



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO
GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS**

Tese de Doutorado

Luís Antônio dos Santos

Brasília, abril de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO
GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS**

Luís Antônio dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Coorientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen

Tese de Doutorado

Brasília/DF, abril de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO
GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS**

Luís Antônio dos Santos

Tese de Doutorado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Geografia, na área de concentração: Gestão Ambiental e Territorial

Aprovado por:

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior (UnB)
(Orientador)

Prof. Dr. David Luciano Rosalen (FCAV/UNESP)
(Coorientador)

Prof. Dr. Luiz Paulo Lopes Fávaro (FEA/POLI/USP)
(Membro Externo)

Prof.^a Dra. Andrea Flávia Tenório Carneiro (UFPE)
(Membro Externo)

Prof. Dr. Hideo Araki (UFPR)
(Membro Externo)

Brasília/DF, 28 de março de 2022.

DEDICATÓRIA

Quero registrar a minha gratidão à minha esposa Carla Braga, pelo incentivo, apoio e amparo emocional durante esses longos anos conturbados. E a Antônio Carlos Braga (meu sogro), em nome de todos os membros da família Braga.

AGRADECIMENTOS

O sustento vem de Deus! Samech Alef Lamed.

Agradeço, em memória, ao meu pai, à minha mãe e à minha sogra. À minha esposa, pelo apoio e compreensão. À minha filha, que talvez algum dia revisite essa história. E a todos os meus amigos que fizeram parte desta longa jornada (inesperada).

Agradeço ao meu orientador: Professor Osmar Abílio de Carvalho Junior, sem o qual este trabalho não seria possível. Por sua orientação imprescindível, pela amizade e paciência.

Agradeço, imensamente, pelos ensinamentos e por acreditar em mim. Que nos momentos de dúvida me motivou e me inspirou. E por ser esse grande mestre que me conduziu na busca pelo conhecimento.

Agradeço ao meu coorientador: Professor David Luciano Rosalen que, somou-se ao trabalho, no momento mais difícil, e me ajudou a encontrar o melhor caminho.

Agradeço ao Professor Luiz Paulo Lopes Fávaro, que foi solícito em todos os momentos, e contribuiu, principalmente, para validar os modelos.

Agradeço ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) pelo apoio e oportunidade, em nome dos servidores e amigos: Ana Cristina Portugal; José Leopoldo Ribeiro Viégas; Josias Alvarenga; Juciara do Nascimento Cesar; e Judson Matos e, especialmente, Sirley de Fátima dos Reis e a Coordenadora-Geral de Cadastro Eritânia Castro Machado de Sousa Brunoro.

Agradeço a Universidade de Brasília pelos momentos saborosos de convivência e busca do conhecimento. A todos os professores, em nome do Professor Valdir Adilson Steinke, Coordenador do Departamento de Geografia.

Agradeço aos professores examinadores: Andrea Flávia Tenório Carneiro e Hideo Araki.

Agradeço às revisoras: Helena Célia de Souza Sacerdote e Daniela Conceição Oliveira Teles. Aos amigos Luiz Cláudio Berreta e Roberto Carlos de Godoy (meu primo), pelos longos anos de amizade. E à toda a minha família: em nome da querida tia Zize (Rosires) que remete a eternos momentos de alegria.

“Eu nunca penso no futuro. Ele vem em breve”

(Albert Einstein)

Agradeço a Deus por Malu, um gato bilocado e às estrelas.

RESUMO

O Georreferenciamento dos Imóveis Rurais (Lei 10.267/2001), que usa um Sistema Geodésico de Referência (SGB), surgiu devido à desorganização fundiária brasileira. Os trabalhos passaram a ser elaborados por um profissional credenciado e certificados pelo INCRA. Imóveis abaixo de quatro Módulos Fiscais (MF), pertencentes à agricultura familiar, são considerados isentos de custos dos serviços de georreferenciamento. Dessa forma, o objetivo da presente pesquisa foi realizar a releitura da Lei 10.267, mostrar resultados, apresentar falhas e indicar possíveis soluções. O trabalho está dividido em seis capítulos: (a) o segundo realizou o diagnóstico da Lei 10.267/2001, considerando a estrutura de conexão entre os próprios artigos e parágrafos da lei. A forma de atuação e influência dos profissionais e municípios mais conectados, com base nos dados do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF). Essa etapa utilizou geoprocessamento, ciência de dados, análise de redes e análise de cluster (agrupamento); (b) o terceiro capítulo apresenta um modelo matemático baseado em regressão para dados de contagem, que permite estabelecer grades territoriais para alocação de recursos (profissionais credenciados), de acordo com a demanda de georreferenciamento dos imóveis da agricultura familiar e tendo como exemplo o estado do Paraná, aproveitando, novamente, os dados do SIGEF; (c) o quarto capítulo mostrou, principalmente, como as camadas de MF, de 1 a 4 MF, estão distribuídas transversalmente no estado do Paraná (camada por camada) e indicou que a maioria dos imóveis estão na primeira camada (camada dos minifúndios), por meio dos dados extraídos do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR), com o uso de geoprocessamento e análise fatorial por componentes principais (PCA); e (d) finalmente, o quinto capítulo, utiliza dados da consulta pública do SNCR, apresenta uma nova proposta de modelagem para os Módulos Rural (MR) e MF, com base na lei de escala e geometria fractal. Embora as etapas metodológicas sejam distintas, os capítulos estão concatenados, na busca do aprofundamento dos mesmos assuntos. A pesquisa apresenta várias contribuições significativas, e a mais relevante é a demonstração da possibilidade da criação de grades territoriais que permite, entre outras coisas, a estimativa de tempo para a execução dos serviços de georreferenciamento, o que amplia as possibilidades da gestão pública territorial. Os capítulos foram apresentados em forma de artigos e deixam em aberto várias questões que podem dar sequência ao trabalho, pois a área cadastral, embora seja muito antiga, encontra nas novas tecnologias, como: Big Data, Agricultura Digital, Blockchain, a robustez necessária para uma nova transformação.

Palavras-chave: Ciência de dados; modelos matemáticos com R; geoprocessamento.

ABSTRACT

The Georeferencing of Rural Properties (Law 10.267/01, which makes use of a Geodesic Referencing System (SGB), was created because of the disorganization of Brazilian lands and properties. All works started to be elaborated by a registered professional and certified by the National Institute of Settlement and Agrarian Reform (INCRA). Properties smaller than four Fiscal Modules (FM), belonging to family farming, are free from the costs of the georeferencing services. This way, the goal of this research is to provide a new reading of Law 10.267/01; to show results, present flaws and point out possible solutions. The paper is divided into six chapters: (a) the second makes a diagnosis of Law 10.267/01, considering the connection structure between its articles and paragraphs, the acting method of the professionals, and the influence of the most connected municipalities. It was based on the data provided by the Land Management System (SIGEF). This step made use of geoprocessing, data science, network analysis and cluster analysis; (b) the third chapter presents a mathematical model based on regression for counting data, which allows the establishment of territorial grids for resource allocation (registered professionals), according to the georeferencing demand of family farming properties. This step used the State of Paraná as an example, and it was once again based on the data provided by the SIGEF; (c) the fourth chapter shows how the FM layers between 1 and 4 FMs are distributed transversely in the State of Paraná (layer by layer), indicating that most of the properties are in the first layer (small properties). It was based on the data extracted from the National System of Rural Cadastre (SNCR), and made use of geoprocessing and principal component analysis (PCA); and (d) finally, the fifth chapter presents a new modeling proposal for the Rural Modules (RMs) and FMs. It was based on public data from the SNCR, and made use of scaling law and fractal geometry. Although the methodological steps are distinct, the chapters are connected, aiming for a deeper analysis of the same subjects. The research presents several significant contributions, the most relevant one being the demonstration of the possibility to create territorial grids that would allow, among other things, time estimation for the execution of the georeferencing services, increasing the possibilities of territorial public management. The chapters were presented in the form of articles, and open space to several questions that might represent a continuation of this work, since the land registration area, although very old, finds in new technologies such as Big Data, Digital Agriculture and Blockchain, the force needed for a new transformation.

Keywords: Data science; mathematical models with R; geoprocessing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1 Análise Estratégica da Lei 10.267/2001.....	14
Figura II.1 Representação Esquemática das Etapas do Trabalho.....	23
Figura II.2 Representação da Estrutura da Lei 10.267 — Baseada em seus artigos....	25
Figura II.3 Área georreferenciada e profissionais credenciados.....	29
Figura II.4 Correção das variáveis (de acordo com o agrupamento dos profissionais)	30
Figura II.5 Análise de cluster/agrupamento dos profissionais credenciados.....	31
Figura II.6 Correção das variáveis (de acordo com o agrupamento dos municípios)..	33
Figure III.1 Representação esquemática das etapas do trabalho.....	52
Figura III.2 W - Agrupamento walktrap; E - Agrupamento edge_betweeness – 2017.....	55
Figura III.3 W - Agrupamento walktrap; E - Agrupamento edge_betweeness – 2017-19.....	56
Figura III.4 Correlação das variáveis (Base final - 2017).....	57
Figura III.5 Correlação das variáveis (Base final – 2017-2019).....	57
Figura III.6 Histograma de superdispersão dos profissionais - 1 e 3 anos.....	58
Figura III.7 Gráfico do ajuste dos modelos de regressão - Poisson-Gama 1 e 3 anos..	60
Figura IV.1 Evolução demográfica do Estado do Paraná.....	75
Figura IV.2 Mapa geomorfológico do Estado do Paraná.....	76
Figura IV.3 Evolução Temporal do Censo Agropecuário (Abaixo de 4 M).....	80
Figura IV.4 Fator 1. Distribuição Espacial das Camadas de Módulo (1 a 4 MF).....	81
Figura IV.5 Fator 2. Distribuição Espacial das Camadas de Módulo (1 a 4 MF).....	82
Figura IV.6 Relação do número de imóveis e a área total, por camada de MF.....	83
Figura IV.7 Zonas Típicas de Módulo (ZTM). Tabela Incra (2015).....	84
Figura IV.8 Mapa de síntese com a soma dos rankings das camadas.....	84
Figura V.1 Representação esquemática das bases de dados utilizadas	99
Figura V.2 Distribuição dos MR, de acordo com a escala populacional.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro III.1 Resultado dos agrupamentos walktrap, edge_betweeness e infomap – Recorte temporal 2017 – 80.880 observações.....	54
Quadro III.2 Resultado dos agrupamentos walktrap, edge_betweeness e infomap – Recorte temporal 2017-2019 – 279.023 observações.....	55
Quadro III.3 Diagnóstico da superdispersão – Overdisp.....	58
Quadro III.4 Parâmetros dos modelos e significância estatística – Base final 2017..	59
Quadro III.5 Parâmetros dos modelos e significância estatística – Base final 2017- 2019.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1 Agrupamento dos profissionais em 10 grupos, usando 2 variáveis.....	31
Tabela II.2 Agrupamento dos profissionais em 10 grupos, usando as 3 variáveis.....	32
Tabela II.3 Agrupamento dos municípios em 10 grupos, usando as 3 variáveis.....	33
Tabela V.1 Valor dos Módulos Rurais - Instrução Especial/Incra/nº 05-a.....	95

