

Análise da Dinâmica Florestal da Serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro através de Regressão Ponderada Geograficamente - GWR

Felipe Mendes Cronemberger^{1,2}
Raul Sanchez Vicens²

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Caixa Postal 96 - 13416-000 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
felipe.cronemberger@ibge.gov.br

² Universidade Federal Fluminense - UFF
Instituto de Geociências - Niterói - RJ, Brasil
rsvicens@id.uff.br

Abstract. The classification of the forest cover change was performed using a direct multitemporal analysis, the trajectory based change detection, where all the scenes are classified together. The mapped classes, were: forest remnants, deforestation and reforestation, between the years 1986, 1996, 2007 and 2013. High rates of deforestation (30%) and preservation (up to 95% of the area) were observed for each landscape type in the study area. In order to merge the changes in forest cover and landscape unit in a conclusively and synthetic way there were correlated the effects of physical and topological landscape variables with changes in forest cover, and thus explain the processes of forest preservation and degradation through analysis of multiple and geographically weighted regression (GWR). Physical and topological variables explained well ($R^2 = 0.8$) some of the causes for forest preservation and more than half of the pattern of deforestation ($R^2 = 0.52$).

1. Introdução

As causas para os processos de mudança do uso e cobertura do solo diferem grandemente dependendo da região, e desta forma é difícil determinar a priori quais regiões apresentam as mesmas atividades atuando na mesma área de forma homogênea. Assim o uso de métodos de análise local, como as regressões ponderadas geograficamente (GWR em inglês), permitem identificar as variações dos processos no espaço. As GWR reconhecem as variações espaciais entre uma variável dependente (ex.: taxa de desmatamento) e variáveis explicativas independentes (ex.: densidade populacional, área agrícola e etc.).

Para se determinar quais fenômenos são os mais prováveis de terem causado o desmatamento, regeneração e vegetação atual, foram calculadas as áreas de cada uma destas dinâmicas, e assim se comparou estes três índices com variáveis físicas e espaciais.

Para o mapeamento das áreas dos remanescentes florestais, desmatamento e reflorestamento foi utilizada a classificadas as imagens Landsat de 1986, 1996, 2007 e 2013 das cenas 216/75 e 76, 217/75 e 76 e 218/76 elaborada por Cronemberger (2014).

Para se determinar quais variáveis seriam utilizadas, foram pesquisados quais indicadores são mais utilizados na literatura e pertinentes a região da Serra Mar. Em especial foram observados os trabalhos de Strassburg et al. (2012) que correlacionou a adequação biofísica com variáveis de pressão econômica de modo a fornecer uma aproximação probabilística para REDD. No Brasil foram observados os estudos de correlação de desmatamento com dados socioeconômicos de Reis & Guzmán (1992), que acharam mais pertinentes os dados de população, densidade de estradas e área agrícola, e Espindola et al (2011), que utilizou dados de distância para áreas urbanas e cobertura de unidade de conservação, ambos na região amazônica. Foram consultados também os trabalhos de Mas e Cuevas (2013) sobre o México, onde foram observados os indicadores de densidade de bovinos e declividade média, e de Viscano (2013) que comparou as correlações de desmatamento de uma região do México com um trecho de Mata Atlântica na Serra do Mar.

Ao final foram escolhidos 7 indicadores para correlação com as mudanças na cobertura florestal, sendo: Declividade média, Altitude, Radiação, Umidade, Cobertura de unidade de conservação, Densidade de estradas, Distância para áreas urbanas. A tabela 1 a seguir mostra o conjunto de variáveis utilizadas.

