

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VANESSA VLNIESKA

CONDICIONANTES DA REGENERAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA: SUBSÍDIOS PARA  
ESTRATÉGIAS DE RESTAURAÇÃO EM LARGA ESCALA NO PARANÁ

CURITIBA

2019

VANESSA VLNIESKA

CONDICIONANTES DA REGENERAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA: SUBSÍDIOS PARA  
ESTRATÉGIAS DE RESTAURAÇÃO EM LARGA ESCALA NO PARANÁ

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientadora: Profa. Dra. Marcia C. M. Marques.

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula

CURITIBA

2019

Universidade Federal do Paraná. Sistema de Bibliotecas.  
Biblioteca de Ciências Biológicas.  
(Giana Mara Seniski Silva – CRB/9 1406)

Vlnieska,

Condicionantes da regeneração da Mata Atlântica: subsídios para estratégias de restauração em larga escala no Paraná. / Vanessa Vlnieska. – Curitiba, 2019.

35 p.: il.

Orientador: Marcia C. M. Marques

Coorientador: Eduardo Vedor de Paula

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.

1. Florestas - Paraná 2. Regeneração (Biologia) 3. Desmatamento I. Título II. Marques, Márcia Cristina Mendes III. Paula, Eduardo Vedor de, 1981- IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.

CDD (20. ed.) 577.34



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ECOLOGIA E  
CONSERVAÇÃO - 40001016048P6

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **VANESSA VLNIESKA** intitulada: **CONDICIONANTES DA REGENERAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA: SUBSÍDIOS PARA ESTRATÉGIAS DE RESTAURAÇÃO EM LARGA ESCALA NO PARANÁ**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Abril de 2019.

MARCIA CRISTINA MENDES MARQUES  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

RENATO CROUZEILLES PEREIRA ROCHA

Avaliador Externo (IIS)

RICARDO MIRANDA BRITTEZ

Avaliador Externo (SPVS)

*A toda e qualquer forma de Vida,*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me propiciar as dúvidas da vida e do universo, estas, que movem diariamente o homem.

A todos os seres vivos, que me auxiliam na minha missão como bióloga, meu profundo respeito.

À minha liberdade de amor, sentimentos, pensamentos, atitudes e de ser a mulher que sou. Que eu nunca me perca.

À minha família – meu pai Felislau Vlnieska, que esteja aonde estiver me guia, minha mãe Raquel de Oliveira Vlnieska e meus dois irmãos Rafael Oliveira Vlnieska e Vítor Vlnieska, pelo amor incondicional e por serem a base da minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida, que permitiu minha dedicação integral a este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional e ajuda financeira para a participação de eventos científicos.

À ONG SOS Mata Atlântica e sua equipe Márcia Hirota, Flávio Ponzoni e Marcos Rosa e aos professores Claudinei Taborda da Silveira e Marciel Lohmann que gentilmente nos ajudaram e cederam boa parte dos dados necessários à realização desta pesquisa.

À minha orientadora Márcia C.M. Marques, pela oportunidade de aprender muito nesses dois anos de todas as formas, pelos ensinamentos e por me tornar alguém mais forte.

Ao meu coorientador Eduardo Vedor de Paula, exemplo e inspiração em seu ofício, por me ensinar a como querer ser e porque “há muitas pessoas de visão perfeita que nada veem”, e ele me inspira a ver.

Ao meu grato presente dessa rica caminhada, Tamires M. Burda - irmã, que não me deixa esquecer que tudo é muito melhor de mãos dadas, todo o meu amor e admiração.

À minha irmã de outras vidas Viviana Michaluz, uma das minhas melhores partes.

À querida colega de trabalho Elivane S. Capellesso, pelas inúmeras formas de ajuda, conselhos e parceria nessa caminhada.

Ao professor André Guaraldo, que me ajudou muitas vezes com infinitas dúvidas e perguntas estatísticas.

À minha família de afeto de tantos amigos, velhos e novos, que nessa rica jornada a tornaram mais plena e significativa com discussões e conversas, e têm grande parte do meu coração: equipe LEV: Anamaria Cequinel, Thais Zanata, Carolina Rosa, Isabela Galarda

Varassin, Fernando Jerônimo, Rafael de Oliveira, Israel Schneiberg, Gabriel Inage, Tiago Malucelli, Tiago Machado, Luciana Franci, Fares Restrepo e Julio Bastos; os parceiros do mestrado: Lorraine Lopes Cavalcante, Alejandro Restrepo González, Stephanie Schubert e Simone Czarnobai; os amigos da vida Thais Ortiz, Luciana Carvalho, Pedro Ribeiro, Rafael Fratoni, Bruno Reis, Lucas Gomes, Fernando Freitas; e aos meus amados Jamiranes.

Aos meus professores – mestres, que me ensinaram que a vida é um eterno aprendizado.

Aos que me ajudaram por muitos ou mesmo que por um instante, em pequenos ou grandes detalhes, mas que tornaram possível meu trabalho, Ricardo Michael Pinheiro Silveira, Letícia Wuensh, Victor Aguiar de Souza Penha e Alexei Nowatzki.

Aos que foram avaliadores deste trabalho quando ele ainda era um projeto de mestrado e contribuíram para o seu melhoramento, o Prof. Dr. Marcos Carlucci, o Dr. Guilherme Seger, o Dr. Victor Zwiener e o Me. Francisco Grotta Neto.

Aos professores Dr. Ricardo Miranda Britez e Dr. Renato Crouzeilles, por aceitarem serem a banca e contribuírem gentilmente com a melhora do trabalho, e à Dra. Fernanda Thiesen Brum por aceitar ser suplente.

À Dona Maria e à Carol, por distraírem e alegrarem nossos dias de trabalho.

Às crianças que renovam e rejuvenescem os espíritos dos homens.

Aos que amam a vida e fazem dos seus dias uma luta pelas causas, tidas, vencidas – e nunca serão!

Aos anjos, que me acompanham e me protegem pelos meus dias.

A todos vocês, todo o meu ser e amor.

*“Depois que cansei de procurar, aprendi a encontrar.*

*Depois que um vento me opôs a resistência, velejo com todos os ventos.”*

*(Friedrich Nietzsche)*

## RESUMO

Em nível global, a conversão de áreas florestais naturais em áreas agrícolas vem sendo acompanhada por um fenômeno inverso, conhecido como transição florestal, onde áreas produtivas são abandonadas cedendo lugar a florestas em regeneração. Essa transição pode estar relacionada a fatores econômicos, sociais e ambientais. Nos últimos 30 anos, o estado do Paraná apresentou a maior taxa de desmatamento da Mata Atlântica de todo o Brasil, ao mesmo tempo em que aumentaram as áreas de regeneração natural. Neste estudo analisaram-se alguns fatores ecológicos, sociais e econômicos que influenciaram a regeneração natural no estado do Paraná em duas décadas. Utilizaram-se os dados de regeneração, desmatamento e cobertura vegetal do período de 1984 a 2016 da SOS Mata Atlântica que foram relacionados com indicadores de produção agrícola, população, PIB e IDH, além de fatores ambientais. Os resultados mostraram que a regeneração foi maior em municípios onde a evapotranspiração e a declividade foram maiores e onde houve o aumento da população rural. Inversamente, a regeneração foi menor em regiões onde houve aumento do IDH e maior desmatamento. Os resultados sugerem que os ritmos da regeneração natural são bem distintos nas diferentes regiões do estado, sendo impulsionados por condições ambientais, econômicas e sociais específicas, o que demandará estratégias distintas para restauração em larga escala.

Palavras-Chave: Áreas florestais, regeneração natural, desmatamento, cobertura vegetal.

## ABSTRACT

At the global level, the conversion of natural forest areas into agricultural areas has occurred with an inverse phenomenon, known as forest transition, where productive areas are used for regenerating forests. This transition could be correlated to economic, social and environmental factors. Over the last 30 years, the Paraná State - Brazil, has had the highest rate of deforestation in the Atlantic Forest all over Brazil, while at the same time, the areas of natural regeneration have increased. This study analyzed ecological, social and economic factors that have influenced natural regeneration in the state of Paraná into two decades (1984-2016). Data from the *SOS Mata Atlântica* Institute, including regeneration, deforestation and vegetation measurements were used and compared with indicators of agricultural production, population, GDP and HDI, as well as environmental factors. The results showed that the regeneration index is positively related with the evapotranspiration and the declivity index and increased rural population. Conversely, the regeneration index was negatively related with HDI and higher deforestation variations. The results suggest that the natural regeneration rates are distinct for different regions of the state, being driven by factors as specific environmental, economic and social conditions, requiring multiple strategies for large scale restoration.

Key words: Forest areas, natural regeneration, deforestation, vegetation cover.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização do estado do Paraná e seus tipos vegetacionais originais.....	15
FIGURA 2 – Caracterização ambiental do estado do Paraná: a) declividade (2010), b) evapotranspiração (2019), c) desmatamento (2000-2013), d), remanescentes de vegetação (2013). Fontes: SOS Mata Atlântica (2017) e ITCG (2010). .....	17
FIGURA 3 – Áreas florestais em regeneração natural no estado do Paraná no período de 1984 a 2013. Fontes: SOS Mata Atlântica (2017) e ITCG (2017). .....	18
FIGURA 4 – Relações entre as condicionantes ambientais (verde) e sociais (azul) sobre a taxa de regeneração da Mata Atlântica no Paraná no período de 1994 a 2013. N=399 municípios. ....	21
FIGURA 5 – Relações entre as condicionantes ambientais (verde) e sociais (azul) sobre a taxa de regeneração da Mata Atlântica no Paraná no período de 1994 a 2013. N=80 municípios..	22

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Estimativa dos parâmetros do GLM dos efeitos das variáveis preditoras sobre a regeneração da Mata Atlântica no estado do Paraná. ....	22
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE APÊNDICES

### CAPÍTULO 1

Material Suplementar ..	33
-------------------------	----

## **LISTA DE SIGLAS**

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná

PIB – Produto Interno Bruto

REDD+ - Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

UTM - Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 .....	10
Introdução .....	11
Material e Métodos .....	14
Resultados .....	20
Discussão .....	23
Considerações Finais .....	26
Agradecimentos .....	27
Referências.....	28
Material Suplementar .....	33

## **CAPÍTULO 1**

### **Fatores Ambientais, Sociais e Econômicos da Restauração Ecológica em Grande Escala da Floresta Tropical: Um Estudo de Caso na Floresta Tropical Brasileira**

\* Artigo preparado de acordo com as normas da revista “Environmental Management”.

