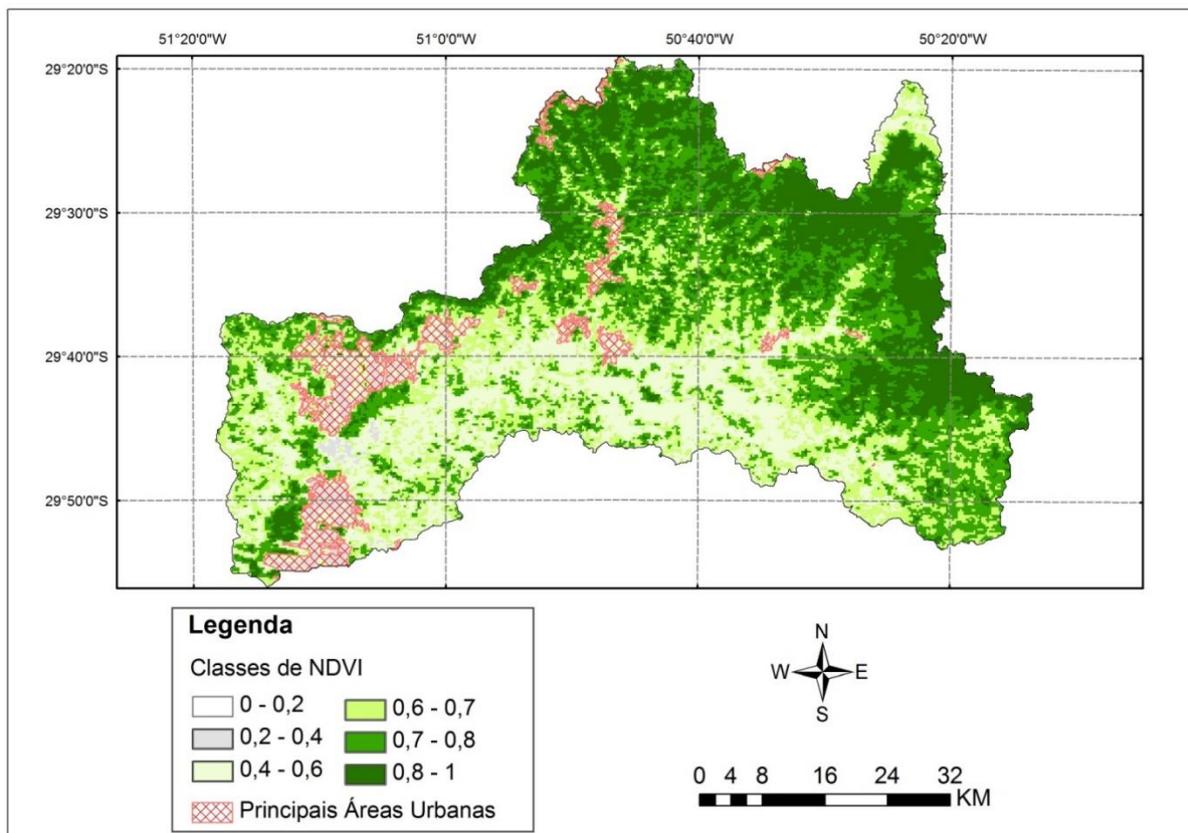


Figura 09: Classes de NDVI/MODIS, verão (02/02/2005), bacia dos Sinos - RS.

Essa redução dos valores de NDVI no inverno pode se justificar pela dinâmica da vegetação (CLARO e GUASSELLI, 2017; CORDEIRO et al., 2017; DELLA NORA e MARTINI, 2010; ROSEMBACK et al., 2010). As baixas temperaturas interferem no comportamento das fitofisionomias, a Floresta Estacional Semidecidual com maior abrangência na bacia possui um percentual de 20 a 50% de espécies caducifólias, ou seja, que perdem suas folhas nessa época de frio intenso e conseqüentemente interferindo nos valores de NDVI (ROSEMBACK et al., 2010).

Segundo Cordeiro et al., (2017), as áreas que apresentam vegetação caducifólia o pico mínimo de NDVI ocorre no inverno, quando as temperaturas são baixas e a vegetação florestal encontra-se em repouso vegetativo, com perda parcial ou total das folhas.

De acordo com Dalla Nora e Martini (2010), durante a estação mais severa (inverno), a perda de biomassa foliar reduz a oferta de pigmentos fotossintetizantes e faz com que a reflectância na faixa do vermelho seja ligeiramente superior à observada na estação anterior. Nesta condição, a amplitude de variação entre os comprimentos de onda é reduzida e determina os valores mais baixos registrados pelo NDVI durante inverno.