Tabela 1 - Variáveis explanatórias

Tipo	Variável	Descrição	Unidade	Fonte
Dependente				
	Florestas	Áreas florestadas até 2013	% área	Mapa cobertura Florestal 1986-2013
	Desmatamento	Áreas desmatadas de 1986 a 2013	% área	
	Regeneração	Áreas regeneradas de 1986 a 2013	% área	
Independentes				
Física	Declividade	Média da declividade	Graus	Topodata
	Altitude	Média da altitude	m.s.n.m	Topodata
	Radiação solar	Média da radiação solar	Watt/m ²	Topodata
	Umidade	Média do valor da precipitação menos a evapotranspiração.	mm	worldclim
Espacial	Unidade de Conservação	Área ocupada por UC	% área	MMA, INEA
	Densidade de estradas	Razão entre estrada e área	Km/km ²	IBGE
	Distância para áreas urbanas	Distância mínima para área urbana	km	Mapeamento

2. Área de Estudo

A área mapeada foram às bacias hidrográficas da Serra do Mar, compreendida entre a Serra da Bocaina até o limite oriental, na Serra do Desengano. Ao todo foram mapeados 45,8 mil km². Para o calculo das correlações entre as variáveis foi utilizado como unidade de análise, as tipologias de paisagem mapeadas por Cronemberger (2014), que foram delimitadas segundo sua declividade, altitude, geologia, clima, pedologia e vegetação, utilizando metodologia proposta por Rodriguez (2007) e RADAMBRASIL (1983).

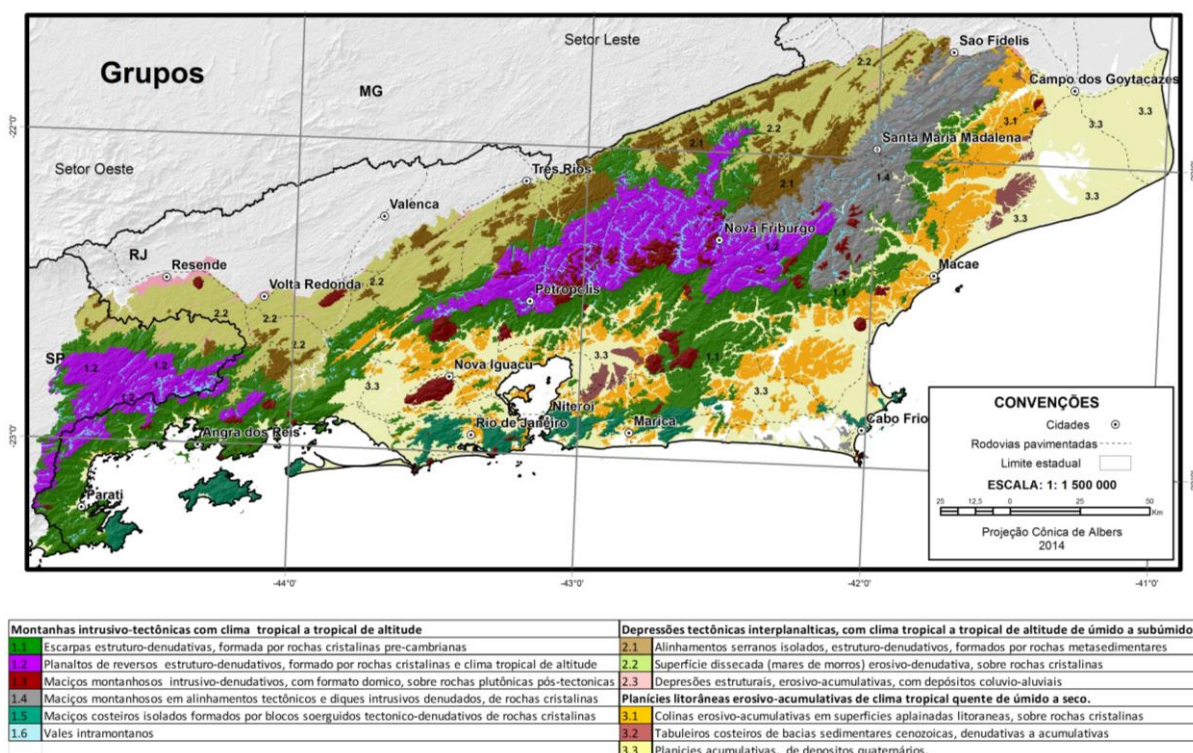


Figura 1 – Mapa das Tipologias de Paisagem da Serra do Mar Fluminense.