# **Fatores Ambientais, Sociais e Econômicos da Restauração Ecológica da Floresta Tropical em Grande Escala: Um Estudo de Caso na Floresta Tropical Brasileira**

## **Introdução**

Em um cenário recente de grandes mudanças no uso da terra, perdas de biodiversidade e alterações no equilíbrio planetário (Rockstrom et al. 2009), a restauração ecológica em larga escala tem sido apontada como uma maneira possível e viável de reverter esta situação (Jackson & Hoobs 2009). Especialmente nas florestas tropicais, as quais cobriam 1/3 da superfície do globo e cujas perdas por desmatamento já somam 60% da área original (FAO 2015), a restauração ecológica em larga escala tem sido estimulada, fazendo parte das discussões teóricas, das agendas políticas e ambientais no mundo todo. Esta visão otimista da restauração motivou o estabelecimento de acordos internacionais para viabilizar a recuperação de biodiversidade e serviços ambientais em vários ecossistemas do mundo, como é o caso do Desafio de Bonn (Bonn Challenge 2019), que estabeleceu metas em um esforço global para restaurar 350 milhões de hectares de terras desmatadas e degradadas até 2030, a Declaração das Florestas de Nova York (Forest Declaration 2015) que aprovou e ampliou as metas estabelecidas no Desafio de Bonn sobre Florestas da Cúpula do Clima da ONU de 2014, e a Iniciativa 20x20 (Initiative 20x20 2019), que visa especificamente a restauração de áreas florestais na América Latina e Caribe (Suding et al. 2015). Portanto, planejar e gerenciar a restauração em escalas amplas é uma demanda atual, mas para a qual ainda há pouca informação disponível.

A restauração ecológica é, tradicionalmente, reconhecida como uma ação capaz de reestabelecer a diversidade e a funcionalidade do ecossistema degradado (Jordan et al. 1987, Palmer et al. 1997, SER 2004). Além disso, a restauração ecológica ainda recupera serviços ecossistêmicos (SE) de provisão, regulação, culturais e de suporte importantes para o homem (Millennium Ecosystem Assessment 2005, Benayas et al. 2009). Nas florestas tropicais, a restauração pode aumentar em 34 a 56% a biodiversidade (Crouzeilles et al. 2017), em 52% o armazenamento de carbono (Shimamoto et al. 2019) e em 62% os serviços de qualidade física e química do solo (Barral et al. 2015), em relação à área degradada. Portanto, existe um potencial das ações de restauração realizadas em escalas regionais, em conjunto, alcancem metas estabelecidas globalmente.

Um dos maiores desafios para implementar a restauração, é escolher uma estratégia que alie efetividade com os custos (Birch et al. 2010). Enquanto a restauração ativa é uma estratégia que envolve o uso de técnicas silviculturais de alto custo para a produção e plantio

de mudas, a restauração passiva é caracterizada por intervenções menos onerosas, uma vez que consiste em conduzir a regeneração natural espontânea (Erskine 2002, Benayas et al. 2008), que requer pouca experiência técnica. Vários estudos têm mostrado que a restauração passiva apresenta grande potencial de alcançar ganhos similares em biodiversidade e serviços ecossistêmicos obtidos por meio da restauração ativa (Chazdon 2008, Jones & Schmitz 2009, Chazdon & Uriarte 2016, Crouzeilles et al. 2017). A regeneração natural como principal estratégia de restauração passiva, se dá por processos sucessionais espontâneos, caracterizando-se por uma sucessão secundária sobre uma área que sofreu distúrbio. O recrutamento de novas espécies vegetais pode ter origem do banco de sementes do solo, da dispersão de sementes, do rebrotamento de troncos danificados do local ou ainda do próprio *pool* local de indivíduos que sobreviveram ao distúrbio (Cole et al. 2010, Cronkleton 2013). Embora haja situações específicas onde o tipo e intensidade do distúrbio limitam a regeneração natural (Kennard et al. 2002), para se ganhar escala e alcançar objetivos e metas mais amplas, a regeneração natural é a única opção viável financeiramente (Chazdon & Guariguata 2016) e tem sido estimulada para a ampla restauração da floresta tropical (Wright & Muller-Landau 2006).

A regeneração natural pode ocorrer quando áreas produtivas são abandonadas, devido a mudanças na economia regional que, por sua vez, afetam a população humana, que se desloca em busca de alternativas como meio de vida (Benayas 2005). De fato, este é um processo que tem ocorrido amplamente nas regiões tropicais e tem sido associado ao ganho de floresta relacionado à diminuição da população rural nas áreas periféricas e à mudança do uso de terras agrícolas após o declínio econômico de culturas (Rudel 1998). Essa relação entre o desenvolvimento econômico e as mudanças de cobertura florestal identificadas em algumas regiões tem sido caracterizada como uma transição da floresta (Grainger 1995, Mather & Needle 1998). A transição da contração para a expansão da área florestal ocorre através de um processo que resulta na concentração da produção agrícola em áreas menores e de qualidade melhor de terras e no abandono agrícola de áreas maiores de terras mais pobres, que ficariam disponíveis para regeneração natural ou plantio (Rezende et al. 2015). Associado a isso, as condições econômicas da população, o desenvolvimento humano (IDH) e a dinâmica de ocupação dos espaços urbanos e rurais podem ser preditores das mudanças de uso da terra, afetando a regeneração natural (Franzel 1999, Silvestrini et al. 2012, Redo et al. 2012). Portanto, a dinâmica temporal dos fatores sociais e econômicos regionais podem ser bons indicativos da ocorrência espontânea de regeneração natural regionalmente (Lambin & Meyfroidt 2010, Rezende & Scarano 2017).

A regeneração natural de florestas tropicais pode também ser alavancada pelas condições ambientais regionais, uma vez que alguns condicionantes favorecem a dispersão e o

estabelecimento de novos indivíduos. Por exemplo, a existência de remanescentes florestais na configuração da paisagem aumenta as chances de chegada de propágulos, favorecendo a regeneração natural (Chazdon & Coe 1999). De maneira inversa, os fatores que aceleram as taxas de desmatamento podem também atingir as áreas em regeneração (Chazdon 2008). As condições climáticas, por afetarem diretamente na sobrevivência e crescimento das plantas, potencialmente afetam a regeneração natural (Chazdon et al. 2015). De fato, sabe-se que a regeneração florestal é fortemente influenciada pelo microclima – exposição à sombra, nível de umidade do solo, condições de temperatura e precipitação – que caracteriza a evapotranspiração, condição determinante nos processos de regeneração (Noble & Alexander 1977). Assim, conhecendo-se os fatores ambientais que favorecem a regeneração natural e sabendo-se a variação espaço-temporal dos mesmos, é possível prever a efetividade desta estratégia em amplas escalas.

A Mata Atlântica brasileira é a segunda maior floresta tropical das Américas, abrigando grande diversidade de espécies, relevo e fitofisionomias vegetais (Marcilio-Silva et al. 2017) e que foi reduzida a 15,2% de sua área inicial (SOS Mata Atlântica 2018, Rezende et al. 2018), principalmente devido a expansão das atividades agropecuárias nos séculos XIX e XX (Scarano & Ceotto, 2015; Costa et al. 2017). Tanto neste bioma como nos demais biomas brasileiros, a Lei de Proteção à Vegetação Nativa (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) determina a necessidade de preservar ou restaurar as áreas de preservação permanente e as reservas legais. Tratam-se de áreas com funções ecossistêmicas específicas, tais como a preservação dos recursos hídricos, a estabilidade geológica e proteção dos solos, e a conservação da biodiversidade, além da função de assegurar o uso sustentável dos recursos naturais, em todas as propriedades rurais brasileiras (PLANAVEG 2017). A aplicação deste instrumento legal federal gerou uma demanda por uma restauração de 12 milhões de hectares até 2030, dos quais 38% encontram-se na Mata Atlântica. Assim, há um passivo significativo para a restauração nesta região, o que tem motivado iniciativas grandes de restauração, como o Pacto de Restauração da Mata Atlântica (Rodrigues et al. 2009). Embora esta demanda seja urgente e a regeneração natural se caracterizar como uma possível estratégia para o cumprimento destas metas, ainda não se sabe quais fatores podem favorecer a regeneração natural em escalas amplas.

Neste trabalho investigaram-se os principais fatores condicionantes de regeneração natural no estado do Paraná nos últimos 30 anos (1974 a 2016), a fim de identificar processos que possam favorecer a restauração passiva como estratégia de restauração em larga escala no estado. A evolução da área do estado com regeneração natural foi relacionada com as características econômicas (produção agropecuária e PIB), sociais (IDH e percentuais de

populações rurais e urbanas) e ambientais (declividade, evapotranspiração, desmatamento, remanescentes de vegetação), buscando identificar quais fatores são seus melhores preditores, como subsídio para a tomada de decisão.