Tabela V.2 MR variando de 15 a 1 hectare, à medida que a população dobra (População IBGE, 2011).....	101
Tabela V.3 Incremento dos MR, variando de 1 a 15 hectares, à medida que a população é dividida por dois, de acordo com a eq.06. Para $\alpha = 1,15$	101
Tabela V.4 Porcentagem das Propriedades Familiares (abaixo de 4 MF). Resultado da divisão da Área Total de todos os imóveis pelos MF apresentados.....	104
Tabela V.5 Resultado da avaliação dos MF das principais cidades do estado.....	104
Tabela V.6 Avaliação dos municípios vizinhos a Centenário do Sul.....	105
Tabela V.7 Agricultura Familiar – número de imóveis principais cidades.....	105
Tabela V.8 Agricultura Familiar – número de imóveis Centenário do Sul.....	106
Tabela V.9 Agricultura Familiar – Área total principais cidades.....	106
Tabela V.10 Agricultura Familiar – Área total Centenário do Sul.....	107

Sumário

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
I. APRESENTAÇÃO	12
I.1 Introdução.....	12
I.2 Objetivo Geral.....	14
I.3 Estrutura da Tese	15
Referências	16
II. DIAGNÓSTICO DA LEI 10.267/2001: ESTRUTURA E ATUAÇÃO DOS PROFISSIONAIS.....	18
Resumo	18
Abstract.....	19
II.1 Introdução	20
II.2 Material e Método.....	21
II.3 Resultados e Discussão	24
II.3.1. Análise de rede da Lei 10.267/2001	24
II.3.2 Contexto Geral e Ordenamento Jurídico	25
II.3.3 Distribuição dos profissionais e dos trabalhos de georreferenciamento	28
II.3.4 Agrupamento dos profissionais	29
II.3.5 Agrupamento dos Municípios	32
II.4 Conclusão.....	34
Referências	34
III. MODELAGEM MATEMÁTICA E ANÁLISE DE REDE PARA A GRADE TERRITORIAL DE IMÓVEIS RURAIS	42
Resumo	42
Abstract.....	43
Résumé	44
Resumem	45
III.1 Introdução.....	46
III.2 Metodologia.....	48
III.2.1 O estudo das redes	48
III.2.2 Base de Dados (Data Frame) SIGEF	49
III.2.3 Ferramentas de Análise e Geoprocessamento.....	49
III.2.4 Representação matemática da rede	50
III.3 Resultados e Discussão.....	52
III.4 Conclusão	60

Referências	61
IV. CLASSIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES FAMILIARES NO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL) POR CAMADA DE MÓDULO FISCAL	68
Resumo	68
Résumé	69
Abstract.....	70
IV.1 Introdução	71
IV.2 Área de Estudo.....	72
IV.3 Materiais e Método	75
IV.3.1 Obtenção e pré-processamento.....	76
IV.3.2 Análise por componentes principais (Principal Component Analysis — PCA)	76
IV.4 Resultados e Discussão	77
IV.5 Conclusão.....	83
Referências	83
V. LEI DE ESCALA E DIMENSÃO FRACTAL PARA ADUZIR OS VALORES DOS MÓDULOS FISCAIS MUNICIPAIS — PARANÁ (BRASIL).....	88
Resumo	88
Abstract.....	89
Résumé	90
V.1 Introdução	91
V.2 Referencial Teórico	92
V.2.1 Módulo rural e fiscal.....	92
V.2.2 Cálculo do módulo rural	94
V.2.3 Mudança de paradigma — lei de escala	95
V.2.4 Dimensão Fractal.....	96
V.3 Área de Estudo	96
V.4 Material e Método	96
V.4.1 Modelagem fundiária — usando lei de escala.....	98
V.4.2 Conexão matemática.....	100
V.5 Resultados e Discussão	101
V.6 Conclusão.....	105
Referências	106
VI. CONCLUSÃO.....	111

CAPÍTULO

I. APRESENTAÇÃO

I.1 Introdução

O conceito de Propriedade Familiar está relacionado com a definição de Módulo Rural (MR), “[...] que é o imóvel que direta e pessoalmente seja explorado pelo agricultor e sua família, absorvendo toda a sua força de trabalho e que ocasionalmente necessite da ajuda de terceiros, deve ser caracterizado com propriedade familiar” — Estatuto da Terra (ET) (BRASIL, 1964). Essa definição levanta a antiga questão indagada por Liev Tolstói: De quanta terra precisa um homem para viver? (TOLSTÓI, 1886).

A resposta, apresentada há mais de 100 anos, é: “[...] toda terra que um homem pode percorrer (a pé) em num único dia, saindo de um ponto, no alvorecer, contornando o perímetro desejado e retornando ao mesmo local no final do dia”. Essa ideia pode parecer apenas uma metáfora acerca do disparate da ambição humana, mas, curiosamente, à demarcação das sesmarias, em boa parte, foram realizadas dessa forma, utilizando o cachimbo, como instrumento de medição (SILVA, 2007), condicionado à distribuição irregular das terras do país, até atualmente (GUEDES; REYDON, 2012).

Devido a esse processo, surgiu, no Brasil, uma visão “rupestre” do direito de propriedade, desencadeando vários conflitos de ocupação (irregular) de terras, que remete à certeza da quase imutabilidade dos limites demarcados (ou grilados). Atualmente, isso é reforçado pela perspectiva tecnológica de que os limites fundiários podem ser captados “facilmente” por sensoriamento remoto (sensores embarcados em satélites ou drones).

Mas o modelo de agricultura do antigo Egito, como um antigo exemplo de cadastro de imóveis, mostra que nem sempre isso é possível, pois, naquela época, devido às variações das cheias do rio Nilo, os agricultores dependiam de trabalhos topográficos para redefinir os limites das terras inundadas (ROSS, 2017). Ao contrário da perspectiva atual, o Estado (Faraó) detinha o cadastro (localização) dos imóveis e se responsabilizava, anualmente, pela relocação das divisas, o que permitia o controle da produção e a cobrança justa dos impostos.

Portanto, pode não parecer óbvio, mas o ciclo anual da agricultura continua o mesmo: empréstimos bancários, hipotecas, compra e venda de imóveis, arrendamentos, inventários, partilhas etc., acontecem constantemente (SOTO, 2001; MICHELINI, 2012). Metaforicamente, é apenas uma forma diferente de inundação, que precisa ser captada, rotineiramente.

Assim, desde 2001, começou a ser criada, no Brasil, uma base de dados geoespacial, com precisão posicional de 50 cm, que depende do acompanhamento de um profissional credenciado para realizar a medição dos limites das propriedades (imóveis matriculados no cartório de registro

de imóveis) e a consequente descrição georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), o que possibilita ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) certificar que não existe sobreposição entre os polígonos demarcados/georreferenciados.

Podemos considerar que a história do cadastro rural, no Brasil, passou, resumidamente, por quatro fases: (a) de 1972 a 1992, que inclui a última Revisão Geral de Cadastro (RGC), que ficou conhecida como cadastro literal, ou declaratório, sem qualquer tipo de informação espacial. Os parâmetros atuais que definem módulo rural e módulo fiscal foram definidos nessa época; (b) historicamente, pouca coisa aconteceu nos anos 1990, em termos de cadastro de imóveis, mas o Massacre de Eldorado do Carajá, em 1996, e a Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) da Terra, em 1999, fizeram ressurgir as discussões cadastrais, que envolvem os conflitos agrários na região norte e, principalmente, a grilagem de terras públicas; (c) de 2003 a 2013, com a criação do Sistema Nacional de Cadastro de Imóveis (SNCI), na primeira etapa da aplicação da Lei 10.267 (BRASIL, 2001), que considerava o georreferenciamento do perímetro total os imóveis; e; (d) de 2013, em diante, com a utilização do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), que passou a considerar a matrícula dos imóveis rurais como portadora da estrutura fundiária (ROSALEN, 2014; REYDON, B. P. *et al.*, 2015; MARRA, 2017).

Mas, além disso, mesmo com todos os avanços do Big Data e da Internet das Coisas (IoT), a maioria das propriedades brasileiras ainda não são gerenciadas de forma digital (BASSOI *et al.*, 2019), estão desconectadas, e não conseguem produzir informações redundantes acerca de: custos de produção, rendimento agrícola, ou produtividade dos talhões etc., que possam ser captadas, constantemente/diretamente, pelos órgãos de terra/cadastro. Isso comprova que as melhorias na qualidade dos dados cadastrais passam pelo aperfeiçoamento da cultura cadastral brasileira, que consideram, antes de tudo, questões administrativas, institucionais, legais e, principalmente, políticas.

Mas como o avanço da integração entre diferentes bases de dados e com o rastreamento de produtos, novas formas de informação poderão ser usadas para redefinir, ou atualizar, os parâmetros de MR e, conseqüentemente, dos Módulos Fiscais (MF). “Unindo fatores que podem estabelecer uma unidade de medida que exprima a interdependência, ou relação causal, entre a dimensão, a situação geográfica dos imóveis rurais e a sua forma ou condições de aproveitamento econômico”, de acordo com o Decreto 55.891 (BRASIL, 1965), que regulamenta itens do Capítulo I e IV do ET (BRASIL, 1964). A **figura I.1** faz um resumo dos principais pontos que serão discutidos no trabalho.



Figura I.1 Análise Estratégica da Lei 10.267/01

Os limites legais das propriedades brasileiras são construções sociais que não correspondem, fielmente, aos referenciais físicos, pois oscilam, constantemente, em função da dinâmica territorial, de acordo com fluxos econômicos que podem produzir cheias ou secas (crises) de longo prazo. A Lei 10.267/2001 mantém o paradigma da necessidade da presença de um profissional responsável para definir/garimpar as virtualidades dos limites/matrículas dos imóveis que precisam ser georreferenciados. A tecnologia blockchain surge como uma nova correnteza que pode provocar inundação, mas agora de dados (TORUN, 2017; FAO, 2019), que poderão ser controlados/captados, constantemente, ampliarão o fluxo de informação entre os Serviços de Registro de Imóveis, ou Cartórios de Registro de Imóveis (CRM), os Serviços Notariais, ou Tabelionatos, que envolvem as Escrituras Públicas (EP) e o INCRA.

Tanto o MR quanto o MF são variáveis, mas foram fixados há mais de 40 anos (INCRA, 1973, 1980). São heranças de um ordenamento (jurídico) agrário que, praticamente, não existe mais, pois as variáveis que definem, a princípio, o módulo rural, foram completamente modificadas. O ET (BRASIL, 1964), quando trata dos MR, primeiramente, considera a questão do Zoneamento, do ponto de vista do potencial demográfico, socioeconômico e das características da estrutura agrária. Todas essas questões precisam ser revistas, e ampliadas as possibilidades dos estudos territoriais/cadastrais.

I.2 Objetivo Geral

A presente trabalho possui como objetivo geral analisar o desempenho da Lei 10.267/2001, que ficou conhecida como “Lei do Georreferenciamento dos Imóveis Rurais”, e mostra a importância da integração, fluxo de informação, INCRA-CRM e a necessidade das Revisões Gerais de Cadastro (RGC) para a gestão territorial brasileira, considera dados do

Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) e do SIGEF e aplica técnicas de modelagem matemática, geoprocessamento, análise de redes e ciência de dados, com base em ferramentas de software livre (QGIS e R).

I.3 Estrutura da Tese

A tese está estruturada no formato de artigos, conforme a Resolução Nº 1 – 2013 da norma para a elaboração gráfica das dissertações e teses do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília. Está subdividida em seis capítulos, que incluem a introdução e a conclusão. Os capítulos são artigos científicos concatenados e apresentam/desenvolvem diferentes metodologias.