Já no verão os altos valores de NDVI ocorrem devido à vegetação encontrar-se no auge do vigor, com produção máxima de biomassa verde (CORDEIRO et al., 2017; DELLA NORA e MARTINI, 2010). Nos meses que antecedem essa estação, ocorrem os maiores índices pluviométricos anuais na bacia dos Sinos.

Durante a estação mais favorável ao desenvolvimento vegetativo, ocorre um contraste marcante entre a região espectral do vermelho e infravermelho próximo. A maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes absorve com maior intensidade a radiação na faixa do vermelho e uma alta reflectância é registrada na faixa do infravermelho próximo em decorrência da incapacidade dos estratos vegetativos em absorver ou transmitir esse tipo de radiação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). Essa característica determina valores mais expressivos de NDVI durante o verão, demonstrando maior vigor vegetativo.

Desse modo as áreas de remanescentes da Mata Atlântica na bacia são marcadas principalmente pelo comportamento sazonal das suas fitofisionomias. O inverno e o verão devido as suas temperaturas são as estações que mais influenciam nessa sazonalidade. Cordeiro et al. (2017); Della Nora e Martini (2010) ao avaliarem a dinâmica sazonal de fitofisionomias florestais decídua e semidecíduas no Rio Grande do Sul, encontraram padrão fenológico semelhante ao do presente estudo: menor NDVI nos meses de junho e julho e maior nos meses de verão.

A Figura 10 evidencia esse comportamento sazonal, a partir dos gráficos das médias anuais de NDVI do inverno e verão das três amostras de cada fitofisionomia. Com exceção do ano de

2005, em todos os anos da série temporal os valores de NDVI do verão ficaram acima dos valores de NDVI de inverno.

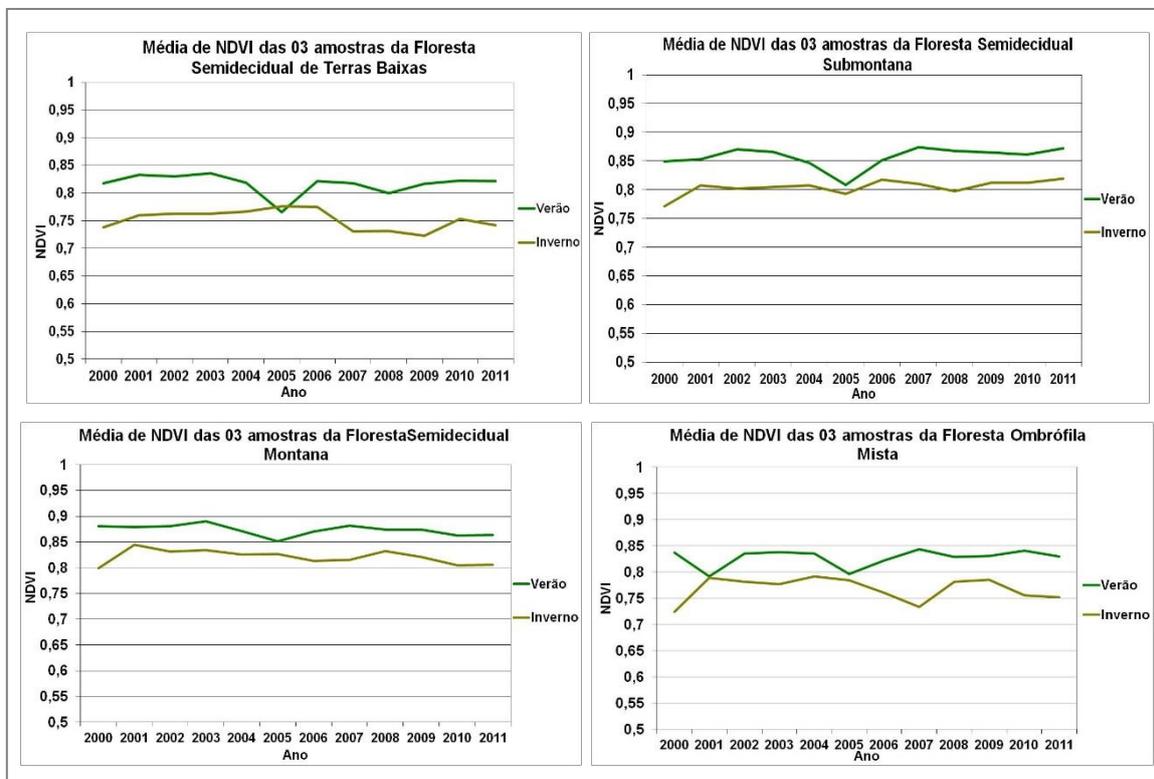


Figura 10: Médias anuais de NDVI das três amostras de cada fitofisionomia, inverno e verão, bacia dos Sinos – RS.