## **Material e Métodos**

### ***Área de Estudo***

O estudo foi realizado no Paraná, um dos três estados da região sul do Brasil. O estado apresenta a décima quinta maior extensão territorial (199.307,939 km<sup>2</sup>) e, pelo censo demográfico de 2010 (IBGE 2010), concentra a sexta maior população (10.444.526 habitantes) entre os estados brasileiros. Seu território é dividido em 399 municípios (Fig. 1), agrupados em 12 regiões, de acordo com o Zoneamento Ecológico-Econômico do estado (Figura S1, Material Suplementar): Planície Costeira, Serra do Mar, Região Metropolitana de Curitiba Sul, Campo Largo – Adrianópolis, Prudentópolis – Jaguariaíva, Ortigueira – Ibatí, União da Vitória – São Mateus do Sul, Guarapuava – Pitanga, Palmital – General Carneiro – Céu Azul, Realeza – Palmas, Foz do Iguaçu – Londrina e Paranavaí – Umuarama (ZEE 2019). Sua economia é marcada em grande parte pela produção agropecuária, representando 13% da produção total de todo o país (incluindo lavouras permanentes, temporárias e silvicultura) (ITCG 2018, IBGE 2018, IPARDES 2018, ZEE 2019). O estado tem o 5º maior IDH entre os estados do país, com índice de 0,749, e um PIB de 421.914 milhões de reais (IBGE/IPARDES 2018).

Ao longo dos anos, o estado do Paraná sofreu um processo de ocupação territorial que marcou a dinâmica da sua economia, especialmente o setor primário. A ocupação das suas terras, que antes eram constituídas somente por florestas nativas, foi substituída, quase que integralmente, por áreas de agricultura e áreas urbanizadas, marcando um intenso processo de atração de população para os centros urbanos e o aumento da sua produção agropecuária nas áreas rurais (ZEE 2019). Com grande diversidade de produção agrícola, o estado está entre os principais produtores de soja do país, além de ter grande representatividade nas produções de milho, trigo, feijão e cana de açúcar (ZEE 2019).

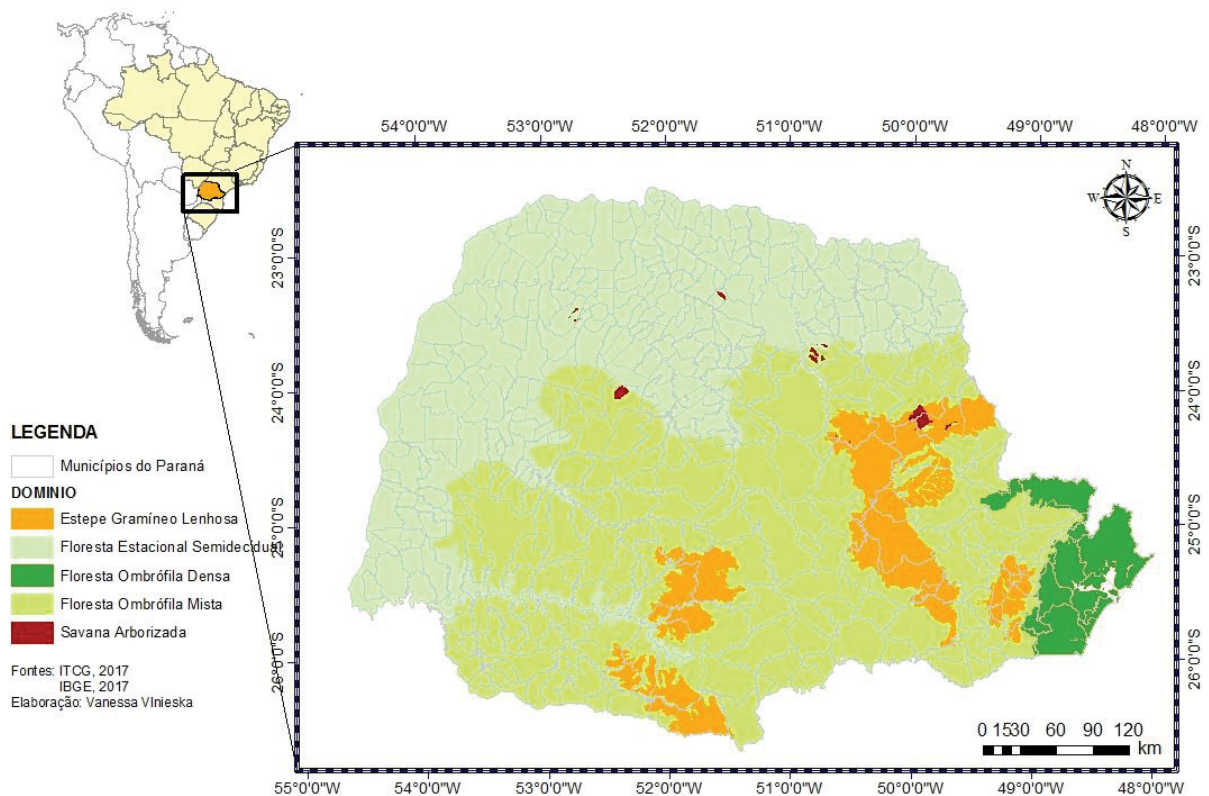


FIGURA 1 – Localização do estado do Paraná e seus tipos vegetacionais originais.

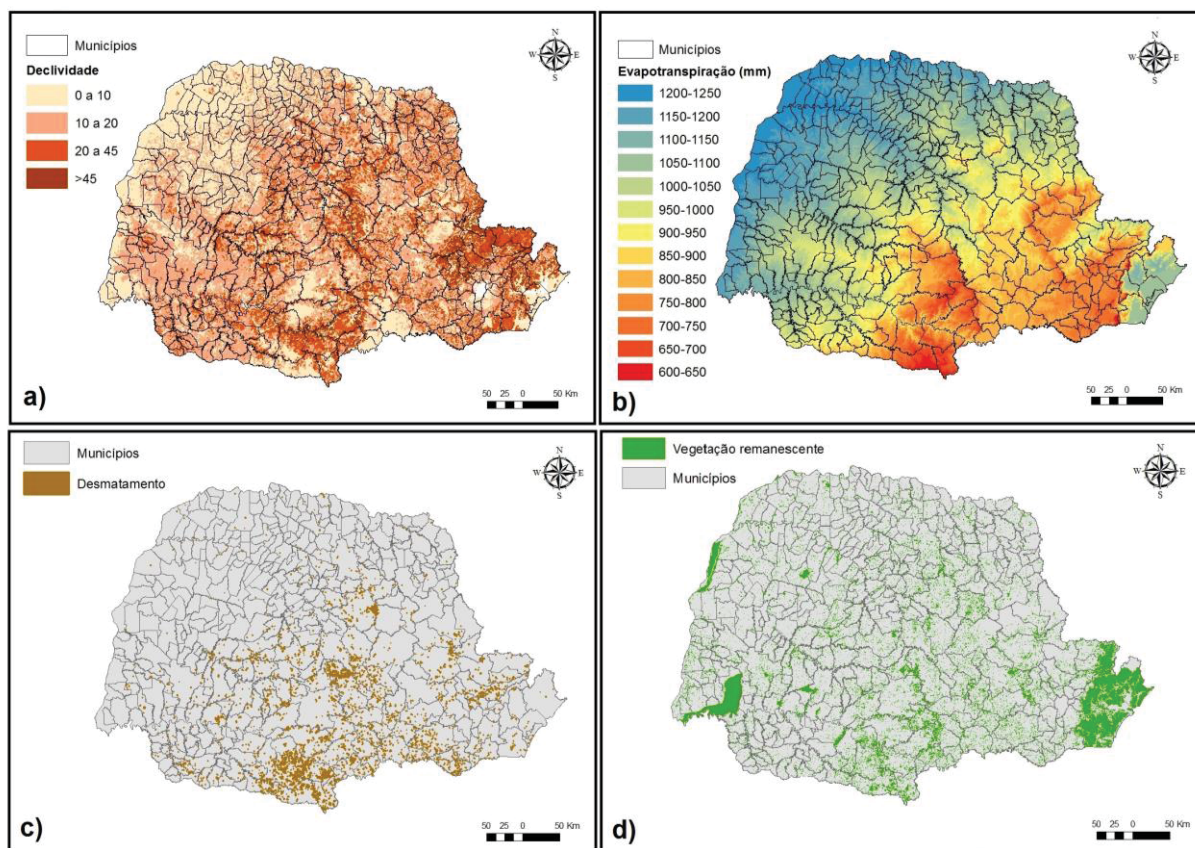
O estado apresenta um relevo bem diversificado. No litoral, a planície litorânea apresenta altitudes baixas e é entremeada por baías. A Serra do Mar, com cumes superiores a 1800 metros de altura, é uma cadeia de montanhas que divide o litoral e o Primeiro Planalto, tendo este último, altitudes de até 1200 m. Segue-se então o Segundo Planalto (Planalto de Ponta Grossa), com relevo ondulado e altitudes entre 350 a 1200 metros. Finalmente, o Terceiro Planalto (Planalto de Guarapuava), ocupa a maior parte do estado e apresenta altitudes entre 200 e 1250 metros (Maack 2002). No geral, as altitudes variam de 0 a 1877 metros (Pico Paraná) e a declividade de 0 a superior a 60% (Fig. 2a) (Santos et al. 2006).

Os solos predominantes são Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Argissolos e Cambissolos, os quais cobrem cerca de 94,5% do território, além de áreas de Gleissolos, Organossolos, Espodossolos e Chernossolos, afloramentos de rocha, lâmina de água e manchas urbanas (5,5%) (Larach et al. 1984). Segundo o mapeamento climático do Brasil (IBGE 2002), no norte, leste e parte do oeste do estado ocorre o clima Tropical dos tipos super-úmido e úmido. Em parte do oeste do estado e nos setores central e sul ocorre o clima Temperado. A evapotranspiração (evapotranspiração potencial, ETp), medida por uma rede de estações meteorológicas operadas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e pelo Instituto

Tecnológico SIMEPAR, segundo mesma metodologia utilizada para o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do estado do Paraná, varia entre 600 a 1250 mm ao ano (Fig. 2b).