3. Métodos de Regressão

Regressão é a análise da relação entre uma variável e alguma outra variável(s), estes processos de correlação possuem diferentes métodos. Neste estudo foram utilizados alguns métodos de regressão.

Para análise foi utilizado o método de regressão múltipla linear ou dos mínimos quadrados (ordinary least squares - OLS), de modo a apresentar os dados de correlações globais e comparar diferentes unidades de análise. Para o resultado final foi calculada a regressão ponderada geograficamente (GWR), de modo a apresentar as variações locais dos modelos na unidade de análise de melhor resultado.

A GWR proporciona um modelo local da variável dependente que procura entender ou prever ao ajustar uma equação de regressão a cada entidade no espaço. A GWR constrói equações individuais mediante a incorporação das variáveis dependentes e explicativas das entidades que caem dentro da variação de banda de cada entidade de destino.

4. Resultados

A análise das variações na cobertura florestal ao longo de 27 anos de observação (1986-2013) apresentou pouca variação em termos de área total, 2,2% da área com mudança. Entretanto foram detectados muitos km² de supressão vegetal e reflorestamento, o equivalente a 9% da área florestal. Estes padrões são melhor observados em função de cada período.

Tabela 2 – Valores de mudança da cobertura Florestal

Classe	Desmatamento em km ²					Reflorestamento em km ²					Remanescentes Florestais		Área Total
	1996	2007	2013	Total	%	1996	2007	2013	total	%	Km ²	%	
Total	414,0	249,2	30,8	694,0	5,8	114,3	95,4	107,0	316,6	2,7	11.332,5	24,7	45.801

Entre os anos de 1986 a 1996, ocorreu um intenso processo de desmatamento na região da Serra do Mar e em sua periferia, totalizando 414 km² de desmatamento (figura 4), o que representa 3,6% da área dos remanescente florestais atuais. Paralelo a isso houve um Reflorestamento nas áreas de pastagem, totalizando 114 km² ou 1% da área dos remanescente florestais atuais.

Entre 1996 a 2007 observa se uma diminuição significativa do desmatamento, com 249 km², o que representa cerca da 60% da área desmatada anteriormente. O reflorestamento em toda área de estudo apresentou ligeira diminuição com 95 km² o equivalente a 83% da área anterior,

Entre o período de 2007 a 2013, houve uma diminuição significativa do desmatamento, caindo para 31 km² ou 1/8 da área anterior. O reflorestamento se mantém estável para toda a área, com 107 km².

Sobre os resultados da mudança na cobertura florestal, por espaços celulares, foram correlacionadas as variáveis dependentes (remanescentes florestais, desmatamento e reflorestamento) com as independentes (declividade, altitude, radiação solar, umidade, % de UC, densidade de estradas e distancia a áreas urbanas.

4.1. Modelos de regressão múltipla

Os resultados dos modelos de regressão múltipla para o intervalo de 1986-2013 podem ser vistos nas Tabelas, 3, 4 e 5, os dados apresentados foram os valores de R, R², erro padrão e número de observações, e coeficiente de sensibilidade do modelo (b) e o erro padrão para cada variável independente específica.

Os modelos de regressão por unidade de paisagem apresentaram 2558 observações ao total, com variação na quantidade de dados por variável dependente analisada, conferindo um bom universo amostral.

Os coeficientes nos modelos de regressão não permitem uma interpretação linear direta com a variável dependente, como no caso dos modelos de correlação direta, porém podem ser interpretadas as correlações negativas ou positivas através dos coeficientes, para melhorar a interpretação todas as variáveis foram transformadas em números percentuais (0-100) mantendo as devidas proporções.

Uma interpretação mais direta da relação entre as variáveis dependente e independentes é permitida pelo coeficiente de determinação, R^2 , que reflete a medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado em relação aos valores observados. De modo que Quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo e melhor ele se ajusta à amostra. Os modelos de regressão múltipla linear para a evolução da cobertura florestal apresentaram bons resultados conforme observado pelo valor de R^2 das tabelas abaixo, com níveis de significância das sete variáveis independentes variando bastante, indo de altamente significativa a nenhuma significância.