A exceção do ano de 2005 pode-se ser explicada pela precipitação pluvial ocorrida (Tabela 02). O verão de 2005 apresenta os menores índices pluviométricos na bacia dos Sinos durante a série temporal analisada. Observa-se na Tabela 02 que na maioria dos anos entre 2000 a 2011, a precipitação média nos meses correspondente ao verão varia de 123 a 185 mm, com exceção do ano de 2005, que apresenta uma considerável queda nos valores de precipitação, apresentando aproximadamente uma média de 80 mm nessa estação.

A falta de chuva por longos períodos influencia diretamente no comportamento da vegetação, ainda mais aliada ao aumento das temperaturas do verão, culminado assim, na diminuição dos valores de NDVI no verão de 2005.

Ano	Precipitação média no verão (mm)
2000	123,53
2001	182,37
2002	129,30
2003	193,72
2004	123,30
2005	79,27
2006	134,15
2007	174,20
2008	132,22
2009	132,22
2010	181,32
2011	184,75

Tabela 02: Precipitação média no verão, período 2000 a 2011, bacia dos Sinos – RS.
Fonte: Dados do satélite TRMM, disponíveis em LAF/INPE Séries Temporais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da série temporal de imagens de NDVI do sensor MODIS com resolução espacial moderada e alta resolução temporal, se mostrou eficaz para analisar a dinâmica temporal dos remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. Com isso, fica evidente o potencial de séries temporais de NDVI/MODIS para o monitoramento sazonal contínuo da vegetação.

As fitofisionomias remanescentes da Mata Atlântica na bacia do rio dos Sinos concentram-se nas áreas mais elevadas e íngremes da bacia, como nas encostas e topo de morros. E as principais atividades que alteram as áreas naturais de vegetação são as atividades agrícolas e mais recentemente a silvicultura.

O comportamento sazonal do NDVI é influenciado principalmente pela variação das temperaturas entre as estações do ano. A característica semidecídua, decorrente das limitações térmicas impostas às fitofisionomias, altera a dinâmica espectral da vegetação e, dessa forma, a amplitude de variação do NDVI. A precipitação até pode vir a interferir, mas aliada com as temperaturas.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Rodrigo Ferreira de. **Análise de áreas susceptíveis à erosão na bacia hidrográfica do rio dos Sinos – RS**. 2013, Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 114p.
- BRUBACHER, João Paulo; OLIVEIRA, Guilherme Garcia; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: **CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS**. 2012, Rio Claro. Anais, 2012, p.01-12.
- CORDEIRO, Ana Paula Assumpção; BERLATO, Moacir Antônio; FONTANA Denise Cybis; MELO, Ricardo Wanke de; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; FIOR, Claudimar Sidnei. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 883-896, 2017.
- CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio de; SAMPAIO, Cárta da Silva; SILVA, Nilton Correia da; COUTO JÚNIOR, Antonio Felipe, GOMES Roberto Arnaldo Trancoso; CARVALHO, Ana Paula Ferreira de, SHIMABUKURO, Yozio. Edemir. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n. 4, p. 505–517. 2008.
- CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio de; HERMUCHE, Potira Meirelles; GUIMARÃES, Renato Fontes. Identificação regional da Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Paraná a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v.24, n. 3, 319–332. 2006.
- COSTA, Letícia Celise Ballejo da; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Dinâmica sazonal de remanescentes da Mata Atlântica, a partir de séries temporais NDVI/MODIS. **Revista GEO UERJ**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 214-239, 2017.
- COSTA, Lucélia Jacques da; MOURA Rafael Gomes de; OLIVEIRA, Juliano Morales de. Análise multitemporal das mudanças do uso do solo ocorridas entre os anos 1986 e 2010 na bacia do rio dos Sinos – Rio Grande Sul – Brasil. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 16, 2013, Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 7438-7444.
- COUTO, Odir Fernando Vidal. **Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para Bacias Hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de geoprocessamento**. 2007, Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 173p.
- CROSTA, Álvaro Penteado. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp, 1992.
- DALLA NORA, Elói Lennon; MARTINI, Denise Zanatta. Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 6 n. 1, p. 97-108, 2010.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 2011 a 2012 - Relatório técnico**. 2013. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_20112012_relatorio_tecnico_2013final.pdf>. Acesso em 02. jul. de 2013.
- GUASSELLI, Laurindo Antonio; OLIVEIRA, Guilherme; SALDANHA, Dejanira Luderitz; CUNHA, Maria do Carmo Lima; DUCATI, Jorge Ricardo. Identificação de remanescentes do bioma Mata Atlântica e análise temporal a partir de imagens SPOT, município de Gramado - Rio Grande do Sul. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14, 2009, Natal: INPE, 2009, p. 2745-2751.