O capítulo 2 faz uma análise exploratória dos dados georreferenciados, de todo o Brasil, no período 2013-2020; discute a Lei 10.267/2001 e a relação profissional-credenciado x município, considerando as seguintes variáveis: a) código dos profissionais credenciados (rt); (b) data da certificação; (c) código dos municípios; (d) código das unidades da federação (UF) e; (e) área em hectares dos imóveis georreferenciados. Este está pronto para ser submetido à Revista Geographies (MDPI). São apresentados três objetos: (a) fazer um diagnóstico da Lei 10.267/2001, por meio do uso da análise de rede, considerando a conexão entre os artigos e parágrafos da lei, com vistas a demonstrar a macroestrutura estabelecida para o ordenamento territorial brasileiro; (b) apresentar a distribuição do profissionais e dos serviços de georreferenciamento no território brasileiro, no período de 2013 a 2020; e (c) utilizar análise de rede e de agrupamento (cluster), separando a base de dados em dois grupos, de acordo com o agrupamento dos profissionais credenciados e dos municípios visitados.

O capítulo 3 explora a metodologia de análise de redes e discute, novamente, a relação profissional-credenciado x município-visitados, de acordo com a estrutura (variáveis) da rede, e está pronto para ser submetido à revista Finisterra. O objetivo do presente capítulo é analisar a estrutura da rede que compõe o mercado de georreferenciamento dos imóveis rurais, baseado na relação entre os profissionais credenciados e os proprietários de imóvel rural, de todos os estados brasileiros. Dois recortes temporais foram utilizados: o ano de 2017; e o triênio 2017-2019. O ano de 2017 foi escolhido por ser o limite do período obrigatório de 15 anos (escalonamento de área) para os imóveis rurais entre 100 e menores que 250 hectares. O triênio 2017-2019 contempla a transição para o novo período, até 2022, que envolve os imóveis entre 25 e menores de 100 hectares, de acordo com o decreto 9.311 (BRASIL, 2018).

O capítulo 4 procura mostrar um desajuste nos MF no estado do Paraná, com o uso de dados do SNCR, considerando apenas a variável Área Utilizada dos imóveis, que é a variável usada para calcular o número de MF de cada imóvel e, conseqüentemente, realizar a classificação das pequenas, médias e grandes propriedades. Este está pronto para ser submetido à revista Confins. O objetivo deste capítulo é discutir a questão da classificação dos MF, com o uso de

geoprocessamento e ciência de dados para fasear a validade do zoneamento atual e, conseqüentemente, apresentar uma nova perspectiva a respeito do assunto. A área de estudo é o estado da Paraná, com a sua respectiva caracterização e processos de ocupação.

O capítulo 5 propõe uma nova metodologia de cálculo para os Módulos Rural (MR) e Fiscal (MF), com base na lei de escala e geometria fractal. Este está pronto para ser submetido à revista Geografia. Este capítulo tem por finalidade demonstrar a necessidade da readequação dos valores dos MR e dos MF, considerando a interligação de ambos. Nesse contexto, a pesquisa possui os seguintes objetivos: (a) apresentar um modelo teórico para simular os valores dos MF; (b) comparar os resultados dos valores teóricos (abduzidos/aduzidos) com os valores atuais dos MF; incluindo os novos valores de MF que foram calculados em 2018 com base nos dados (Extração) do SNCR; e (c) considerar a manifestação, reclamação, por parte do município de Centenário do Sul, no estado do Paraná, que tem o Módulo Fiscal de 12 ha em uma região onde todos os seus vizinhos (municípios limítrofes) possuem valores de MF maiores do que 12 ha: (a) Porecatu: 16 ha; (b) Florestópolis: 14 ha; (c) Miraselva: 16 ha; (d) Jaguapitã: 16 ha; (e) Guaraci: 16 ha; (f) Cafeara: 16 ha e; (g) Lupionópolis: 14 ha.

Referências

BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, P. C. M.; SPERANZA, E. A. CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. **Revista digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, 2019. DOI: <https://doi.org/10.23925/1984-3585.2019i20p17-36>.

BRASIL. Lei Federal n. 10.267, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis nos 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. **Diário Oficial Eletrônico**, Brasília, DF, 28 ago. 2001. p. 1.

BRASIL. Decreto Federal 55.891, de 31 de março de 1965. Regulamenta o Capítulo I do Título I e a Seção III do Capítulo IV do Título II da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 — Estatuto da Terra. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 mar. 1965. p. 1.

BRASIL. Lei Federal 4.504, 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 nov. 1964, p. 49.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS —FAO. **E-agriculture in action: blockchain for agriculture opportunities and challenges**. FAO, 2019. Ebook Kindle.

GUEDES, S. N. R.; REYDON, B. P. Direito de propriedade de terra rural no Brasil: uma proposta institucionalista para ampliar a governança fundiária. Piracicaba-SP: **RESR**, v. 50, n. 3, p. 525-544, jul./set. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/6385/S0103-20032012000300008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 out. 2021.

MARRA, T. B. **Cadastro territorial no Brasil: modelam de posse e propriedade a partir do modelo para o domínio da administração de terras (LADM, ISO 19152)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de

Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31232>. Acesso em: 24 jun. 2018.

MICHELINI, C. R. **Legitimidade da Propriedade Rural**. Cuiabá: KCM Editora & Distribuidor, 2012.

REYDON, B. P.; FERNANDES, V. B.; TELLES, T. S. Land tenure in Brazil: the question of regulation and governance. **Land Use Policy**, n. 2, p. 509-516, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.09.007>.

SILVA, L. R. **Propriedade Rural**. Rio de Janeiro: Lumen Juris Editora, 2007.

ROSALEN, D. L. The Impact of the law 10,267/2001 in the brazilian rural registration. **Eng. Agríc, Jaboticabal**, v. 34, n. 2, p. 372-384, mar./abr., 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000200018>.

ROSS, S. **Histórias da antiguidade** — Egito antigo. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

SOTO, H. **O Mistério do capital**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2001.

TOLSTÓI, L.; ZUCHI, A. **De quanta terra precisa um home?** 1886. Ebook Kindle.

TORUN, A. Hierarchical blockchain architecture for a relaxed hegemony on cadastre data management and update: a case study for Turkey. *In: Uctea International Geographical Information Systems Congress*, 15-18 nov. 2017, Adana/Turquia. p. 1-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321485252_Hierarchical_Blockchain_Architecture_for_a_Relaxed_Hegemony_on_Cadastre_Data_Management_and_Update_A_Case_Study_for_Turkey. Acesso em: 13 ago. 2021.

CAPÍTULO

II. DIAGNÓSTICO DA LEI 10.267/2001: ESTRUTURA E ATUAÇÃO DOS PROFISSIONAIS

Resumo

A Lei 10.267/2001, conhecida como Lei Georreferenciamento de Imóveis Rurais, que cria o sistema Incra (Instituto Nacional de Reforma Agrária) x CRM (Cartório de Registro de Imóveis), proporcionou um avanço considerável na gestão territorial brasileira. O objetivo deste trabalho é apresentar como as informações são produzidas e consumidas dentro desse sistema, na busca por um diagnóstico dos seus resultados, que considera a atividade dos profissionais credenciados em interação com os municípios. O estudo teve por base a análise de rede e de agrupamentos (cluster). Observou-se que um grupo com 51,5% dos credenciados e 47,2% dos municípios visitados, apresentam grau baixo de conexão na rede não direcionada; o que pode indicar a necessidade da ampliação de estratégias regionais de desenvolvimento territorial (georreferenciamento). Entre 2013 e 2020, ocorreu um incremento de 34% no número de profissionais credenciados e foram realizados 585.208 serviços de georreferenciamento, o que resultou no levantamento de uma área total de 150.132.838,88 ha (1.501.328 km²). Ocorreu a estabilização do número de profissionais em estados das regiões Sul e do Sudeste; e crescimento no número de profissionais nos estados das regiões norte e nordeste. Entretanto, menos de 10% dos imóveis foram georreferenciados, com precisão de 50 cm, nesse período. Isso reforça a necessidade de ajustes na política, que vem desde 2001; com a implementação de novas iniciativas regionais, principalmente para atender aos imóveis com área abaixo de 4 MF, que são de responsabilidade do Estado.

Palavras-chave: Georreferenciamento; imóvel rural; profissionais credenciados; Lei 10.267/2001.

Artigo a ser submetido à Revista Geographies (MDPI).

Abstract

Law 10.267/2001, known as Law of Georeferencing of Rural Properties, and which created the Incra (National Institute of Settlement and Agrarian Reform) x CRM (Land Registry Office) system, allowed a considerable advancement in Brazilian territory management. The goal of this paper is to present how the information are produced and consumed inside this system, aiming for a diagnosis of its results, which consider the performance of registered professionals in interaction with the municipalities. The study was based on network and cluster analysis. It was possible to observe that a group of 51.5% of the registered professionals and 47.2% of the visited municipalities presented a low connection degree in the non-directed network; it can indicate the need to increase the number of regional strategies on territory development (georeferencing). Between 2013 and 2020, there was an increase of 34% in the number of registered professionals, and 585.208 georeferencing services were made, resulting in an area totalizing 150.132.838.88 ha (1.501.328 km²). There was stabilization in the number of professionals in the States of the South and Southeast, and growth in the number of professionals in the States of the north and northeast. However, less than 10% of the properties were georeferenced in this period, with a precision of 50 cm. It reinforces the need of adjustments in the policy, which dates from 2001, with the implementation of new regional initiatives, especially to attend the properties with an area smaller than 4 FMs (fiscal modules), which are under the State's responsibility.

Keywords: Georeferencing; rural property; registered professionals; Law 10.267/2001.

II.1 Introdução

A publicação da Lei Federal 10.267 (BRASIL, 2001), de agosto de 2001, conhecida como Lei do Georreferenciamento dos Imóveis Rurais, é uma das consequências da Portaria 558, do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), que, em 1999, impôs a todos os proprietários de imóveis, com área acima de 10.000 hectares, a necessidade de apresentar documentação comprobatória da origem dos títulos de propriedade, sob a suspeita, em todo o país, de aproximadamente 100 milhões de hectares serem de natureza fraudulenta (grilagem de terras) (GUEDES, REYDON, 2012; ROSALEN, 2014; AZEVEDO, 2018).

Portanto, um dos objetivos originais da Lei 10.267/2001 foi criar dificuldades para os Registradores Públicos, que estavam matriculando em nome de particulares, irregularmente, uma vasta e alarmante quantidade de terras públicas. “Chegando ao cúmulo do caso de duas áreas registradas no cartório de Canutama, Amazonas, uma com área de 1,5 bilhão de hectares e a outra com 12 bilhões de hectares. Destacando que a primeira corresponde à superfície do estado do Amazonas e a segunda é maior do que o território brasileiro” (CPI da Terra, 2001).

As matrículas fraudadas eram usadas para obter financiamentos para diversos tipos de projetos, “como no caso de madeiras que buscavam aprovar projetos de manejo florestal no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)” (INCRA/FAO, 2001). Diante disso, por mais que se diga que a “Certificação de Imóveis”, adotada pelo Incra, ou de acordo com o Cadastro Ambiental Rural (CAR), Lei 12.651 (BRASIL, 2012), não gera domínio, é preciso reconhecer a existência de uma expectativa de direito, o que distorce princípios do direito agrário e, muitas vezes, conduz à fraude (LAUDARES, SILVA, BORGES, 2014; PETERS; PIRES; PANASOLO, 2014; CASSETTARI, 2015; LIPORONI, BERNARDI, BENITE, 2017). Isso pode levar à utilização contrária do instrumento jurídico, se a norma não for aplicada corretamente e servir para ratificar ações fraudulentas, de grilagem de terra, o que causa os mesmos problemas que documentos anteriores (MICHELINI, 2012; SILVA, SANTOS, BORTOLON, 2017; TERENCE, 2019; MPF, 2020).