Os modelos apresentaram maiores interações entre as variáveis, distancia a estradas, radiação solar, declividade, umidade e UCs. A variável distância para áreas urbanas apresenta coeficientes muito baixos para todos os modelos, mostrando não haver correlação entre esta variável para a Serra do Mar.

A regressão múltipla para a variável dependente Floresta apresentou o maior coeficiente de determinação de todos os modelos. A seguir é apresentada os valores encontrados, tabela 3.

Tabela 3 – regressões múltipla para Florestas e variáveis independentes

Unidades de análise	R	R^2	Erro padrão	Observações
Unidades de paisagem	0,8701	0,7572	0,253	1961
Sensibilidade				
Variável independente	Coeficientes (b)		Erro padrão	
Declividade	0,5033		0,0336	
Altitude	-0,0817		0,0287	
Radiação solar	0,1420		0,0300	
Umidade (P-Etp)	0,6025		0,0309	
Densidade estradas	-0,2519		0,2098	
Distância área urbana	0,0966		0,0302	
% de UC	0,3980		0,0228	

Conforme observado na tabela anterior, os resultados o valor de R^2 apresentou um alto coeficiente de determinação, com 75,7% da variável dependente conseguindo ser explicada pelas variáveis independentes presentes no modelo. O erro padrão foi o mais alto entre todas as regressões, com 0,253.

A soma dos coeficientes foi de 1,408, o que significa um resultado satisfatório, próximo de um. O coeficiente de maior explicação foi, umidade, b de 0.6, seguido pela declividade, b de 0.5, e também alta correlação positiva com áreas protegidas, b de 0.4. Indicativos de que as áreas preservadas ocorrem nas áreas de maior pluviosidade e com alta declividade, padrão apresentado pelas escarpas, onde estão a maioria das UC.

Apresentou média correlação negativa com densidade de estradas, demonstrando que a dificuldade de acesso para circulação da produção nestas áreas gera preservação. A Altitude apresentou baixos coeficientes de correlação negativas.

Os modelos de regressão múltipla utilizados para a análise dos remanescentes florestais entre os anos de 1986 a 2013, apresentaram bons coeficientes em relação às condicionantes físicas, demonstrando fortes indicativos de áreas inadequadas a uso comercial, com correlações positivas quanto a declividade e a áreas de UCs.

Quanto a regressão múltipla para a variável dependente desmatamento, foi acrescentado no modelo a variável independente percentual de florestas, que utiliza os valores da variável de Remanescentes florestais. A os valores encontrados estão na tabela 4.

Tabela 4 – regressão múltipla para desmatamento e variáveis independentes

Unidades de análise	R	R ²	Erro padrão	Observações
Unidades de paisagem	0,7699	0,5928	0,2475	812
Sensibilidade				
Variável independente	Coeficientes (B)		Erro padrão	
Declividade	-0,1689		0,0533	
Altitude	0,0295		0,0448	
Radiação solar	0,5315		0,0233	
Umidade (P-Etp)	0,1395		0,0503	
Densidade estradas	-0,7403		0,2081	
Distância área urbana	0,0756		0,0461	
% de UC	0,1046		0,0472	
% Floresta	-0,5023		0,0420	

O resultado encontrado aponta para um valor alto de R², com mais de 59% da variável dependente conseguindo ser explicada pelas variáveis independentes presentes no modelo, o resultado obtido apresentou também um erro padrão médio de 0,25, tendo na variável densidade de estradas os valores mais altos (0,21), foram analisados ao total 812 ocorrências.

O coeficiente de maior explicação foi o de densidade de estradas, apresentando alta correlação negativa, $b = -0,74$, indicando que o desmatamento ocorre em áreas mais afastadas das estradas e ou em locais de pouco acesso, o que levanta o questionamento sobre a influência de fato das estrada para o desmatamento na região da Serra do Mar. Também apresentou alta correlação negativa com áreas de remanescentes florestais, $b = -0,5$, indicando que os desmatamentos estão ocorrendo sobre áreas fragmentadas e degradadas com maior exposição à radiação (encostas voltas para norte ou convexas), $b = 0,53$, em encostas menos inclinadas, por apresentar correlação negativa com declividade, $b = -0,17$.