GURGEL; Helen da Costa; FERREIRA, Nelson Jesus; LUIZ, Alfredo J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n.1, p. 85-90, 2003.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE. **Levantamento de Recursos Naturais, volume 33**. Projeto RADAM Brasil - Folha SH.22 Porto Alegre e partes da Folha SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, IBGE. 1986, 796 p.

FRANCHITO, Sérgio Henrique; RAO, Vadlamudi Brahmananda; VASQUES, Ana Carolina; SANTO, Clovis M. E.; CONFORTE, Jorge Conrado. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D02105, p. 1-9, 2009.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER/RS – FEPAM. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp>. Acesso em 04 maio 2012.

LIMA, Ednardo Correia. **Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos/RS**. 2011, Trabalho de conclusão do curso de Geografia. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 75p.

MARCUZZO, Silvia; PAGEL, Silvia. Mara; CHIAPPETTI, Maria Isabel Stumpf. **A reserva da biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul: situação atual, ações e perspectivas**. Porto Alegre: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 1998. 60p. (Caderno, 11)

MOURA Rafael Gomes de; ANTONETTI, Débora Alessandra; SCHULZ Uwe Horst. Quantificação da mata ciliar dos três principais afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 5008-5015.

OLIVEIRA, Letícia Celise Ballejo de. **Dinâmica temporal do NDVI de remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica, bacia do rio dos Sinos, RS**. 2013, Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 95p.

PAULINO, Maciel Batista. **Diagnóstico da relação entre o uso do solo e a qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, Novo Hamburgo, RS, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. 2014, Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 168p.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yozio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

ROSEMBACK, Roberta; FERREIRA, Nelson Jesus; SHIMABUKURO, Yozio Edemir; CONFORTE, Jorge Conrado. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**. Edição Especial 2, n. 62, p. 401-416, 2010.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 Symposium, 3., 10-14 December, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, NASA SP- 351, p.309-317, 1973.

WEISSHEIMER, Cristine. **A Degradação ambiental no Arroio Grande, Nova Hartz, RS**. 2007, Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 170p.

SEASONAL BEHAVIOR OF REMAINING OF PHYTOPHYSIOGNOMIES OF THE ATLANTIC FOREST, SINOS RIVER BASIN - RS, THROUGH OF NDVI

ABSTRACT

This work analyzes the seasonal behavior of remnants of phytophysiognomies of the Atlantic Forest, in the Sinos basin, RS. For that, a temporal series of NDVI/MODIS images was used between 2000 and 2011, as well as the mapping of remnants of phytophysiognomies of the Atlantic Forest. Principal Components Analysis (PCA) was also used. The ACP identified the major contributions in winter and

summer. Subsequently, the slicing of these images was performed in NDVI classes. An altimetric map was also constructed from the SRTM digital base. The results show that the most preserved vegetation is concentrated in the highest and steep areas of the basin. There is a variation in the NDVI seasonal behavior of forest remnants influenced by the temperature variation between the seasons. In the summer NDVI values increase, predominating the NDVI class of 0.8 - 1. In winter, the values are lower, predominantly 0.6-0.7 and 0.7-0.8. The low temperatures interfere in the behavior of the phytophysionomies, causing the leaves of the trees to fall, interfering in the NDVI values.
KEYWORDS: Remote sensing. Atlantic forest. NDVI. Seasonal behavior of vegetation.

COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DE LA VEGETACIÓN DE LA MATA ATLÁNTICA, CUENCA DEL RIO DOS SINOS, RS, A TRAVÉS DE NDVI

RESUMEN

Este trabajo analiza el comportamiento estacional de remanentes de fitofisionomías de la Mata Atlántica, en la cuenca del Sinos, RS. Para ello, se utilizó una serie temporal de imágenes de NDVI / MODIS entre 2000 y 2011, así como el mapeamiento de remanentes de fitofisionomías de la Mata Atlántica. Se empleó también el Análisis por Componentes Principales (ACP). La ACP identificó las imágenes de mayores contribuciones en invierno y verano. Posteriormente se realizó el reajuste de esas imágenes en clases de NDVI. También se elaboró un mapa altimétrico a partir de la base digital SRTM. Los resultados muestran que la vegetación más preservada se concentra en las áreas más altas y empinadas de la cuenca. Se produce una variación del comportamiento estacional de NDVI de los remanentes forestales influenciado por la variación de temperatura entre las estaciones del año. En el verano los valores de NDVI aumentan, predominando la clase de 0,8 - 1 de NDVI. En el invierno, los valores son inferiores, predominantemente 0,6 - 0,7 y 0,7 - 0,8. Las bajas temperaturas interfieren en el comportamiento de las fitofisionomías, haciendo que las hojas de los árboles caigan, interfiriendo en los valores de NDVI.

PALABRAS CLAVE: Detección remota. Mata Atlántica. NDVI. Comportamiento estacional de la vegetación.