Dessa forma, na busca por referenciar o contexto histórico, três documentos são fundamentais para entender a necessidade do surgimento da Lei 10.267: a) o Relatório da Comissão Parlamentar de Inquérito Destinada a Investigar a Ocupação de Terras Públicas na Região Amazônica (CPI da Terra, 2001); b) o Perfil dos Proprietários/Detentores de Grandes Imóveis Rurais que não Atenderam a Notificação da Portaria 558 (INCRA/FAO, 2001) e: c) a própria Portaria 558 (INCRA, 1999).

No cenário descrito, ao Incra, foi atribuída a responsabilidade principal pela gestão da estrutura fundiária brasileira, o que desencadeou a obrigação compartilhada entre o Incra e a Secretaria da Receita Federal (SRF) de implementar o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR); um cadastrado de base compartilhada que deve ser alimentado por entidades

governamentais produtoras e fornecedoras de informações acerca do meio rural brasileiro (CARNEIRO *et al.*, 2010; ROSALEN, 2014; REYDON; FERNANDES; TELLES, 2015).

O problema é que a Lei 10.267/2001 sofreu do mesmo equívoco que a Lei 601, de 1850, conhecida como Lei de Terras (MICHELINI, 2012; OLIVEIRA; FISCHER, 2016), que esperava que os proprietários privados demarcassem as suas terras, de acordo com os prazos estabelecidos pelo Decreto 4.449 (BRASIL, 2002), para que, posteriormente, as terras públicas, ou não reclamadas, pudessem ser demarcadas por meio de ações de regularização fundiária (MICHELINI, 2012; MENEZES, 2015; MARRA, 2017; SANTOS *et al.*, 2018)

Mas se cabia, ao Incra, conduzir o processo de georreferenciamento dos imóveis rurais, de forma científica e inequívoca, parece que, pelas constantes prorrogações dos prazos do Decreto 4.449/02, foi o desinteresse do próprio Estado, corroído por interesses políticos e econômicos, contrários à regularização das terras públicas, que proporcionou o malogro da ação (MATTEI, 2012; NORDER, 2013; LAMOSO, 2019; SPAROVEK *et al.*, 2019).

Vários autores retratam a ineficiência cadastral brasileira, que alavanca injustiças sociais e provoca conflitos fundiários, representada por queimadas e desmatamentos que, muitas vezes, desviam o foco da verdadeira engenharia da espoliação (SAUER; LEITE, 2012; MENEZES, 2015; CELENTANO *et al.*, 2018; LAMOSO, 2019; NOGUEIRA; OSOEGAWA; ALMEIDA, 2019; TERENCE, 2019)

Portanto, qualquer proposta para simplificar a regularização de terras no país, de forma declaratória, devido a supostos custos operacionais, que desmotivam os proprietários de terra a georreferenciar os seus imóveis, pode provocar resultados históricos questionáveis (REYDON; COSTA, 2010; LAUDARES; SILVA; BORGES, 2014), uma vez que as ações fraudulentas, ou de grilagem de terras, começaram, assim, no Brasil: (a) primeiro, o posseiro declarava ao vigário que já estava naquela terra há muito tempo; e (b) depois, as transcrições precárias que deram origem às matrículas atuais, sem a menor possibilidade de identificar, corretamente, a localização das propriedades (MICHELINI, 2012).

Dessa forma, e dada a importância da lei de Georreferenciamento de Imóveis Rurais, o presente trabalho apresenta três objetivos: (a) fazer um diagnóstico da Lei 10.267/2001, por meio do uso da análise de rede, considerando a conexão entre os artigos e parágrafos da lei, para demonstrar a macroestrutura estabelecida para o ordenamento territorial brasileiro; (b) apresentar a distribuição dos profissionais e dos serviços de georreferenciamento no território brasileiro, no período de 2013 a 2020; e (c) utilizar análise de rede e de agrupamento (cluster), separando a base de dados em dois grupos, de acordo com o agrupamento dos profissionais credenciados e dos municípios visitados (NETTO; JURKIEWICZ, 2017; FÁVERO; BELFIORE, 2021).

II.2 Material e Método

II.2.1 Materiais

Foi usada a relação entre os artigos e parágrafos da Lei 10.267, para indicar sua fonte (Source) e alvo (Target). Nessa etapa, utilizou-se o software de análise de rede Gephi (BASTIAN; HEYMANN; JACOMY, 2009) e o pacote Igraph do Sistema Estatístico R (CSARDI; NEPUSZ, 2006; KOLACZYK; CSÁRDI, 2014) para representar, graficamente, a conexão entre os artigos da referida lei. Foram identificados 31 nós e 36 arestas (principais).

A base de dados (espacial) em shapefile foi obtida em 28/05/2021, do Acervo Fundiário do Incra, e faz parte do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), correspondendo a 638.677 polígonos (Georreferenciados), desde 2013. A área dos polígonos foi calculada em hectares, com o uso do software QGIS (GRASER, 2013, QGIS, 2021).

Selecionou-se as seguintes variáveis: (a) código dos profissionais credenciados (rt); (b) data da certificação; (c) código dos municípios; (d) código das unidades da federação (UF) e; (e) área em hectares dos imóveis georreferenciados. Foi realizado o corte para 31/12/2020, que resultou em 585.208 polígonos (georreferenciados). Além disso, aproveitou-se a tabela apresentada por Rosalen (2014), com a distribuição estadual dos profissionais credenciados.

Finalmente, foi utilizado o pacote factoextra do R (LEMENKOVA, 2019; KASSAMBARA; MUNDT, 2020) para análise de cluster, com o uso do algoritmo não supervisionado k-means, além de combinação do QGIS e do R para a produção de mapas e síntese estatística, com o uso dos pacotes tidyverse, sf e geobr (PEBESMA, 2018; WICKHAM *et al.*, 2019; PEREIRA; GONÇALVES, 2021).

II.2.2 Método

Foram calculados o grau da rede (não direcionada) para os profissionais credenciados e para os municípios, com o uso do pacote Igraph do Sistema Estatístico R (CSARDI; NEPUSZ, 2006; KOLACZYK; CSÁRDI, 2014). Na sequência, os dados foram agrupados em duas bases, com 12.010 e 5.251 observações, respectivamente; de acordo com a distribuição dos profissionais e dos municípios, concomitante com o cálculo do número de imóveis e área georreferenciada. A **figura II.1** exhibe o fluxograma das etapas do trabalho.

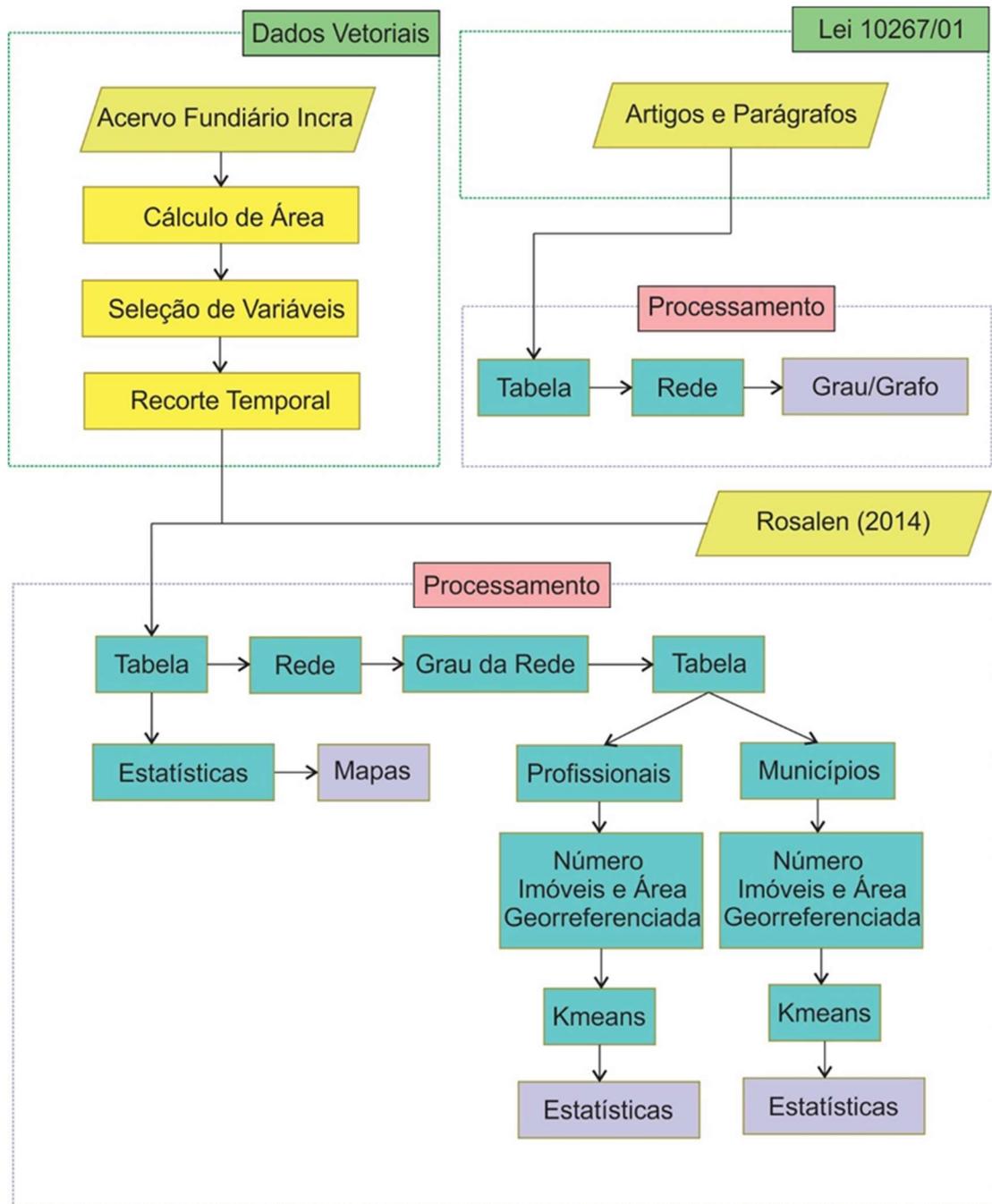


Figura II.1 Representação Esquemática das Etapas do Trabalho. Fonte: os autores (2021).

II.2.2.1 Redes/Grafos

Um grafo (G) é um conjunto de vértices (V) e arestas (E), denotado por $G = G(V, E)$, no qual os vértices podem estar conectados uns aos outros pelas arestas (GUERREIRO, 2014; LARANJEIRA; 2014; NETTO; JURKIEWICZ, 2017). O grau K de um vértice qualquer v é usado para descrever a estrutura da rede e as interações entre os vértices. Assim, o número de arestas que incidem (chegam ou saem) em um vértice é considerado para calcular o grau do vértice, $K(v)$, dado por:

$$K(v) = \sum_i^n v \dots \dots \dots \text{Eq.1}$$

II.2.2.2 Aprendizagem não supervisionada K-means

O algoritmo k-means é uma técnica não supervisionada de machine learning, que pode ser apresentada da seguinte forma: (a) um número de partições (2 a n) é definido com base em um conjunto de dados; (b) atribui-se centroides, atratores, por exemplo, a partir de valores aleatórios; dentro do domínio das observações; (c) utiliza-se uma função de distância (distância euclidiana, por exemplo) para criar grupos similares; (d) assim, baseado na distância mínima, cada observação é alocada para um grupo diferente; (e) é realizado o cálculo da média, de todas as distâncias, dentro de cada grupo e; (f) o processo é reiterado, várias vezes, com novas partições e novos centroides, até que as médias internas sejam minimizadas (similaridades) e o número de observações, dentro de cada grupo, seja otimizado (dissimilaridade) (LANTZ, 2013; FÁVERO; BELFIORE, 2021).