A cobertura vegetal do estado era, predominantemente, florestal, a qual está inserida dentro dos domínios do bioma Mata Atlântica (Ogawa et al. 1990). A vegetação (Fig.1), de acordo com a classificação do ITCG (2017), se diferencia em Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual e pequenas porções de Estepes (Campos) e Savanas (Cerrado). No litoral, também ocorre a Vegetação Pioneira com Influência Marinha (restinga) e Vegetação Pioneira com Influência Flúvio-marinha (manguezais) (Roderjan et al. 1993).

A destruição das formações florestais do estado do Paraná e o intenso desmatamento iniciou-se a partir de sua colonização agrária, por volta de 1820 (Kronen 1990). Na época, o estado era grande produtor de erva-mate, havendo períodos em que o produto representou 85% da economia paranaense, acarretando em intensos processos de intervenção na Floresta Ombrófila Mista. A subsequente exploração do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) para madeira e pinhão, ultrapassaram a exportação da erva-mate, consolidando-se o mercado da araucária e alterando ainda mais estas florestas (Hauer 2010). Desde então, houve uma intensa alteração do ciclo de culturas, incluindo lavouras anuais para produção de forragem para alimentação animal. Após o esgotamento da fertilidade natural do solo, a área de lavoura era abandonada, permitindo a regeneração da floresta. Esse sistema de rotação e exploração perdurou até o início do século XX, quando se iniciou o ciclo do café, especialmente nas regiões norte e noroeste do estado, que até então não haviam sido desmatadas (Wilkinson 1974; Wachowicz 1977; Maack 1968). Além deste longo histórico de desmatamento, o estado ainda tem sofrido com a supressão da vegetação nos últimos anos (Fig. 2c), resultando numa cobertura florestal de apenas 15,2% (SOS Mata Atlântica 2018) (Fig. 2d).



Elaboração: Vanessa Vinieska

FIGURA 2 – Caracterização ambiental do estado do Paraná: a) declividade (2010), b) evapotranspiração (2019), c) desmatamento (2000-2013), d), remanescentes de vegetação (2013). Fontes: SOS Mata Atlântica (2017) e ITCG (2010).

### Obtenção e preparação dos dados

Foram utilizados os dados de regeneração natural (Fig.3) dos municípios da Mata Atlântica coletados no período de 1984 a 2013 (SOS Mata Atlântica 2018). Além disso, utilizamos informações disponíveis em fontes oficiais estaduais (ITCG, 2017) e federais (IBGE 2018) para caracterizar cada município do estado em termos dos condicionantes ecológicos (desmatamento, cobertura vegetal, declividade e evapotranspiração), econômicos (PIB e produções agropecuárias) e sociais (IDH e populações rurais e urbanas). Nós selecionamos estas variáveis pois eram as que apresentavam a série histórica mais completa e que julgamos serem relevantes para explicar as taxas de regeneração natural (Martin et al. 2018; Tallis et al. 2015; Wainger & Mazzotta 2011; Olander et al. 2018).

A coleta de dados se deu através de busca ativa nas bases de dados, para os períodos de 1994 a 2013, que foi o intervalo com maior disponibilidade de dados históricos para o estado. A fim de condensar os dados das séries históricas em intervalos de tempo relevantes para o

estudo de seus efeitos sobre a regeneração florestal, nós resumizamos o conjunto de dados em dois períodos: 1994 a 2003 (período 1) e de 2004 a 2013 (período 2).

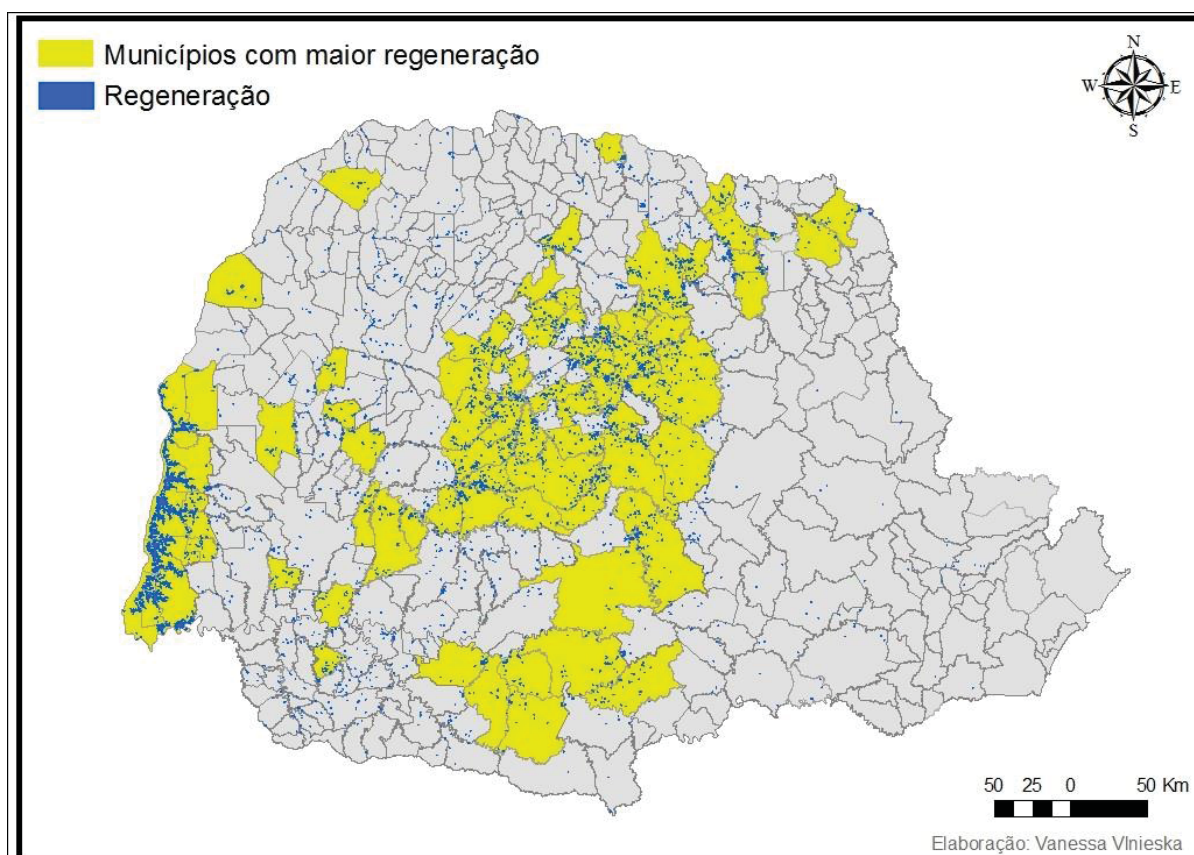


FIGURA 3 – Áreas florestais em regeneração natural no estado do Paraná no período de 1984 a 2013. Fontes: SOS Mata Atlântica (2017) e ITCG (2017).

### ***Variáveis ambientais***

Para as variáveis ambientais (Tabela S1, Material Suplementar), foram utilizados dados disponibilizados em formato *shapefile* e *raster*, todos processados em projeção UTM, fuso 22, *datum* SIRGAS 2000. O processamento dos *shapes* e *rasters* para o mapeamento e a interpretação das informações utilizou o software ArcGIS (ESRI) 10.6, para a espacialização das variáveis ambientais.

Para a declividade foram extraídos dados em formato *shapefile*, a partir do mapa oficial do estado, o qual diferencia quatro classes distintas (Fig 1a): 1, para áreas com variação de declividade de 0 a 10%; 2, de 11 a 20%; 3, de 21 a 45%; e 4, declividade maior que 46%. Após, utilizamos a ferramenta “Intersect” do ArcGIS para extrair a informação para os municípios, considerando a classe predominante como a representativa daquele dado município.

Para a evapotranspiração potencial, os dados foram extraídos em formato *shapefile* a partir do mapa que apresenta classes de evapotranspiração com a amplitude de variação a cada

50 mm (Fig. 2b). Nos dados originais, a evapotranspiração foi determinada em função da média aritmética dos totais mensais, estacionais e anuais para o período disponível de dados, seguindo o método de Thornthwaite (1948). Para caracterizar cada município, utilizamos a média da faixa de amplitude que mais predominou no município.

Para o desmatamento, foram consideradas as classes de “decremento de mata” e “decremento de restinga” na base de dados utilizada (SOS Mata Atlântica, 2018). Para a vegetação remanescente foram consideradas todas as classes que caracterizavam algum tipo de vegetação, sendo elas: “mata”, “campos naturais”, “mangue”, “restinga arbórea”, “restinga herbácea” e “vegetação de várzea”. A fim de se isolar a área de remanescentes apenas, a área de regeneração natural foi subtraída do total. Para estas três variáveis (desmatamento, vegetação remanescente e regeneração natural), foram calculadas as proporções da área do município.

### ***Variáveis sociais e econômicas***

Para as variáveis econômicas (Tabela S1, Material Suplementar) consideramos as produções agropecuárias e o Produto Interno Bruto (PIB) para cada um dos períodos de estudo. As variáveis agropecuárias analisadas foram: 1) efetivo de rebanhos (número de cabeças de bovinos), 2) lavoura permanente (produção de café), 3) lavoura temporária (algodão, arroz, cana, feijão, fumo, milho, soja e trigo), 4) silvicultura, que considera lenha (de eucalipto, pinus e outras espécies), tora (de eucalipto, pinus e outras espécies, para produção de papel e celulose e outras finalidades), carvão vegetal (de eucalipto, pinus e outras espécies) e outros produtos (casca de acácia-negra, folhas de eucalipto e resina) e 5) extração vegetal (erva mate, pinhão, carvão vegetal, lenha, madeira em tora e pinheiro brasileiro). Nos casos em que a cultura agrícola era composta por mais que um produto (lavoura temporária, silvicultura e extração vegetal), nós consideramos os valores médios dos produtos naquela categoria no município, a fim de condensá-los em uma variável mais representativa.