Os valores de Altitude, umidade e cobertura de UC apresentaram baixos coeficientes. A variável independente de distância para centros urbanos apresentou coeficiente positivo muito baixo.

Quanto a regressão múltipla para a variável dependente reflorestamento, também foi utilizada a variável independente percentual de florestas. A seguir são apresentados os valores encontrados, tabela 5.

Tabela 5 – regressão múltipla para reflorestamento e variáveis independentes

Unidades de análise	R	R ²	Erro padrão	Observações
Unidades de paisagem	0,6475	0,4192	0,2291	493
Sensibilidade				
Variável independente	Coeficientes (B)		Erro padrão	
Declividade	-0,2353		0,0545	
Altitude	0,1012		0,0548	
Radiação solar	0,8091		0,0556	
Umidade (P-Etp)	-0,0307		0,0571	
Densidade estradas	0,0089		0,0608	
Distância área urbana	-0,4191		0,1951	
% de UC	-0,0542		0,0582	
% Floresta	-0,1559		0,0453	

O resultado obtido para o valor de R^2 apresentou o menor coeficiente de determinação da análise, com 42% da variável dependente sendo explicada pelas variáveis independentes presentes no modelo, resultado de pouca relevância uma vez que apresenta pouca correlação. Apresentou o menor erro padrão (0,2291) de todos os modelos, a variável distancia para áreas urbanas apresentou o maior erro padrão (0,2).

O coeficiente de maior explicação foi o de radiação solar, $b= 0,81$, indicativo de áreas degradadas em encostas voltadas para norte ou convexas, típicas dos mares de morros. A alta correlação negativa com áreas urbanas, $b= -0,42$, indica que o reflorestamento está ocorrendo em áreas rurais afastadas dos centros urbanos, em locais pouco florestados, $b= -0,16$, e de relevo suave, $b= -0,24$, apontando que o reflorestamento está ocorrendo em áreas mais propícias a agropecuária.

Os valores de Altitude, umidade, densidade de estradas e % de UC apresentaram baixos coeficientes, indicando não haver correlações muito expressivas com estas variáveis.

4.2. Modelos de GWR para as unidades de paisagem.

A utilização das regressões ponderadas geograficamente indicam a forma como os resíduos são distribuídos por cada observação das unidade de paisagem, e assim podem ser mapeadas as unidades que apresentam maior ou menor correlação com o modelo. A seguir são apresentados os modelos de GWR da área de estudo.

O que pode ser observado no modelo para os remanescentes florestais é que na região da baixada fluminense, nas bacias hidrográficas do rio Guandu e da baía de Guanabara, no médio vale do Paraíba do Sul, região sul fluminense, e na Serra dos Órgãos-Macaé os resíduos foram maiores, ou seja, foram as áreas onde o modelo teve os piores resultados, com valores superiores a 0,5 vezes o desvio padrão do resíduo, destaque para: mangue de Guapimirim, Serra do Mato-grosso e na restinga de Cabo Frio. Por sua vez, a região dos lagos, baixada campista, Serra do Desengano e Serra da Bocaina o modelo obteve os melhores resultados, com valores inferiores a 0,5 vezes o desvio padrão do resíduo. Figura 2.