II.3 Resultados e Discussão

II.3.1. Análise de rede da Lei 10.267/01

A **figura II.2** apresenta o resultado da análise da estrutura da Lei 10.267/01, com base na conexão entre os seus próprios artigos e o grau da rede. Carneiro *et al.* (2010) discutiram a criação do CNIR, a gestão compartilhada entre Incra e Receita Federal (RF) e o intercâmbio de informações entre o Incra e o Cartório de Registro de Imóveis (CRM).

Entretanto, essa perspectiva pode ser ampliada, um vez que alguns itens essenciais foram desconsiderados: (a) como a Revisão Geral de Cadastro (RGC), que implica em um novo zoneamento do País e influencia diretamente no cálculo (ou atualização) dos Módulos Fiscais Municipais (MF), são importantes para decidir quais imóveis devem ser isentos de custo dos serviços de georreferenciamento; ou (b) do descaso com o fluxo de informação INCRA-CRM, quando se trata das informações não espaciais, como averbações em Escrituras Públicas (EP), nos tabelionatos de notas, que deveriam ser recepcionadas, mensalmente, pelo Incra.

Além disso, a figura 2 mostra que o Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR), documento necessário para desmembrar, arrendar, hipotecar, vender ou penhorar a propriedade rural etc., e que porta os dados da Estrutura Fundiária (EF), flui através do INCRA para a Escritura Pública (EP), e deve fundir-se, na volta, ao levantamento georreferenciado no CRM, retroalimentando o sistema, constantemente. Dessa forma, percebe-se o equilíbrio (desejado) entre INCRA-CRM, proposto pela Lei 10.267/2001 e revela a relação INCRA-Receita Federal (RF) no CNIR, com a conexão criada dentro do Sistema Nacional de Castro Rural (SNCR).

Assim, a análise demonstra que as informações podem ser produzidas (e consumidas) da seguinte forma; (a) iniciar, externamente, com o trabalho do profissional credenciado para o georreferenciamento (ART); (b) fluir entre EP, CRM e INCRA; (c) retroalimentar os dados da Estrutura Fundiária (EF) dentro SNCR, ou SIGEF II (dentro de um bloco espacial); (d) que serve, dessa forma, para que o Incra faça a classificação dos imóveis (MF) e a RF a cobrança do Imposto

DAYRELL, 2017; VILELA; ROSALEN, 2018).

E, além disso, se existem terras sem destinação, ou proprietários, pertencentes à União, é dever do Estado arrecadá-las (demarcá-las) e distribuí-las, igualmente, na busca por diminuir a concentração de terras no Brasil (PAULINO, 2011; POCHMANN, 2015), além de implementar outros mecanismos de acesso à terra, de acordo com as Diretrizes Voluntárias para a Governança Responsável da Posse das Terras, Pescas e Florestas no Contexto da Segurança Alimentar Nacional (FAO, 2012) e os objetivos da agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2017).

Portanto, se o assunto Reforma Agrária está, inadvertidamente, desgastado (PAULINO, 2011; LOWDER; SKOET, 2014; MATTEI, 2017), ainda assim, existem razões para justificar o interesse público acerca da utilização das terras, por meio de um sistema cadastral competente (MORAES, 2007; HASENACK, 2013; ZEVENBERGEN, 2002, 2014; MARRA, 2017), uma vez que as relações entre pessoas são, sempre, pautadas por transações que podem causar danos, ou custos, a uma das partes, a terceiros, ou a toda à sociedade (CELENTANO *et al.*, 2018; TERENCE, 2019).

Antes do ano de 2001, os negócios, ou transações das propriedades, eram realizados entre as partes interessadas e levados a registro nos Cartórios de Registro de Imóveis. Nesse período, como algumas matrículas ou transcrições eram documentos precários, com descrições imprecisas e insuficientes para garantir o princípio da especialização do imóvel, era permitida a retificação judicial, por meio de processo próprio, de acordo com o Código Civil, em vigor até 2003 (MORAES, 2008; PETERS; PIRES; PANASOLO, 2014; CASSETARI, 2015).

E como não havia um padrão de mensuração definido, a precisão das medidas não era questionada, uma vez que se tratava de um atributo, parte do negócio, de responsabilidade, ou competência, do profissional de agrimensura. O cartório exigia apenas a descrição correta (no modelo indicado), que era diferente para cada comarca. Na sequência, dependendo da situação, os proprietários realizavam a atualização cadastral junto ao Incra.

O problema que se apresentava era que o Incra, responsável pela gestão territorial, com base em levantamentos topográficos não padronizados e sem referencial definido, não conseguia produzir um mosaico abrangente das propriedades que representasse, corretamente, a dinâmica territorial do país (HASENACK, 2013; ROSALEN, 2014).

Dessa forma, a Lei 10.267/2001, Art. 176, quando modificou a Lei 6.015 (Brasil, 1973), incluiu a descrição georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e indicou que, nos casos de desmembramento, parcelamento ou remembramento (ou que envolvem mudanças de titularidade/domínio) os imóveis deveriam ser georreferenciados ao SGB, com precisão posicional fixada pelo Incra, o que gera memorial descritivo e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), e assinados por um profissional credenciado, que isentam os imóveis

(proprietários) de custos financeiros, cuja somatória das áreas não ultrapassasse 4 MF.

Além disso, criou uma checagem que foi implementada precariamente, e pouco compreendida, quando a Lei 10.267/2001, que modificou a Lei 4.947 (BRASIL, 1966), definiu a obrigatoriedade da comunicação mensal ao Incra, das mudanças ocorridas nas matrículas, pelos Cartórios de Registro de Imóveis (REYDON; FERNANDES; TELLES, 2015; TABAK; DAYRELL, 2017). Entretanto, essa proposta foi adotada, também, por outra Lei genérica, Lei 11.977 (BRASIL, 2009), que criou o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER), gerenciado pela Secretaria da Receita Federal, por meio do Decreto 8.764 (BRASIL, 2016), que busca integrar o fluxo de informação territoriais em um único banco de dados (TABAK; DAYRELL, 2017). Mas essa ideia foi estabelecida, definitivamente, por meio da Lei 13.465 (BRASIL, 2017), que atribuiu, aos registradores, a competência de criar o Sistema de Registro Eletrônico de Imóveis (SREI) e a obrigação de disponibilizar as informações para o poder Judiciário e para o poder Executivo Federal, o que desencadeou ações do Governo Federal para incentivar os cartórios de registro de imóveis a oferecerem serviços de registro eletrônico.

De qualquer forma, o fluxo da certificação deveria ser mantido, de baixo para cima, (bottom up), sem atrapalhar ou criar dificuldades para os negócios imobiliários. Assim, cabe ao Incra receber (ou minerar) as informações do sistema notarial-registral e utilizá-las nas suas políticas públicas, principalmente, a de fiscalizar a dinâmica territorial brasileira, por meio dos seus agentes, ou proprietários: brasileiros e estrangeiros; ampliar o controle (perdido ou não estabelecido) sobre o ordenamento territorial, com a obrigação de disponibilizar todas as informações por intermédio do CNIR; e impedir as apropriações indevidas de terras públicas.

Desse modo, embora parte da inversão da ordem dos fluxos, quando se trata da certificação dos imóveis rurais, foi corrigido com a criação do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) (TOLEDO; BERTOTTI, 2014), em 2013, com a possibilidade de comunicação simétrica entre o Incra e os Cartórios de Registro de Imóveis, a questão das informações não espaciais, que envolvem o recebimento das averbações, continuou negligenciada, pois muitos cartórios realizam o envio mensal dessas informações ao Incra, mas o órgão não criou a estrutura para o recebimento e gerenciamento desses dados não espaciais, que permanecem invisíveis.

Além disso, outras questões também ficaram em aberto, por exemplo, a demanda apresentada pelo Projeto de Cooperação Técnica, entre o Incra e a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), que realizou um estudo para a revisão dos Módulos Fiscais Municipais (MF) (LANDAU *et al.*, 2012; ROSALEN, 2014), de acordo com a Lei 6.746 (BRASIL, 1979), que tem impacto direto na classificação da Agricultura Familiar, Lei 11.326 (BRASIL, 2006).

A revisão dos Módulos Fiscais está diretamente relacionada às revisões periódicas de cadastro, como estabelece o Art. 2º, da Lei 10.267/2001, de acordo com a aplicação do Art. 1º, da Lei 5.868 (BRASIL, 1972), pois as RGC devem contribuir para o aprimoramento do Sistema de

Tributação da Terra (STT) e para o Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR), além de apoiar a tomada de decisão.

Este é um fato que provoca incertezas na aplicação do georreferenciamento dos imóveis rurais, uma vez que influencia, diretamente, no custo da isenção financeira, que deverá ser concedido aos proprietários de imóveis rurais (cuja somatória de área não exceda a 4 MF).

Além disso, compromete outras políticas públicas, como aquelas relacionadas ao Código Florestal, ou de outras propostas, como a Medida Provisória (MP) 910 (BRASIL, 2019), da regularização fundiária na Amazônia, que pretendia estabelecer que os imóveis rurais de até 15 MF fossem averiguados, por meio da declaração do ocupante. Isso envolve a Lei 13.838 (BRASIL, 2019), que dispensa a anuência dos limites de confrontantes (que foi estabelecido pela Lei 6.015/1973). Portanto, tais medidas provocam ambiguidades.

II.3.3 Distribuição dos profissionais e dos trabalhos de georreferenciamento

Carneiro *et al.* (2010) e Rosalen (2014), além de demonstrarem a finalidade da Lei 10.267/2001, como a principal balizadora da política fundiária brasileira, discutiram a importância dos profissionais credenciados, responsáveis pelos serviços de georreferenciamento e cadastro de imóveis rurais (ENEMARK, 2010).

A rede de Profissionais, atualmente, conta com 12.010 credenciados (dois deles sem unidade da federação), que realizaram pelo menos um serviço de georreferenciamento no período analisado. Os estados de Minas Gerais (MG) e Amapá (AP) são, respectivamente, aqueles com o maior e o menor número de profissionais (**Figura II.3A**).

Dessa forma, quando se considera que, em 2013, havia 7.878 profissionais (ROSALEN, 2014), ocorreu um incremento de 34%, em 7 anos. Nesse período, de 2013 a 2020, foram realizados 585.208 serviços de georreferenciamento, o que resultou no levantamento de uma área total de 150.132.838,88 ha (1.501.328 Km²), equivalente a 17% do território nacional.

Percebe-se, de acordo com a **figura II.3A**, uma concentração de profissionais nos estados de Minas Gerais e de São Paulo e carência de profissionais nos estados das regiões Norte e Nordeste. Porém, o mapa da **figura II.3B** indica que houve crescimento no número de profissionais nos estados: Amazonas, Tocantins, Maranhão, Piauí, Ceará, Paraíba e Alagoas. Isso é compatível com a expansão do agronegócio na fronteira agrícola do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), e provoca aumento das transações imobiliárias nessa região.