Para as variáveis sociais (Tabela S1, Material Suplementar), consideramos o Índice de Desenvolvimento Humano Médio (IDHM), que representa uma média dos IDHs de educação, longevidade e renda, além de população urbana e rural. Tanto para o IDH quanto para populações rurais e urbanas foram utilizados dados referentes aos censos dos anos de 2000 (período 1) e 2010 (período 2).

A variação do IDH, do PIB, das populações e de todas as produções foi avaliada entre os períodos, para cada município. A partir dessa variação, foi calculada a diferença entre os períodos, para então se obter a proporção (positiva ou negativa) dessa variação no intervalo de tempo considerado.

## **Análises Estatísticas**

Inicialmente todos os dados foram transformados (log10 e raiz quadrada) a fim de aproximar as escalas e os fatores se tornarem comparáveis, tendo em vista que os dados se apresentavam de magnitudes e unidades diferentes. Procederam-se as análises com dois recortes: um considerando o total dos 399 municípios (Recorte-399) e outro considerando apenas os 80 municípios (Recorte-80) com maior regeneração no estado (Fig. 3). Este procedimento foi realizado devido à grande variação dos dados de regeneração entre os municípios (de 0 a 6712 ha regenerados), bem como devido à ocorrência de vários municípios (65) com nenhuma regeneração. Assim, o Recorte-80 tem o objetivo de ratificar as análises feitas para o conjunto todo, uma vez que são dados supostamente com menores ruídos e representam aproximadamente 80% da regeneração ocorrente para o estado inteiro.

Para os dois recortes (Recorte-399 e Recorte-80), foram construídos modelos de regressões lineares simples, logarítmicas, exponenciais e polinomiais, a fim de verificar como cada variável preditora (cada condicionante ambiental, econômica e social) varia em função da ocorrência de regeneração natural nos municípios. Escolheu-se o modelo com maior coeficiente de regressão como o melhor para representar a relação (Montgomery & Peck 1992).

Além desta análise, foi realizada uma investigação dos efeitos combinados de todos os condicionantes (14) sobre a regeneração, considerando o recorte de 80 municípios. Para isso, procedeu-se com um Modelo Linear Generalizado - GLM (McCullagh & Nelder 1989) seguido de um método de regressão logística Stepwise (Chong & Jun 2005), que considera que todas as variáveis preditoras são passíveis de afetar a variável resposta (Austin 2002, Araújo & Guisan 2006, Bradie & Leung 2017). Esta análise tem a vantagem de permitir considerar um conjunto grande de variáveis preditoras, que, em geral, diminui a eficiência em outros modelos analíticos (Guisan et al. 2007, Austin & Van Niel 2011). Todos os dados analisados foram submetidos a uma análise de correlação de Pearson, a fim de se verificar colinearidade entre eles (Best & Roberts 1975, Hollander & Wolfe 1973). Para o GLM, o conjunto de dados analisados foi ajustado pela família quasibinomial para corrigir a sobredispersão dos dados.

Todas as análises foram realizadas nos pacotes AICcmodavg (Mazerolle 2015), lme4 (Bates et al. 2015) e ggplot2 (Wickham 2016) no ambiente R versão 2.15.3 (R Core Team 2017).

## **Resultados**

No geral, no período de 30 anos foi detectado um incremento de 90.717 ha da vegetação, área correspondente a 1,36% da vegetação total do estado, a qual foi atribuída à

regeneração natural. As regiões que mais apresentaram regeneração natural foram as Zonas 11 (Foz do Iguaçu – Londrina) e 9 (Palmital – General Carneiro – Céu Azul). Os 5 municípios onde foram registradas as maiores taxas de regeneração foram Santa Helena (8,83% da área do município), Itaipulândia (8,75% da área do município), Entre Rios do Oeste (8,63% da área do município), Pato Bragado (8,04% da área do município) e Santa Amélia (4,86% da área do município), todos localizados na Zona 11 – Foz do Iguaçu – Londrina.

### Recorte-399

Neste recorte de 399 municípios, entre todas as 14 variáveis preditoras estudadas, a regeneração foi significativamente ( $p < 0,05$ ) afetada pelo desmatamento, evapotranspiração, declividade, população rural e IDH (Figura 4). Os modelos apresentaram ajustes lineares e exponenciais; no entanto, embora significativas, as regressões apresentaram coeficientes de regressão baixos ( $< 0,1$ ), indicando grande dispersão dos dados. Assim, a evapotranspiração (Fig 4b), a declividade (Fig. 4c) e o incremento da população rural (Fig. 4d) foram positivamente relacionadas com as taxas de regeneração, enquanto as taxas de desmatamento (Fig 4a) e IDH (Fig. 4e) foram negativamente relacionadas.

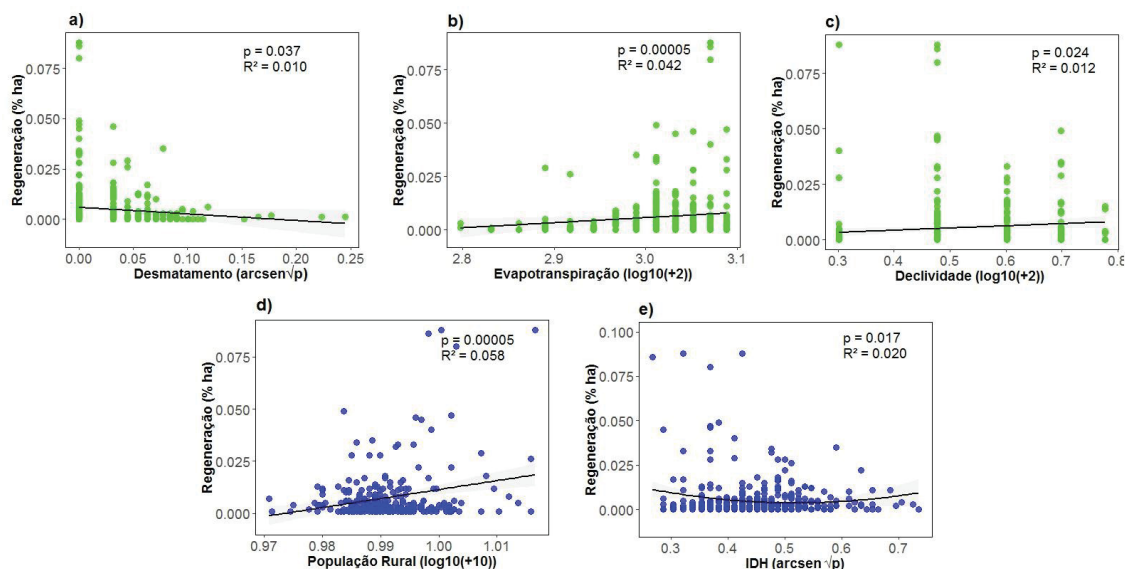


FIGURA 4 – Relações entre os fatores condicionantes ambientais (verde) e sociais (azul) sobre a taxa de regeneração da Mata Atlântica, no Paraná, no período de 1994 a 2013. N=399 municípios.

## Recorte-80

Neste recorte dos 80 municípios com maior regeneração, entre todas as 13 variáveis preditoras estudadas, a regeneração foi significativamente ( $p < 0,05$ ) afetada pelo desmatamento, evapotranspiração, declividade, população rural e IDH (Figura 5). Os modelos apresentaram ajustes lineares e exponenciais; no entanto, embora significativas, as regressões também apresentaram coeficientes de regressão baixos ( $\sim 0,1$ ). Assim, a evapotranspiração (Fig 5b) e o incremento da população rural (Fig. 5d) foram positivamente relacionadas com as taxas de regeneração, enquanto as taxas de desmatamento (Fig 5a), a declividade (Fig. 5c) e o IDH (Fig. 5e) foram negativamente relacionadas.

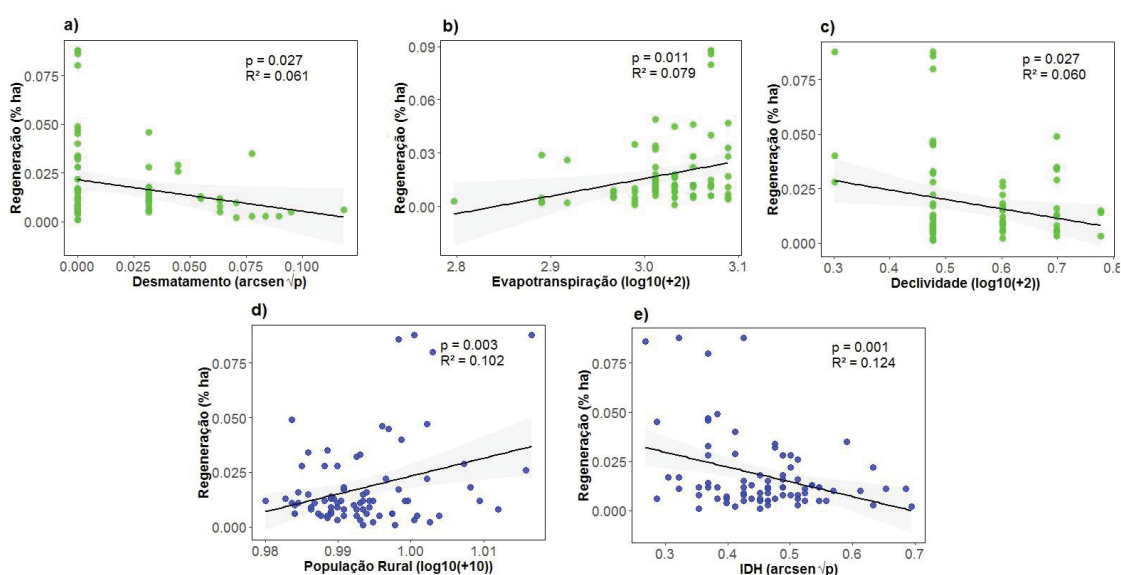


FIGURA 5 – Relações entre as condicionantes ambientais (verde) e sociais (azul) sobre a taxa de regeneração da Mata Atlântica, no Paraná, no período de 1994 a 2013. N=80 municípios.