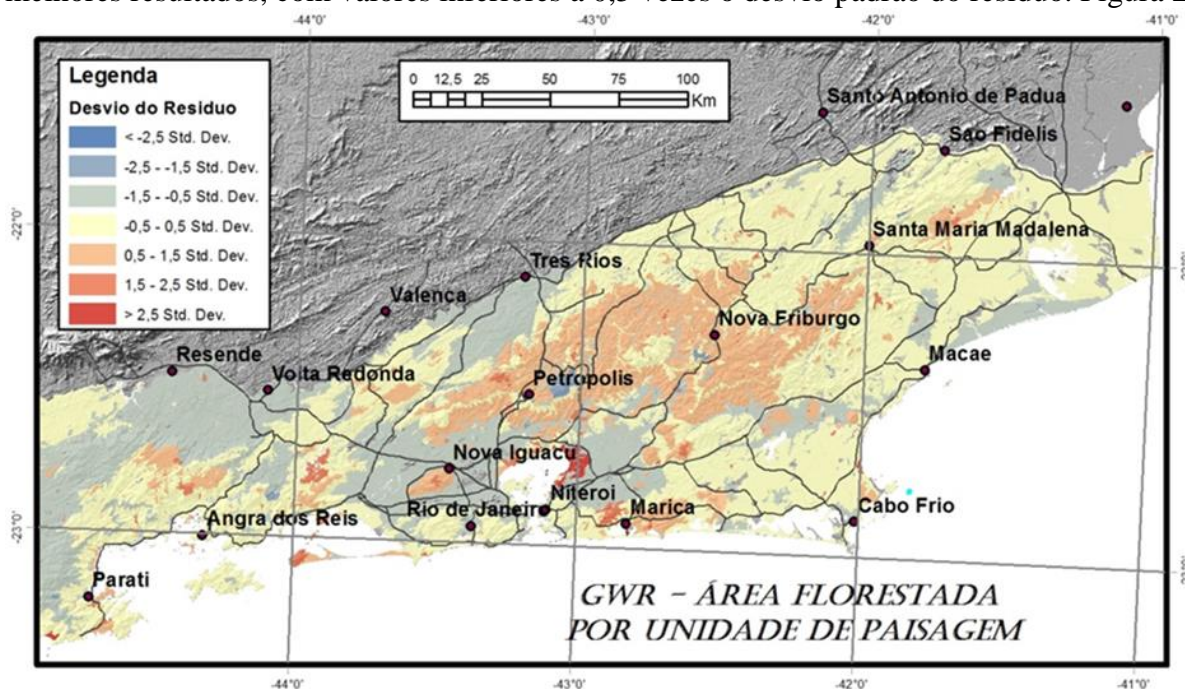


Figura 2 – Mapa da GWR para os remanescentes florestais

Para o modelo de desmatamento os resultados observados foram opostos ao modelo anterior. As áreas com os maiores resíduos e piores resultados foram: as escarpas da Serra da Bocaina, as planícies aluviais da bacia da baía de Guanabara, Região dos Lagos, escarpas da

Serra do Desengano, planícies aluviais próximas a cidade de Campos e planícies terciárias de Resende, com valores superiores a 1,5 vezes o desvio padrão do resíduo. Do mesmo modo, as áreas dos maciços alcalinos da Serra do Sambe, maciço da Pedra Branca e médio vale do Paraíba do Sul apresentaram os menores resíduos, de forma inversa ao resultado do modelo de florestas, com valores inferiores a 10% o desvio padrão do resíduo. Figura 3.