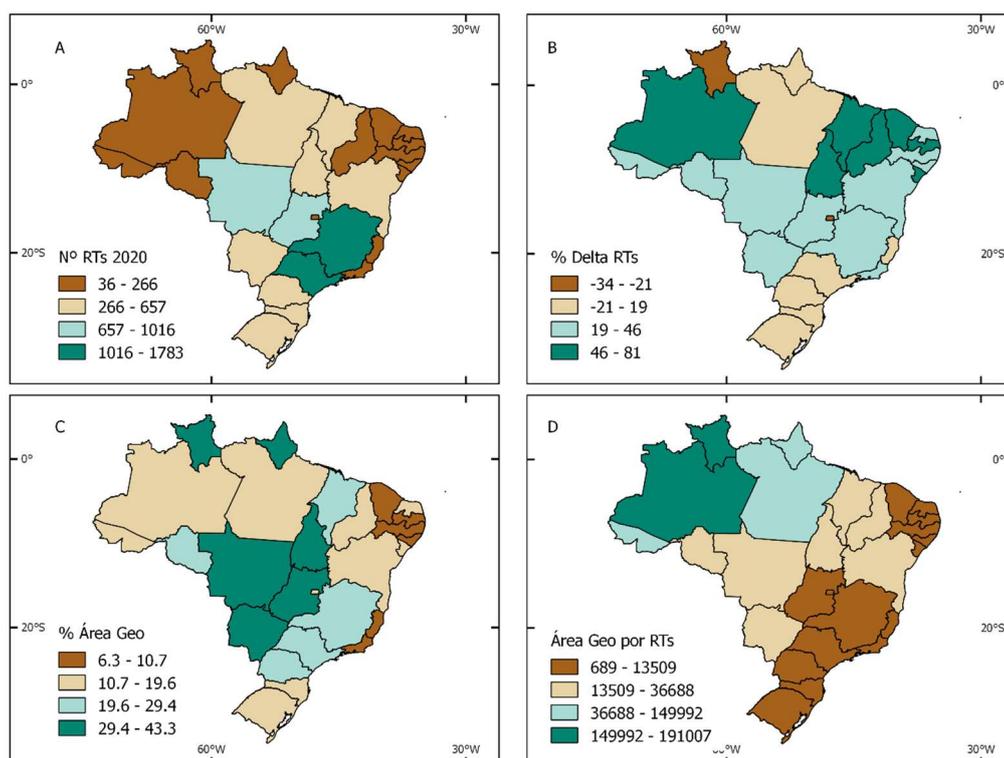


Figura II.3 Área georreferenciada e profissionais credenciados; (A) Número de profissionais credenciados em 2020; (B) Incrementos dos credenciados entre 2013 e 2020; (C) Porcentagem da área georreferenciada em 2020; (D) Relação da área georreferenciada pelo número de profissionais. Fonte: Unidades da Federação (IBGE, 2022).

Conforme a **figura II.3C**, nota-se que o grande volume de serviços de georreferenciamento está concentrado, principalmente, na região Centro-Oeste; a **figura II.3D** indica que a pior relação, área georreferenciada dividida pelo número de profissionais credenciados, ocorre nos estados de Amazonas e Roraima. Portanto, nesses estados há uma grande concentração de imóveis georreferenciados por poucos profissionais credenciados.

II.3.4 Agrupamento dos profissionais

Quando os limites de um imóvel são definidos, também são estabelecidos direitos, deveres, responsabilidades e restrições acerca dele (CÓDIGO CIVIL, 2002; GUEDES; REYDON, 2012; FIG, 1998, 2014). Dessa forma, o cadastro é, primeiramente, baseado em um sistema de informações territoriais, com descrição geométrica, baseada na parcela ou, no caso do Brasil, na matrícula do imóvel, composta por código único, que respeita o princípio da especialidade, com identificação inequívoca da unidade territorial, ou imóvel (MORAES, 2008; CARNEIRO *et al.*, 2010; MARRA, 2017). Esse sistema, no caso da Lei 10.267/2001, depende da presença de um profissional credenciado.

O resultado da pesquisa, sob o ponto de vista dos profissionais, **figura II.4**, mostra que existe uma correlação baixa entre o grau da rede (profissionais) e o número de imóveis

georreferenciados, que indica que os profissionais, de um modo geral, não visitam muitos municípios; e sugere a necessidade de mais profissionais para atender à demanda territorial brasileira.

Segundo Hasenack (2013) e Rosalen (2014), a rede de profissionais brasileira carece de formação adequada para compreender o contexto abrangente do cadastro de imóveis e fica restrita aos serviços de levantamentos topográficos esporádicos. Não consegue avançar nas discussões que tornam a Lei 10.267/2001 importante, como a segurança jurídica, promovida pela localização georreferenciada dos imóveis rurais, e a ampliação do mercado de terras, que contribui para o desenvolvimento do Brasil.

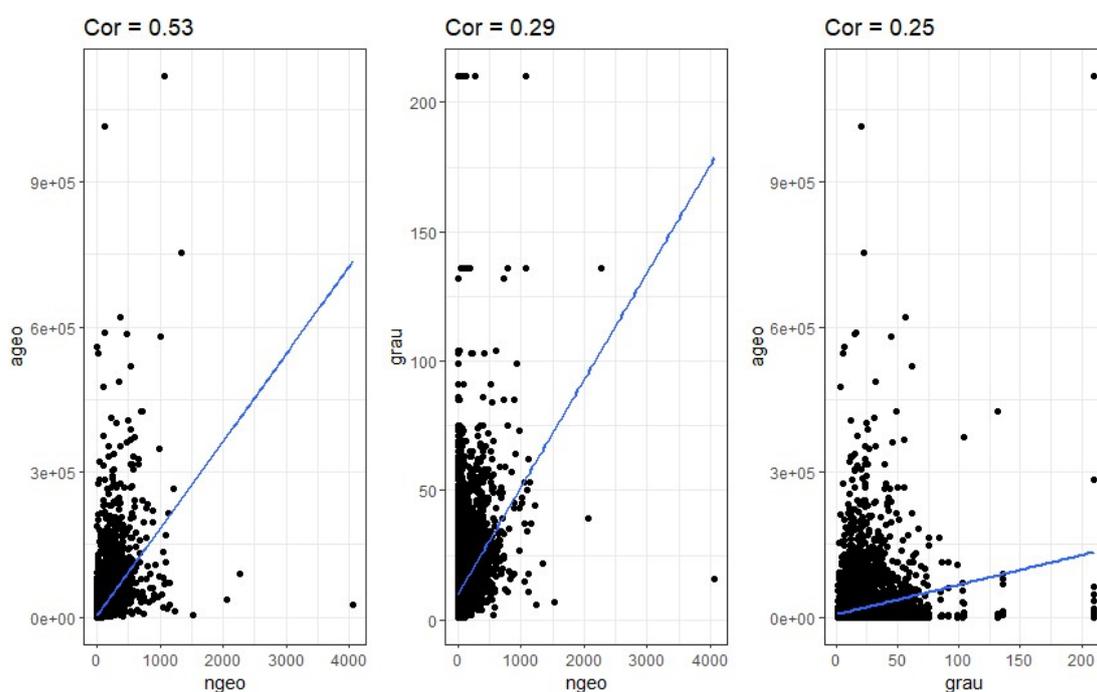


Figura II.4 Correção das variáveis (de acordo com o agrupamento dos profissionais). Legenda: ngeo = Número de Imóveis Georreferenciados; ageo = Área Georreferenciada; grau = Grau na Rede dos Profissionais. Fonte: os autores (2021).

A Tabela II.1 e a figura II.5, sem considerar a divisão por estados, apresentam a separação dos profissionais, testada empiricamente, em 10 grupos, utilizando as variáveis número de imóveis e área georreferenciada. Dessa forma, 74,2% dos profissionais (rt), que correspondem a 8.917 profissionais, realizaram 16,6% dos serviços, ou 13,7% da área georreferenciada. Isso demonstra uma dicotomia entre os profissionais que realizaram muitos serviços (de georreferenciamento) em comparação com aqueles que mediram muita área.

Tabela II.1 Agrupamento dos profissionais em 10 grupos, usando 2 variáveis

Grupo	Quant rt	% rt	% Geo	% Área	Max Geo	Méd Geo	Min Geo
1	3	0,03	1,44	0,10	4070	2800	2066
2	188	1,57	14,60	8,00	737	454	302
3	54	0,45	3,57	11,10	980	386	16
4	357	2,97	6,53	16,10	259	107	1
5	1748	14,60	23,90	17,90	163	80	1
6	10	0,08	0,86	4,59	1336	503	3
7	540	4,50	20,50	10,40	367	222	142
8	159	1,32	6,42	15,70	507	236	4
9	8917	74,20	16,60	13,70	58	11	1
10	34	0,28	5,62	2,39	1520	968	668

Legenda: rt = profissionais Credenciados; Geo = imóveis georreferenciados. Fonte: os autores (2021).

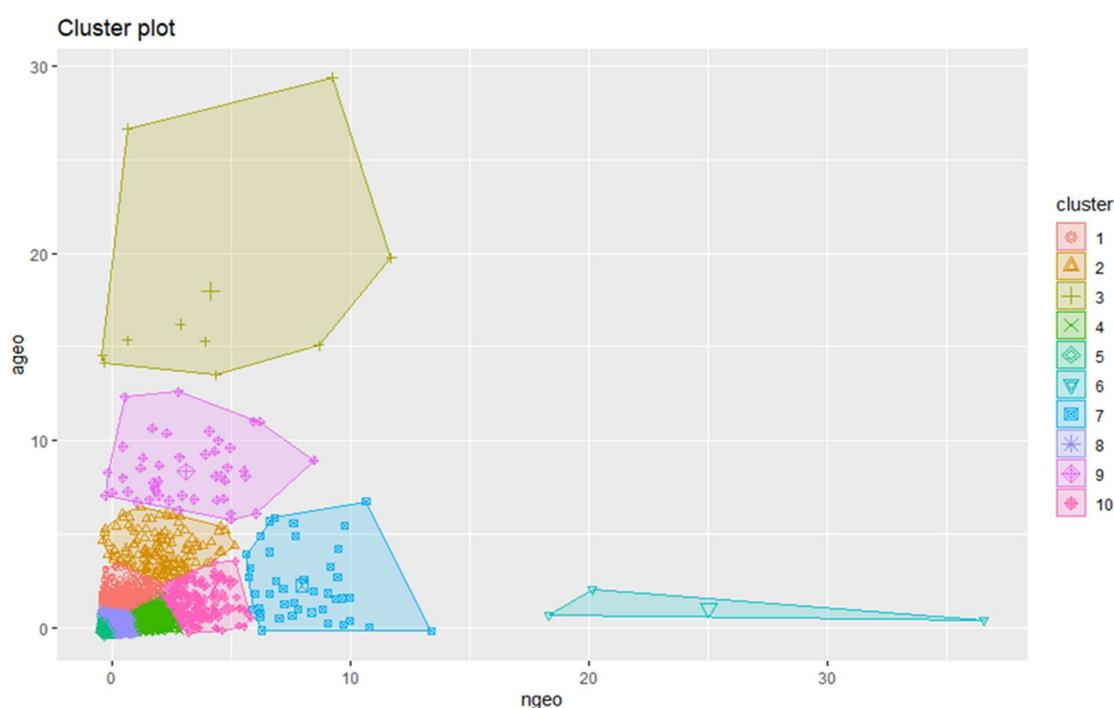


Figura II.5 Análise de cluster/agrupamento dos profissionais credenciados. Legenda: ngeo = Número de Imóveis Georreferenciados; ageo = Área Georreferenciada. Fonte: os autores (2021).