Para o modelo completo dos 80 municípios com mais regeneração, a análise do GLM mostrou que, das 14 variáveis preditoras analisadas, apenas o incremento da população rural afetou a taxa de regeneração natural (Tabela 1).

TABELA 1 – Estimativa dos parâmetros do GLM dos efeitos das variáveis preditoras (fatores condicionantes) sobre a regeneração da Mata Atlântica no estado do Paraná.

Fator condicionante	EP	F	P
Vegetação	0,761	0,549	0,461
Desmatamento	0,760	0,530	0,469
Declividade	0,757	0,214	0,644
Evapotranspiração	0,790	3,139	0,081
IDH	0,797	3,774	0,056
População Urbana	0,755	0,057	0,810

<b>Fator condicionante</b>	<b>EP</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>População Rural</b>	<b>0,865</b>	<b>9,668</b>	<b>0,002**</b>
PIB	0,758	0,338	0,562
Efetivo de Rebanhos	0,756	0,102	0,749
Lavoura Permanente	0,756	0,183	0,670
Extração Vegetal	0,754	0,012	0,911
Lavoura Temporária	0,767	1,132	0,291
Silvicultura	0,754	0,004	0,944

## **Discussão**

Nesse trabalho analisamos os efeitos dos fatores ambientais, econômicos e sociais sobre a regeneração natural, usando o estado brasileiro do Paraná, como estudo de caso. Os resultados indicaram que, dentre os fatores analisados, a variação do desmatamento e do IDH entre os períodos afetaram negativamente a regeneração, enquanto que a evapotranspiração, a declividade e a população rural tiveram relação positiva. Embora parte destes resultados tenha sido esperada, pois identifica relações de causa e efeito já descritos na literatura, especialmente em relação ao ambiente (Baeza et al. 2007), as complexas relações entre os condicionantes sociais indicam que a tomada de decisão sobre estratégias de restauração deve ser feita num contexto muito mais amplo, com análise de múltiplos fatores.

O desmatamento atuou como um fator negativo para a regeneração natural do Paraná. Tais efeitos já foram previstos em outros estudos (Chazdon 2015) e aqui medidos e contextualizados no espaço territorial estudado. As atividades antrópicas afetam as taxas e natureza dos processos de recuperação dos sistemas naturais, especialmente por alterar a matriz da paisagem que desempenha um papel fundamental nos processos de recuperação local (Chazdon 2003). As altas taxas de desmatamento causadas pela forte extração de madeira, portanto, descaracterizam essas matrizes contínuas (Skole & Tucker 1993).

As condições ambientais determinadas pelo controle hídrico e térmico do ambiente, medidas pela evapotranspiração, afetaram positivamente a regeneração natural no período estudado. De fato, a temperatura e a precipitação, as quais afetam a evapotranspiração, são fatores climáticos fundamentais para a ocorrência da regeneração natural (Noble & Alexander 1977). As regiões mais quentes, mas com chuvas distribuídas por todo o ano, apresentam condições favoráveis para o estabelecimento e crescimento de plantas tropicais (Larcher 2000). Este é o caso da região noroeste do estado do Paraná, onde a evapotranspiração e as taxas de regeneração natural são altas, muito embora a cobertura vegetal remanescente esteja reduzida. Há ainda a possibilidade de uma interpretação inversa, onde a própria cobertura vegetal proporcionada pela regeneração natural possa afetar a evapotranspiração (Langford 1976; Hornbeck et al. 1993, Rodriguez-Iturbe 2000). Mas, observando-se o gradiente de

evapotranspiração sobreposto com a regeneração, parece menos provável. Um outro ponto a ser considerado é que uma das regiões com altas taxas de regeneração natural localiza-se no extremo oeste do estado, com grau intermediário de evapotranspiração, mas onde localiza-se o Reservatório da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional, e onde uma iniciativa de restauração ativa foi iniciada nos anos 1979 e resultou em 20.957 hectares de floresta restaurada (Itaipu, 2019). Este contingente representa 28% de toda a regeneração identificada para o estado no período analisado, porém, como é possível que nesta região a classificação visual das imagens orbitais não diferenciou floresta plantada de floresta regenerada, a interpretação destes dados específicos deve ser feita com cautela.

Houve relação significativa entre a declividade e a regeneração natural ocorrente no estado no período estudado, mas os resultados divergiram para os dois recortes analisados. A probabilidades de ocorrer regeneração são maiores em altas declividades (Tsitoni 1997). Isso ocorre porque estas áreas encontram-se menos povoadas e/ou utilizadas e mais ‘disponíveis’ para a ocorrência de processos naturais como a regeneração natural (Louzada et al. 2018). No recorte que representa a totalidade de municípios do estado (399 municípios), corroborou-se as relações encontradas na literatura, onde a área em regeneração foi maior nos municípios com maior declividade. Uma relação inversa foi bem explicitada quando analisado somente os 80 municípios com maior regeneração. Isto ocorreu por causa de 3 municípios (Guaíra, Itaipulândia e Santa Terezinha de Itaipu) que apresentaram grande regeneração por estarem localizados no extremo oeste do estado, em declividades baixas, porém no entorno de áreas da Itaipu Binacional, o que influenciou fortemente no resultado obtido, invertendo a relação. Trata-se de um resultado bem tendenciado por municípios de casos excepcionais, pois se localizados longe da Usina e em declividades baixas, provavelmente esses municípios não apresentariam o mesmo contingente de área regenerada.

Neste estudo, os municípios com maior regeneração natural apresentaram ainda um incremento da população rural no período estudado. Alguns estudos identificaram um aumento das iniciativas agroecológicas do campo na América Latina na década de 1990, aumentando o retorno das populações para o campo, dando origem a um fenômeno chamado "O retorno dos camponeses" (Pérez-Vitoria 2005), o que explicaria o aumento da população rural em determinadas regiões do estado nos últimos anos. Associado a isso, o estímulo a atividades agroflorestais em determinadas regiões, pode contribuir para aumentar a cobertura vegetal presente no estado, associado a um retorno do homem ao campo, especialmente em áreas de assentamento agrário. De fato, o número de assentamentos rurais passou de 87 no início de década de 1980 (IPARDES, 1992) para 329 nos anos atuais (INCRA, 2017), aumentando também iniciativas agroflorestais juntamente à agricultura familiar desses assentamentos. Áreas

com cultivo agroflorestal não são diferenciáveis de áreas de regeneração natural no procedimento de análise de imagem feito neste trabalho, sendo computadas como cobertura vegetal, o que explicaria as relações observadas. Além disso, é possível que tenha havido diminuição do uso do solo para agricultura nas propriedades rurais, devido a alternativas de produção que concentraram as atividades agropecuárias em apenas uma porção da propriedade rural. Por exemplo, nos últimos anos houve um aumento nas atividades de cooperativas agropecuárias de iniciativas de agroindústrias (Paraná Cooperativo 2004), que associam um sistema produtivo de pequena extensão a um produto agrícola industrializado e de alto valor de mercado, como por exemplo, produções de suínos, hortaliças, bicho da seda, entre outras, liberando áreas para a regeneração (Amorim & Staduto 2008).

Outro fator que afetou a regeneração natural do estado do Paraná nos últimos anos foi o desenvolvimento humano (IDH, Índice de Desenvolvimento Humano), mas de uma maneira não esperada, pois maior aumento do IDH esteve associado a menores taxas de regeneração num primeiro momento. Uma hipótese relevante para explicar essa relação é a de que o IDH pode conter informações de áreas urbanas e rurais, fazendo com que o IDH se apresentasse maior nos municípios da região em razão áreas urbanas e não das rurais, mesmo estas últimas sendo predominantes. O IDH é um fator bem associado à mudança da cobertura florestal (Redo et al. 2012) e alguns estudos mostram que regiões de maior IDH apresentam níveis avançados de desenvolvimento compatíveis com maiores níveis de conservação e recuperação florestal (Grau & Aide 2008, Rudel 2005). Em países desenvolvidos, o avanço social mais expressivo gera melhor desempenho ambiental, influenciando nas políticas sobre os recursos naturais e, consequentemente, sobre a restauração (Lehtonen 2004). Mas, em países subdesenvolvidos, que geralmente possuem um IDH de baixo a intermediário, a relação é inversa o que demanda uma busca de melhores políticas ambientais (Malul 2009). Este parece ser o caso do presente estudo, apresentando uma regeneração mais alta em regiões com baixo IDH e intermediária a crescente em municípios onde o IDH é mais alto. Regiões com IDH baixo tendem a ter menos uso da terra, maior cobertura vegetal e mais desmatamento recente. Estes fatores facilitam a regeneração natural (Latawiec et al. 2016). É importante ressaltar que todos os 399 municípios do estado apresentaram crescimento no IDH no período analisado, mas em áreas onde houve maior regeneração esse fator teve menor variação ao longo dos anos, ou seja, pode-se deduzir que em áreas menos produtivas, normalmente localizadas em maior declive e solos mais rasos, e que geralmente são usadas com uma pecuária de baixa produtividade ou mesmo uma menor área de uso, o IDH é pouco influenciado. De maneira oposta, áreas mais produtivas apresentam maior IDH. Isso significa que, aparentemente, os municípios com maior proporção de vegetação remanescente (e mais áreas protegidas), que também tinham pouca área disponível

para regenerar, não desenvolveram condições suficientes de saúde, educação e renda para seus cidadãos. De maneira prática, a tomada de decisão para o estado deve considerar este paradoxo, para que se haja desenvolvimento com sustentabilidade.