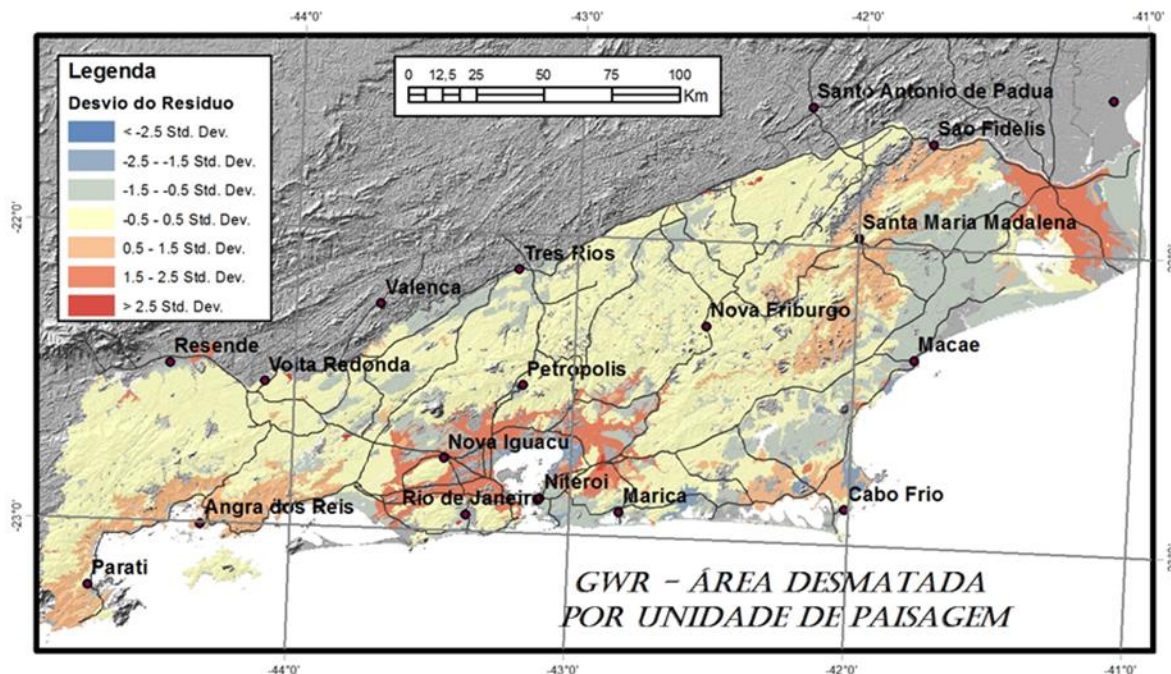


Figura 3 – Mapa da GWR para o desmatamento.

Quanto ao modelo de GWR para reflorestamento, figura 4, as áreas que apresentaram melhores resultados, menores resíduos, foram a região do médio vale do Paraíba do Sul, Sul fluminense, o Maciço da Tijuca e Pedra Branca e a Serra do Desengano, valores inferiores a 10% do desvio padrão do resíduo. As áreas com maiores resíduos foram às planícies aluviais da bacia hidrográfica do Guandu e região dos Lagos e planícies terciárias de Resende, com valores superiores a 1,5 vezes o desvio padrão do resíduo.