A **Tabela II.2**, sem considerar a divisão por estados, mostra, novamente, a separação dos profissionais, testada empiricamente, em 10 grupos. Mas dessa vez, além de variáveis número de imóveis e área georreferenciada, foi incluída a variável grau da rede, que permite compreender melhor a atuação dos profissionais no território, em que 51,5% dos profissionais (rt), que correspondem a 6.183 profissionais, realizaram 23,9% dos serviços, ou 7,63% da área georreferenciada, com um grau médio de 4 na rede, o que confirma que muitos profissionais estão concentrados em poucas regiões (municípios).

Tabela II.2 Agrupamento dos profissionais em 10 grupos, usando as 3 variáveis

Grupo	Quant rt	% rt	Grau	% Geo	% Área	Max Geo	Méd Geo	Min Geo
1	22	0,18	45	1,44	7,83	1336	503	3
2	262	2,18	32	14,60	10,50	820	414	224
3	166	1,38	23	3,57	21,20	797	278	4
4	1066	8,88	29	6,53	3,83	157	18	1
5	6183	51,50	4	23,90	7,63	88	10	1
6	24	0,20	185	0,86	0,36	260	47	1
7	2931	24,40	12	20,50	16,20	169	43	1
8	318	2,65	60	6,42	2,45	301	31	1
9	1007	8,38	17	16,60	28,30	357	163	1
10	31	0,26	51	5,62	1,84	4070	1188	776

Legenda: rt = profissionais Credenciados; Geo = imóveis georreferenciados. Fonte: os autores (2021).

A primeira conclusão que se chega, de acordo com Rosalen (2014), do ponto de vista dos profissionais, é que a mão de obra não é suficiente para a demanda territorial brasileira; principalmente, porque parece estar mal distribuída. Isso favorece estratégias regionais de formação e fixação de mão de obra, como as apresentadas por Figur (2011) e Hasenack (2013), em que os profissionais são alocados para regiões específicas.

II.3.5 Agrupamento dos Municípios

A **figura II.6**, sob o ponto de vista dos municípios, mostra uma correlação alta entre e grau da rede dos municípios e o número de imóveis georreferenciados, o que indica, também, que muitos profissionais visitam sempre os mesmos municípios, e revela uma concentração dos serviços de georreferenciamento em poucos municípios.

A **tabela II.3**, sem considerar a divisão por estados, apresenta a separação dos municípios, testada empiricamente, em 10 grupos, utilizando as variáveis número de imóveis e área georreferenciada, além de grau da rede, em que 47,2% dos municípios receberam apenas 7,27% dos trabalhos realizados de georreferenciamento. O grau médio 4 na rede indica que quase a metade dos municípios brasileiros, praticamente, não conhecem os efeitos (benefícios) dos serviços de georreferenciamento.

Isso sugere que são necessários ajustes na política, que vem desde 2001, para evitar que o país passe mais tempo sem conhecer completamente/sistematicamente o seu território. O fato de 47,2% dos municípios, com 2.477 municípios, ter um grau baixo na rede, demonstra que os trabalhos em tais município foram realizados de forma esporádica, o que não contribui para a criação de uma cultura cadastral de longo prazo.

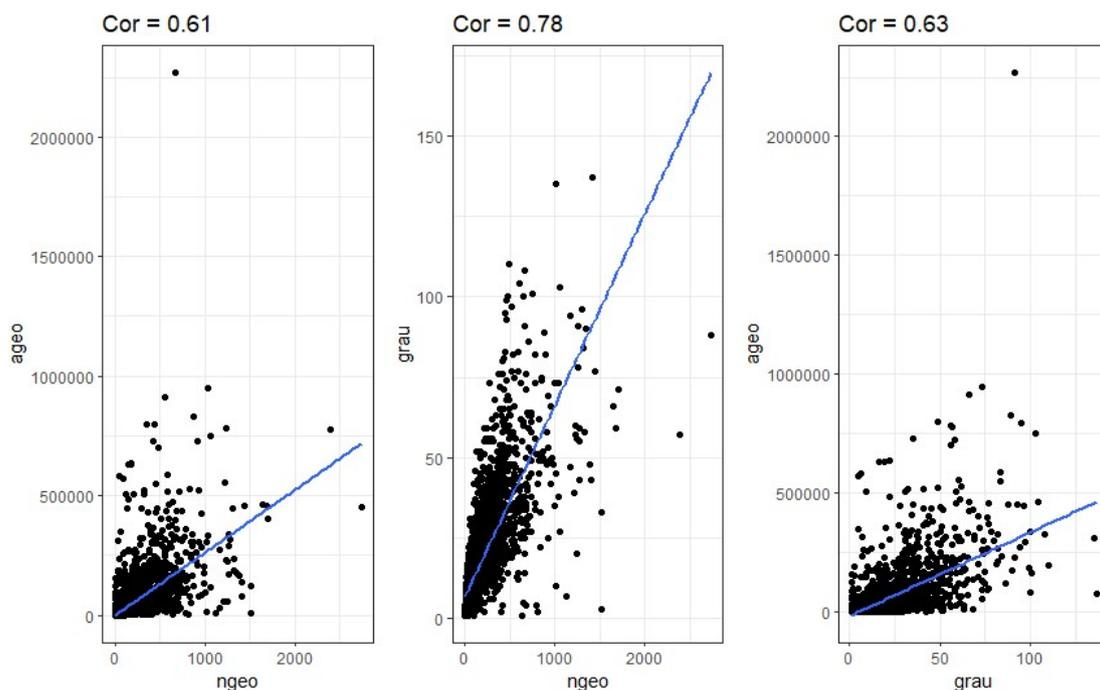


Figura II.6 Correção das variáveis (de acordo com o agrupamento dos municípios). Legenda: ngeo = Número de Imóveis Georreferenciados; ageo = Área Georreferenciada; grau = Grau na Rede dos Municípios. Fonte: os autores (2021).

Tabela II.3 Agrupamento dos municípios em 10 grupos, usando as 3 variáveis

Grupo	Qt Mun.	% Mun.	Grau	% Geo	% Área	Max Geo	Méd Geo	Min Geo
1	94	1,79	64	9,68	14,20	995	603	247
2	107	2,04	30	12,10	5,88	1517	664	444
3	25	0,48	71	6,09	5,34	2739	1425	960
4	264	5,03	38	14,50	11,3	546	321	97
5	1412	26,90	13	18,60	12,70	269	77	13
6	89	1,69	28	4,26	12,20	580	280	32
7	36	0,69	41	2,75	12,20	934	448	54
8	2477	47,20	4	7,27	5,28	210	17	1
9	740	14,10	22	23,7	16,10	450	187	42
10	7	0,13	82	1	4,86	1238	839	440

Legenda: Mun = municípios visitados; Geo = imóveis georreferenciados. Fonte: os autores (2021).

A principal conclusão que se chega é que o modelo adotado, com base na Lei 10.267/2001, é deficiente. Embora tenham resultados significativos, em termos de área; uma vez que mais de 17% do território foi georreferenciado (sem considerar Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI) e outras unidades georreferenciadas — que não fazem parte dessa análise). Entretanto, diante do universo de mais de 6 milhões de imóveis (SNCR, 2018), que precisam ser georreferenciados, os resultados são inexpressivos, uma vez que menos de 10% dos imóveis foram georreferenciados, com precisão de 50 cm, em 7 anos.

II.4 Conclusão

Aspectos importantes da Lei 10.267/2001, como as Revisões Gerais de Cadastro (RGC) e, conseqüentemente, as possíveis atualizações dos Módulos Fiscais (MF) municipais, foram deixados de lado; desconsiderando que existe uma determinada dualidade entre o uso e os limites das propriedades, pois quanto mais informações espaciais estão disponíveis — devido aos avanços do sensoriamento remoto —, mais fácil e redundante fica captar a dinâmica produtiva dos imóveis rurais brasileiros. Por outro lado, não cessam as dificuldades de descrever, precisamente, os limites legais, pois estes possuem virtualidades decorrentes da subjetividade de cada proprietário, ou da relação entre as pessoas, que dependem, rotineiramente, de novos levantamentos topográficos cadastrais.

Além disso, como apresentado anteriormente, existe pouca atenção ao fluxo de informações não espaciais, como financiamentos bancários, hipotecas, arrendamentos etc., que podem ser captados, constantemente, nos tabelionatos, ou cartórios de notas. Estas dependem da atuação proativa do Estado, para criar infraestruturas adequadas de monitoramento, e separar as sobreposições legais que são averbadas nas matrículas.

Quanto à questão do número de profissionais, algumas deficiências que foram apresentadas podem ser consideradas, em parte, uma vez que um grupo de pouco mais de 2 mil profissionais realizou mais de 80% dos serviços. Dessa forma, ao considerar que o Brasil possui 5.568 municípios, com infraestrutura e territórios diversos, entende-se que poderiam ser adotadas outras estratégias de aproveitamento de mão de obra, que não seja totalmente autônoma, como acontece, por exemplo, na Alemanha.

Sendo assim, o país poderia ser dividido em grades regulares, ou irregulares, a depender dos limites dos municípios, e a cada grade seria atribuída, ou alocada, um número fixo de profissionais responsáveis, por meio de concurso público, ou de outras iniciativas, em que esse profissional seria parte autônomo e parte Estado, com obrigações legais referentes à qualidade dos serviços. Para evitar conflitos, essa proposta poderia ser implementada apenas para os imóveis com área inferior a 4 Módulos Fiscais (MF), pertencentes à agricultura familiar, que são de responsabilidade do Estado.

Referências

ANTUNES, T. G. O imposto territorial rural (ITR) como ferramenta da gestão tributária.

Revista Tecnologia e Ambiente, Criciúma, Santa Catarina, v. 24, p. 215-232, 2018.

Disponível em:

<http://periodicos.unesc.net/tecnoambiente/article/view/4375>. Acesso em: 23 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: execução de levantamentos topográficos, procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: rede de referência cadastral municipal, procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

AZEVEDO, J. G. **Lei 10.267/2001 e georreferenciamento**: aplicação do instituto e suas repercussões. Aracaju: Criação Editora, 2018. Disponível em: <https://editoracriacao.com.br/wp-content/uploads/2015/12/direito-imobili%C3%A1rio.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2020.

BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *In*: Third International Aaa Conference On Weblogs And Social Media, 2009. Disponível em: <https://gephi.org/publications/gephi-bastian-feb09.pdf>. Acesso em: 14 set. 2018.

BRANDÃO, A. C. **O princípio da vizinhança geodésica no levantamento cadastral de parcelas territoriais**. 2003. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) — Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85669?show=full>. Acesso em: 21 maio 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 4.947, de 06 de abril de 1966. Fixa Normas de Direito Agrário, Dispõe sobre o Sistema de Organização e Funcionamento do Instituto Brasileiro de Reforma Agrária, e dá outras Providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 abr. 1966, p. 3717.

BRASIL. Lei Federal nº 5.868, de 12 de dezembro de 1972. Cria o Sistema Nacional de Cadastro Rural, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 dez. 1972, p. 11.197.