O presente estudo identificou ainda uma gama significativa de fatores sociais (IDH e população rural) influenciando diretamente na regeneração do estado. Na interpretação deste resultado, é importante ressaltar que os limites analíticos utilizados nos recortes do presente estudo (municipais) respeitam recortes sociais e econômicos somente, porém os mesmos não acompanham feições naturais do estado. Para o PIB, silvicultura, efetivo de rebanhos, extração vegetal, lavoura permanente, lavoura temporária e cobertura vegetal não foram encontradas relações significativas nos resultados encontrados. Isso pode ter ocorrido porque a interferência desses fatores na regeneração do estado para o período específico do estudo pode não ter sido direta, além de que estas condições podem ter efeitos combinados quando analisadas de maneiras diferentes e se mostrarem muito distintas e heterogêneas para cada região do estado.

### **Considerações Finais**

Embora o presente estudo tenha detectado padrões importantes para o estado, futuros estudos analisando a regeneração localmente e considerando limites naturais (por exemplo, ao nível de bacia hidrográfica), com o uso de dados geoespaciais de maior detalhe e mais precisão, poderiam melhorar a nossa compreensão sobre os condicionantes da regeneração natural. A tomada de decisão em restauração deve ser pautada por dados precisos que englobem as esferas ambiental, social e econômica. Os resultados deste estudo demonstraram que a escolha de uma estratégia de restauração de baixo custo, como a regeneração natural, não pode se furtar de compreender os fatores que geraram esta regeneração espontânea desde os indicadores mais amplos até as condições mais específicas de cada localidade, de forma a incluir todas as problemáticas sociais, ambientais e econômicas associadas a ela na tomada de decisão. Muitos estudos que investigam como aplicar melhores estratégias de restauração consideram apenas fatores ambientais como influentes, mas, pelos resultados aqui encontrados, a regeneração pode estar relacionada a uma multiplicidade de fatores de diferentes naturezas e não somente ambientais. É importante que isto seja levado em consideração, a fim de subsidiar tomadas de decisões mais assertivas para o sucesso da aplicação dessa estratégia de restauração.

## **Agradecimentos**

Agradecemos a ONG SOS Mata Atlântica e aos professores Claudinei Taborda da Silveira e Marciel Lohmann por cederem boa parte dos dados necessários à realização desta pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelas bolsas concedidas.

## Referências

- Amorim LSB, & Staduto JAR, 2008. Desenvolvimento Territorial Rural: a agroindústria familiar no oeste do Paraná, *Rev. de Economia Agrícola*, São Paulo, v. 55, n. 1, p. 15-29.
- Araújo MB, & Guisan A, 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1677–1688. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x
- Austin MP, 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157(2-3), 101–118. DOI: 10.1016/S03 04-3800(02)00205-3.
- Austin MP, & Van Niel, KP, 2011. Improving species distribution models for climate change studies: Variable selection and scale. *Journal of Biogeography*, 38(1), 1–8. DOI: 10.1111/j.1365- 2699.2010.02416.x
- Baeza MJ, Valdecantos A, Alloza JA, Vallejo VRm 2007. Human disturbance and environmental factors as drivers of long-term post-fire regeneration patterns in Mediterranean forests, *Journal of Vegetation Science* 18: 243-252.
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S, 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.<doi:10.18637/jss.v067.i01>.
- Barral MP, Benayas JMR, Meli P, Maceira NO, 2015. Quantifying the impacts of ecological restoration on biodiversity and ecosystem services in agroecosystems: A global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202:223-231.
- Benayas JM, et al., 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325, 1121–1124.
- Benayas JM, 2005. Restoring Forests After Land Abandonment. In: *Forest Restoration in Landscapes*. Springer, New York, NY.
- Benayas JM, Bullock JM, Newton AC, 2008. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and Environment* 6: 329– 336.
- Best DJ & Roberts DE, 1975. Algorithm AS 89: The Upper Tail Probabilities of Spearman's rho. *Applied Statistics*, 24, 377–379.
- Birch JC, Newton AC, Aquino CA, Cantarello E, Echeverría C, Kitzberger T, Schiappacasse I, Garavito NT, 2010. Cost-effectiveness of dryland forest restoration evaluated by spatial analysis of ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, v. 107, n 50, p. 21925-21930.
- Bonn Challenge, 2011. [www.bonnchallenge.org](http://www.bonnchallenge.org) (Acessado em 23 de março 2019).
- Bradie, J., & Leung, B. 2017. A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. *Journal of Biogeography*, 44(6), 1344–1361. DOI: 10.1111/j bi.12894.
- Chazdon RL, 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 6(1-2): 51-71.
- Chazdon RL, Brancalion, P. H., Lamb, D., Laestadius, L., Calmon, M., and Kumar, C.. 2015. A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. *Conserv. Lett.*. doi:10.1111/conl.12220.
- Chazdon RL, Coe FG, 1999. Ethnobotany of woody species in second-growth, old-growth, and selectively logged forests of northeastern Costa Rica. *Conserv. Biol.* 13: 1312– 1322.
- Chazdon RL, 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320: 1458– 1460.
- Chazdon RL, Guariguata MR, 2016. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. *Biotropica* 48(6): 716–730 2016.
- Chazdon RL, Uriarte M, 2016. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. *Biotropica*, v. 48, n. 6, p. 709-715. <https://doi.org/10.1111/btp.12409>.

- Chong IG, Jun CH, 2005. Performance of some variable selection methods when multicollinearity is present. *Chemometr Intell Lab Syst* 78: 103-112.
- Cole RJ, Holl KD, Zahawi RA, 2010. Seed rain under tree islands planted to restore degraded lands in a tropical agricultural landscape. *Ecol. Appl.* 20: 1255– 1269.
- Costa RL, Prevedello JA, Souza BG, Cabral DC 2017. Forest transitions in tropical landscapes: A test in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. Rio de Janeiro. *Applied Geography* 82:93-100.
- Cronkleton P, Larson AM, Feintrenie L, Garcia C, Levang P, 2013. Reframing community forestry to manage the forest–farm interface. *Small-scale For.* 12: 5– 13.
- Crouzeilles R, Ferreira MS, Chazdon RL, Lindenmayer DB, Sansevero JBB, Monteiro L, et al., 2017. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Sci Adv.* 3:1–8.
- Erskine PD, 2002. Land clearing and forest rehabilitation in the wet tropics of north Queensland, Australia. *Ecological Management and Restoration* 3: 135– 137.
- FAO, Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2015. *Global Forest Resources Assessment 2015*. Roma.
- Franzel S, 1999. Socioeconomic factors affecting the adoption potential of improved tree fallows in Africa. *Agroforestry Systems* 47: 305–321.
- Forest Declaration, 2015. <https://www.forestdeclaration.org> (Acessado em 23 de março 2019).
- Grainger, A. 1995. *The Forest Transition: An Alternative Approach*. *Area* 27:242–51. Hill, P. 1963. *The Migrant Cocoa Farmers of Southern Ghana: A Study in Rural Capitalism*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Grau HR, Aide TM, 2008. Globalization and land use transitions in Latin America. *Ecol Soci* 13:16.
- Guisan A, Graham CH, Elith, J, Huettmann F, NCEAS Species Distribution Modelling Group. 2007. Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity and Distributions*, 13(3), 332–340. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2007.00342.x
- Hauer M, 2010. As florestas no Paraná: um processo de involução. In: Sonda C; Trauczynski SC (Org.). *Reforma agrária e meio ambiente – teoria e prática no Estado do Paraná*. Curitiba: ITCG, p. 27-44.
- Hollander M & Wolfe DA, 1973. *Nonparametric Statistical Methods*. New York: John Wiley & Sons. Pages 185–194.
- Hornbeck JW, Adams MB, Corbett ES, Verry ES, Lynch JÁ, 1993. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. *Journal of Hidrology*, 150: 323-344.
- IBGE, Censo Demográfico, 2010. Disponível em: < <http://geoftp.ibge.gov.br/>>.
- IBGE, Mapeamento Climático, 2002. Disponível em: < <http://geoftp.ibge.gov.br/>>.
- IBGE Cidades – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2018. Consulta a panorama estadual. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>>.
- IBGE/IPARDES, 2018. Contas Regionais do Brasil. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=publicacoes>>.
- INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2017. <http://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php> (Acessado em 23 de março 2019)
- Initiative 20x20, 2019. <https://www.initiative20x20.org> (Acessado em 23 de março 2019).
- IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. *Análise Conjuntural IPARDES*. Curitiba, v.40, n.1-2.
- IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 1992. *Assentamentos Rurais no Paraná*. Curitiba, Paraná, p. 260.
- Itaipu Binacional, 2019. [https:// www.itaipu.gov.br/meioambiente/reposicao-florestal](https://www.itaipu.gov.br/meioambiente/reposicao-florestal) (Acessado em 23 de março 2019).

- ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, 2017. Consulta a shapefile de vegetação. Disponível em: <  
<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9>>.
- ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, 2018. Consulta a shapefile municipal. Disponível em: <  
<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9>>.
- Jackson ST, Hobbs RJ, 2009. Ecological Restoration in the Light of Ecological History. *Science* 325:567-569
- Jones HP, Schmitz OJ, 2009. Rapid recovery of damaged ecosystems. *PLoS ONE* 4: e5653.
- Jordan W, Gilpin M, Aber J, 1987. *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research* (Cambridge Univ. Press, Cambridge).
- Kennard DK et al., 2002. Effects of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, v.162, n.1/2, p.197-208.
- Kronen M, 1990. A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná. Tradução de: Popper I; Back AM. Londrina: IAPAR. (IAPAR. Boletim Técnico, 30).
- Latawiec AE, Crouzeilles R, Brancalion PHS, Rodrigues RR, Sansevero JB, Santos JS, Millis M, Nave AG, Strassbrug BB, 2016. Natural regeneration and biodiversity: a global meta-analysis and implications for spatial planning, *Biotropica* 48(6): 844–855.
- Lambin EF, Meyfroidt P, 2010. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, v.27, n.2, p.108-118.
- Langford KJ, McGuinness JL, 1976. A comparison of modeling and statistical evaluation of hydrologic change, vol 12, 6.
- Larach JOI, Cardoso A, Carvalho APD, Hochmuller DP, Jorge FP, RA UMDJ, 1984. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná – relatório 1. Londrina: EMBRAPA: IAPAR, 791p.
- Larcher W, 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Rima Artes e Textos.
- Lehtonen M, 2004. The environmental-social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions. *Ecological Economics*, v.49, n.2, p.199-214.
- Louzada FLRO, Xavier AC, Pezzopane JEM, 2018. Climatological water balance with data estimated by Tropical Rainfall Measuring Mission for the Doce River basin. *Eng. Agríc* [online] 3. Disponível: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_artt\\_ext&pid=S0100-69162018000300376](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artt_ext&pid=S0100-69162018000300376). Acesso: 17 jul. 2018.
- Maack R, 1968. *Geografia física do Estado do Paraná*. 2ª ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981. 450 p.
- Maack R, 2002. *Geografia física do Estado do Paraná*. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial.
- Malul M, Hadad Y, Ben-Yair A, 2009. Measuring and ranking of economic, environmental and social efficiency of countries. *International Journal of Social Economics*, Vol. 36 Issue: 8, pp.832843, <https://doi.org/10.1108/03068290910967109>
- Marcilio-Silva V, Zwiener VP, Marques MCM, 2017. Metacommunity structure, additive partitioning and environmental drivers of woody plants diversity in the Brazilian Atlantic Forest. *Diversity and distribution*, v. 23, p.1110-1119.
- Martin DM, Mazzotta M, Bousquin J, 2018. Combining ecosystem services assessment with structured decision making to support ecological restoration planning. *Environmental Management* 62(3):608–618. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1038-1>
- Mather A, Needle C, 1998. “The Forest Transition: A Theoretical Basis.” *Area* 30:117–24.
- Mazerolle MJ, 2015. AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). Disponível em: <http://CRAN.Rproject.org/package=AICcmodavg>.
- McCullagh P, Nelder JA, 1989. *Generalized linear models*, 2nd edn. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton
- Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*, 2005. Island Press, Washington, DC.

- Montgomery DC & Peck EA, 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis*, 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York
- Noble DL & Alexander RR, 1977. Environmental Factors Affecting Natural Regeneration of Elgmann Spruce in the Central Rocky Mountains. *Forest Science*: 23: 420-429.
- Ogawa HY, Mattoso AQ, Custodio FA, 1990. Áreas silvestres, manejo e conservação da biodiversidade da Mata Atlântica. In: *Congresso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão - SP. Anais*. São Paulo: SBF, v. 1, 155 p. p. 144-148.
- Olander L, Johnston RJ, Tallis H, Kagan J, Maguire LA, Polasky S, Urban D, Boyd J, Wainger L, Palmer M, 2018. Benefit relevant indicators: ecosystem services measures that link ecological and social outcomes. *Ecological Indicators* 85:1262–1272.
- Paraná Cooperativo, 2004. <http://www.paranacooperativo.coop.br> (Acessado em 25 de março 2019).
- Palmer MA, Ambrose RF, Poff NL, 1997. Ecological Theory and Community Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, v. 5, n. 4, p. 291–300.
- Pérez-Vitoria S, 2005. Les Paysans sont de Retour. *Actes Sud*.
- Planaveg, 2017. <https://www.snif.florestal.gov.br> (Acessado em 25 de março 2019).
- R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Redo DJ, Grau RH, Aide TM, Clark ML, 2012. Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central PNAS, vol. 109, no. 23.
- Rezende CL, Uezu A, Scarano FR, Araujo DSD, 2015. Atlantic forest spontaneous regeneration at landscape scale. *Biodivers. Conserv.* 24: 2255– 2272.
- Rezende CL, Scarano FR, Assad ED, Joly CA, Metzger JP, Strassburg BBN, Tabarelli M, Fonseca GA, Mittermeier RA, 2018. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspect Ecol Conserv.*
- Rezende CL, Scarano FR, 2017. Conditioning factors and social consequences of ecological restoration. In: Benini RM, Adeodato S. (Eds.). *Forest Restoration Economy*. 1a ed. São Paulo: The Nature Conservancy. p. 64–73.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS, Lambin EF, Foley JA, 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461 (7263), 472-475. doi: 10.1038 / 461472a
- Roderjan CV, Kuniyoshi YS, Galvão F, 1993. As regiões fitogeográficas do Estado do Paraná. *Acta For. Bras, Curitiba*, n. 1, p. 1-6.
- Rodrigues RR, Brancalion PHS, Isernhagen I, 2009. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica.
- Rodriguez-Iturbe I. 2000. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate–soil–vegetation dynamics. *Water Resources Research* 36: 3–9.
- Rudel TK, 1998. Is There a Forest Transition? *Deforestation, Development, and Reforestation. Rural Sociology* 63:533–52.
- Rudel TK, et al., 2005. Forest transitions: Towards a global understanding of land use change. *Glob Environ Change* 15:23–31.
- Santos LJC, Oka-Fiori C, Canali NE, Fiori AP, Silveira CT, Silva JMF, Ross JLS, 2006. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*; 7( 2): 3-12.
- Scarano FR, Ceotto P, 2015. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodivers Conserv*, 24:2319-2331.
- SER - Society for Ecological Restoration International Science e Policy Working Group. The SER primer in ecological restoration (Version 2), 2004. Society for Ecological Restoration International Science e Policy Working Group. The SER primer in ecological restoration (Version 2). Disponível em: <<http://www.ser.org>>. Acesso em: 23/03/2019.

- Shimamoto CY, Padial AA, Rosa CM, Marques MCM, 2019. Restoration of ecosystem services in tropical forests: A global meta-analysis. Plos One.
- Silvestrini M et al., 2012. Natural regeneration in abandoned fields following intensive agricultural land use in an Atlantic Forest Island, Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, v.36, n.4, p.659-671, 2012.
- Skole D, Tucker, C, 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon. Satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260, 1905-191. doi:10.1126/science.260.5116.1905
- SOS Mata Atlântica, 2018. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, Período 2016-2017, Relatório Técnico. São Paulo.
- Suding K, Higgs E, Palmer M et al., 2015. Committing to ecological restoration. *Science*, 348,638- 640.
- Tallis H, Kennedy CM, Ruckelshaus M, Goldstein J, Kiesecker JM, 2015. Mitigation for one&all: an integrated framework for mitigation of development impacts on biodiversity and ecosystem services. *Environmental Impact Assessment Review* 55:21–34.
- Tsitoni T, 1997. Condições que determinam a regeneração natural depois de incêndios na *Pinus halepensis* inus (Moleiro, 1768) florestas de Kassandra Ppenínsula (Norte Greece). - *Fou. Ecol. Gerir.* 92: 199–208.
- ZEE, Zoneamento Ecológico- Econômico do estado do Paraná. 2019. Curitiba.
- Wachowicz RC, 1977. História do Paraná. 4ª ed. Curitiba: Editora Gráfica Vicentina Ltda., 185 pp.
- Wainger LA, Mazzotta M, 2011. Realizing the potential of ecosystem services: a framework for relating ecological changes to economic benefits. *Environmental Management* 48:710–733.
- Wickham H, 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wilkinson RG, 1974. *Pobreza e progresso: um modelo ecológico de desenvolvimento econômico*. Tradução de: Cristina Duarte. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 238 p.
- Wright SJ, Muller-Landau HC, 2006. The future of tropical forest species. *Biotropica* 38: 287– 301.

## Material Suplementar

Tabela S1 – Períodos de coleta para todas as variáveis ambientais, sociais, econômicas e unidades de estudo referência, além de suas fontes de coleta e unidades de medida.

Variável	Período de dados coletados	Período de dados analisados	Fontes	Unidades	
Regeneração	1984 a 2013	1994 a 2013	SOS Mata Atlântica	Hectares	
Desmatamento	2000 a 2016	2000 a 2013	SOS Mata Atlântica	Hectares	
Remanescentes	2000 a 2016	2000 a 2013	SOS Mata Atlântica	Hectares	
Limites municipais	-	2010	ITCG	Hectares	
Declividade	-	2019	ITCG	Classes de %	
Evapotranspiração potencial	1964 a 2012	1994 a 2013	ITCG	mm	
IDH	2000 e 2010	1994 a 2013	IPARDES	Índice	
População (rural e urbana)	2000 e 2010	1994 a 2013	IBGE	Pessoas	
PIB	1999 a 2015	1994 a 2013	IBGE	Mil reais	
Efetivo de Rebanhos	1994 a 2014	1994 a 2013	IBGE	Número de cabeças	
Lavoura Permanente	Café	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área destinada a colheita (hectares)
	Algodão	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada (hectares)
	Arroz	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada (hectares)
	Cana	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada (hectares)
Lavoura Temporária	Feijão	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada (hectares)
	Fumo	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada (hectares)
	Milho	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada (hectares)
	Soja	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada (hectares)
	Trigo	1974 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Área plantada

Variável	Período de dados coletados	Período de dados analisados	Fontes	Unidades	
				(hectares)	
Silvicultura	Carvão Vegetal	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (toneladas)
	Lenha	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (metros cúbicos)
	Madeira em tora	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (metros cúbicos)
	Outros	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (toneladas)
Extração Vegetal	Erva-mate	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (toneladas)
	Pinhão	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (toneladas)
	Carvão Vegetal	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (toneladas)
	Lenha	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (metros cúbicos)
	Madeira em tora	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (metros cúbicos)
	Pinheiro brasileiro	1986 a 2016	1994 a 2013	IBGE	Quantidade produzida (árvores abatidas)

Figura S1 - Zonas do Zoneamento Ecológico-Econômico do Paraná.