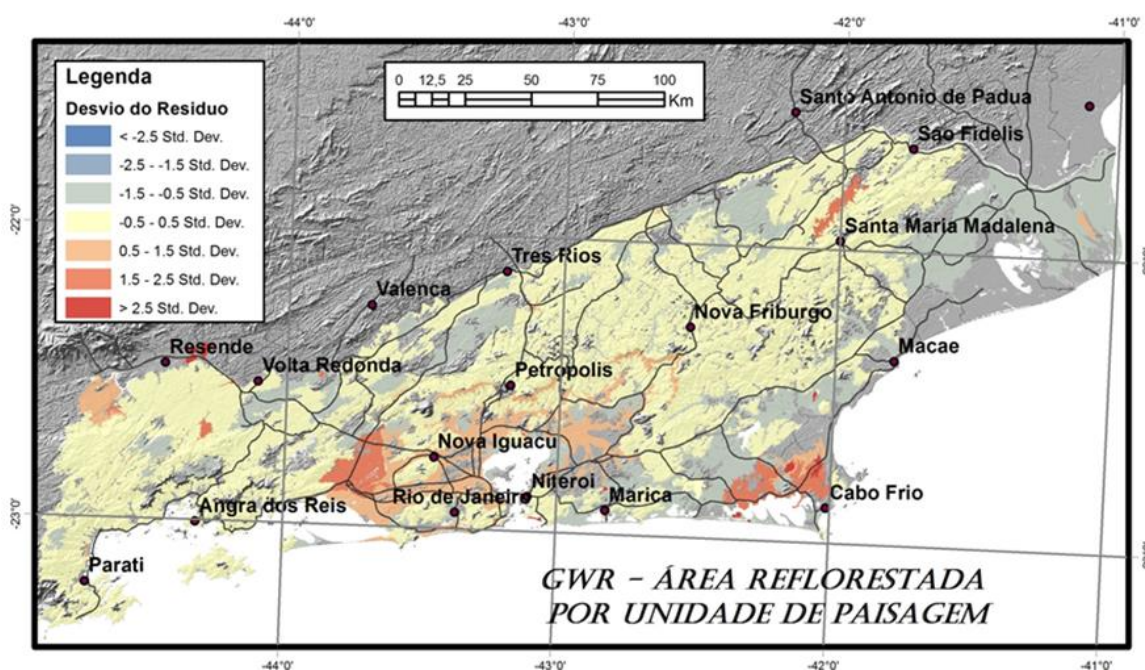


Figura 4 – Mapa da GWR para o Reflorestamento

5. Conclusão

Pode ser observado na Serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro uma forte relação da cobertura florestal com o relevo, onde áreas com relevos mais abruptos ou de altitude apresentam maiores percentuais de cobertura florestal. Assim a utilização das tipologias de paisagem para compreender os processo de mudança da cobertura florestal trouxe uma visão esclarecedora de processos tão únicos e complexos, aliado a isso o mapeamento observa o atual estado de preservação das fitofisionomias da Mata atlântica.

Por sua vez as Regressões espaciais indicaram que as causas e efeitos do desmatamento são bem explicadas pelos fatores físicos e topológicos. Entretanto apesar da variável topológica de % de Unidade de conservação ter um fator de explicação para a preservação, vale apenas lembrar que a maior parte destas ficam nas áreas montanhosas e mais úmidas, ou seja, a relação relevo-clima também afeta a opção de escolha do poder público de criar unidades nestas áreas.

A correlação dos dados se dá em um “mundo simplificado”, onde a conversão da cobertura florestal responde a uma combinação de relevo-clima, proximidade a estradas e cidades (centros de demanda de recursos naturais) e à proteção jurídica da terra. Os resultados deste artigo apresentados de uma forma quantitativa e espacialmente explícitos podem servir como um norteador dentro do qual as relações mais complexas vão desempenhar o seu papel. Entretanto os resultados sugerem que os modelos básicos utilizados explicam uma proporção significativa de cobertura florestal e por sua vez abrem perspectivas de modelos de utilização da terra que consigam indicar uma maior quantidade de áreas a serem recuperadas ou impedindo o desmatamento, respeitando as variáveis físicas e socioeconômicas e trazendo uma otimização nos esforços de recuperação florestal sem diminuir a produção de agropecuária.

Compreensão das mudanças nas trajetórias de cobertura do solo apresenta uma oportunidade única para estimar o tamanho do impacto antrópico sobre a paisagem e testar o efeito de práticas e políticas para limitar este problema. Ao fazê-lo, podem ajudar nos esforços de conservação, e facilitar a gestão e o planejamento ambiental no contexto de uma busca contínua do desenvolvimento econômico-ecológico.

6. Bibliografia

Cronemberger, F.M. **Análise Geoecológica das Paisagens da Serra do Mar Fluminense**. Tese de Doutorado – Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós Graduação em Geografia. Niterói: UFF, 2014. 150 p.

Espindola, G.M; Aguiar, A.P.D; Pebesma, E; Camara, G; Fonseca, L. **Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data**. Applied Geography, 32, 2011. 240-252p.

Mas, J.F. & Cuevas, G. **Análisis de los patrones de deforestación en México con regresiones ponderadas geográficamente**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR: INPE. 2013, 6292-99.

Reis, E. J., & Guzmán, R. M. (1992). **An econometric model of Amazon deforestation. Brazil**. Brasília: IPEA,

Rodriguez, J. M., Silva, E.V., Cavalcanti, A.P.B. **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora UFC, 2007. 222p.

Strassburg, B.; Latawiec, A. E; Creed, A.; Nguyen, N; Sunnenberg, G.; Miles, A.; Lovett, A.; Joppa, L.; Ashton, R.; Scharlemann, J.; Cronemberger, F. M.; Irabarrem, A. **Biophysical suitability, economic pressure and land-cover change: a global probabilistic approach and insights for REDD+**. Sustainability Science. 2013.

Viscano, M.J. **Comparación de los patrones de deforestación en dos regiones de latinoamérica**. Dissertação de Mestrado - Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Pós Graduação em Geografia, México, 2013.