BRASIL. Lei Federal nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973. Dispõe sobre os registros públicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 dez. 1973, p. 13.528.

BRASIL. Lei Federal nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis nos 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. **Diário Oficial Eletrônico**, Brasília, DF, 28 ago. 2001, p. 1.

BRASIL. Decreto Federal nº 4.449, de 30 de outubro de 2002. Regulamenta a Lei no 10.267, de 28 de agosto de 2001, que altera dispositivos das Leis nos. 4.947, de 6 de abril de 1966; 5.868, de 12 de dezembro de 1972; 6.015, de 31 de dezembro de 1973; 6.739, de 5 de dezembro de 1979; e 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 out. 2002, p. 3.

BRASIL. Lei Federal nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 jul. 2006, p. 1.

BRASIL. Decreto Federal nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais — INDE, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 nov. 2008, p. 57.

BRASIL. Lei Federal nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 nov. 2008, p. 1.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 28 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação

nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012, p. 1.

BRASIL. Decreto Federal nº 8.764, de 10 de maio de 2016. Institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais e regulamenta o disposto no art. 41 da Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 mai. 2016, p. 12.

BRASIL. Lei Federal nº 13.465, de 12 de julho de 2017. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União; altera as Leis nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, 13.001, de 20 de junho de 2014, 11.952, de 25 de junho de 2009, 13.340, de 28 de setembro de 2016, 8.666, de 21 de junho de 1993, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 12.512, de 14 de outubro de 2011, 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), 13.105, de 16 de março de 2015 (Código de Processo Civil), 11.977, de 7 de julho de 2009, 9.514, de 20 de novembro de 1997, 11.124, de 16 de junho de 2005, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 10.257, de 10 de julho de 2001, 12.651, de 25 de maio de 2012, 13.240, de 30 de dezembro de 2015, 9.636, de 15 de maio de 1998, 8.036, de 11 de maio de 1990, 13.139, de 26 de junho de 2015, 11.483, de 31 de maio de 2007, e a 12.712, de 30 de agosto de 2012, a Medida Provisória nº 2.220, de 4 de setembro de 2001, e os Decretos-Leis nº 2.398, de 21 de dezembro de 1987, 1.876, de 15 de julho de 1981, 9.760, de 5 de setembro de 1946, e 3.365, de 21 de junho de 1941; revoga dispositivos da Lei Complementar nº 76, de 6 de julho de 1993, e da Lei nº 13.347, de 10 de outubro de 2016; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jul. 2017, p. 1.

BRASIL. **Relatório Nacional Voluntário Sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2017. Disponível em:

https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15801Brazil_Portuguese.pdf. Acesso em: 7 abr. 2019.

CELENTANO, D.; MIRANDA, M. V. C.; MENDONÇA, E. N.; ROUSSEAU, G. X.; MUNIZ, F. H.; LOCH, V. C.; VARGA, I. V. D.; FREITAS, L.; ARAÚJO, P.; NARVAES, I. S.; ADAMI, M.; GOMES, A. R.; RODRIGUES, J. C.; KAHWAGE, C.; PINHEIRO, M.; MARTINS, M. B. Desmatamento, degradação e violência no “mosaico Gurupi” — a região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 92, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142018000100315&script=sci_arttext. Acesso em: 13 set. 2019.

CSARDI G.; NEPUSZ, T. the igraph software package for complex network research, *interjournal, complex systems* 1695. 2006. Disponível em: <https://igraph.org>. Acesso em: 5 ago. 2018.

CARNEIRO, A. F. T.; BRANDÃO, A. C.; PHILIPS, J.; PAIXÃO, S. Desafios para a implantação de um cadastro multifinalitário rural no Brasil. *In: Congresso Internacional De Cadastro Unificado Y Multipropósito*, 2010, Universidade de Jaén, Espanha, p. 1-10 Disponível em: http://coello.ujaen.es/congresos/cicum/ponencias/Cicum2010.3.13_Carneiro_et_al_Desafios_para_a_implementacao.pdf. Acesso em: 8 out. 2020.

CARNEIRO, A. F. T.; MIRANDA, C. R. Evolução e tendências nas pesquisas em administração territorial e cadastro. **Rev. Bras. Cartogr.**, v. 72, n. Especial 50 anos, p. 880-897, 2020. DOI: <http://Dx.Doi.Org/10.14393/Rbcv72nespecial50anos-56586>.

CARRERO, G. C.; FEARNSIDE, P. M.; VALLE, D. R.; ALVES, C. S. Deforestation trajectories on a development frontier in the Brazilian Amazon: 35 years of settlement colonization, policy and economic shifts, and land accumulation. **Environmental Management**, v. 66, p. 966-984, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01354-w>.

CASSETTARI, C. **Direito Agrário**. São Paulo: Atlas, 2015.

COMISSÃO PARLAMENTAR DE INQUÉRITO (CPI). **Relatório da comissão parlamentar de inquérito destinada a investigar a ocupação de terras públicas na região amazônica**. 2001.

ENEMARK, S. From cadastre to land governance: the role of land professionals and FIG. *In: Annual World Bank Conference On Land Policy And Administration*, 2010, Washington DC. Disponível em: https://fig.net/news/archive/news_2010/washington_april_2010/washington_paper_enemark_april_2010.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados** — estatística e modelagem com excel, SPSS e Stata. Rio de Janeiro, LTC, 2021.

FIGUR, R. L. **Análise comparativa entre o sistema cadastral da Alemanha e as diretrizes para o cadastro territorial multifinalitário Brasileiro**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95680>. Acesso em: 12 set. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **E-agriculture in action: blockchain for agriculture opportunities and challenges**. FAO, 2019. Ebook Kindle.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Voluntary guidelines on the responsible governance of tenure of land, fisheries, and forests in the context of national food security**. Rome: FAO, 2012. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/VGsennglish.pdf. Acesso em: 18 out. 2021.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM QGIS. Association. 2021. Disponível em: <http://www.qgis.org>.

GRASER, A. **Learning QGIS** — Use QGIS to create great maps and perform all the geoprocessing tasks you need. Packt Publishing, Ebook Kindle.

GUEDES, S. N. R.; REYDON, B. P. Direito de propriedade de terra rural no Brasil: uma proposta institucionalista para ampliar a governança fundiária. Piracicaba-SP: **RESR**, v. 50, n. 3, p. 525-544, jul./set. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/6385/S0103-20032012000300008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 out. 2021.

GUERREIRO, A. J. C. **Análise de redes sociais: aplicação a uma rede de clientes**. 2012. 73 p. Tese (Mestrado em análise de dados e sistemas de apoio à decisão) — Faculdade de Economia. Universidade do Porto, 2012. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/6722/2/25136.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2020.

HASENACK, M. **A cartografia cadastral do Brasil**. 2013. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da faculdade.

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: https://l1library.org/document/q7row9oy-a-cartografia-cadastral-no-brasil.html?utm_source=seo_title_list. Acesso em: 11 maio 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Unidades da Federação**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 3 jan. 2022.

INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS (FIG). **Cadastrre 2014**— A vision for future cadastral system, 1998. Disponível em: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastrre2014/translation/c2014-english.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2020.

INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS (FIG). **Cadastrre 2014** — and beyond. Denmark: FIG, n. 61, 2014. Disponível em: <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub61/figpub61.asp>. Acesso em: 20 ago. 2020.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package version 1.0.7, 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextr>. Acesso em: 27 out. 2021.

KOLACZYK, E. D.; CSÁRDI, G. Statistical analysis of network data with r. New York: Springer, 2014. Ebook Kindle.

LAMOSO, L. P. O desenvolvimento brasileiro em questão: mutações, dicotomias e dinâmicas territoriais. **Geografia**, v. 44, n. 2, jul./dez., 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/15116>. Acesso em: 24 nov. 2021.

LANDAU, E. C.; CRUZ, R. K.; HIRSCH, A.; PIMENTA, F. M.; GUIMARAES, D. P. Variação geográfica do tamanho dos módulos fiscais no Brasil. Minas Gerais: **Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas**, documentos 146, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/949260/variacao-geografica-do-tamanho-dos-modulos-fiscais-no-brasil>. Acesso em: 5 jan. 2022.

LARANJEIRA, P. A. Métricas de centralidade em redes sociais. **Revista de Ciências Da Computação**, n. 9, p.1–20, 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/303042278.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2021.

LAUDARES, S. S. A.; SILVA, K. G.; BORGES, L. A. C. Cadastro ambiental rural: uma análise da nova ferramenta para a regularização ambiental no Brasil. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 31, p. 111-122, ago. 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/33743>. Acesso em: 12 dez. 2021.

LEMENKOVA, P. K-means clustering in r libraries (cluster) and a (factoextra) for grouping oceanographic data. **International Journal of Informatics and Applied Mathematics**, v. 2, n. 1, p. 1-26, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335977280_K-means_Clustering_in_R_Libraries_cluster_and_factoextra_for_Grouping_Oceanographic_Data. Acesso em: 10 set. 2020.

LIPORONI, A. S., BERNARDI, L. P. O.; BENITE, O. M. **Posse e domínio** — aspectos pertinentes à perícia judicial. São Paulo: Leud, 2017.

LOWDER, S.; SKOET, J.; SINGH, S. What do we really know about the number and

distribution of farms and family farms in the world? Background paper for the State of Food and Agriculture 2014. **ESA Working Paper**, n. 14-02, FAO, 2014. Disponível em: <https://data.gessulli.com.br/file/2014/04/23/E142912-F00001-W810.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

MARRA, T. B. **Cadastro territorial no Brasil**: modelam de posse e propriedade a partir do modelo para o domínio da administração de terras (LADM, ISO 19152). 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31232>. Acesso em: 24 jun. 2018.

MATTEI, L. **Reforma agrária no Brasil**. Trajetória e Dilemas. Florianópolis: Editora Insular, 2017.

MATTEI, L. F. A Reforma agrária brasileira: evolução do número de famílias assentadas no período pós-redemocratização do país. Rio de Janeiro: **Estud. Soc. e Agric.**, v. 20, n. 1, 2012, p. 301-325. Disponível em: <https://revistaesa.com/ojs/index.php/esa/article/view/356>. Acesso em: 13 nov. 2021.

MENEZES, T.C.C. A regularização fundiária e as novas formas de expropriação rural na Amazônia. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 23, n. 1, p. 110-130, 2013. Disponível em: <https://revistaesa.com/ojs/index.php/esa/article/view/583>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MICHELINI, C. R. **Legitimidade da propriedade rural**. Cuiabá: KCM Editora & Distribuidor, 2012.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF). **MPF identifica quase 10 mil registros de proprietários privados no cadastro ambiental rural em áreas destinadas a povos indígenas**. Ministério Público Federal, 2020. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/pgr/noticias-pgr/mpf-identifica-quase-10-mil-propriedades-rurais-em-areas-destinadas-a-povos-indigenas>. Acesso em: 4 fev. 2021.

MORAES, C.V. **Registro imobiliário**: fundamentos geodésicos e jurídicos. Curitiba: Juruá Editora, 2007.

NETTO, P. O. B.; JURKIEWICZ, S. **Grafos**: introdução e prática. São Paulo: Blucher, 2017.

NOGUEIRA, C. B. C.; OSOEGAWA, D. K.; ALMEIDA, R. L. P. Políticas desenvolvimentistas na Amazônia: análise do desmatamento nos últimos dez anos (2009-2018). **Revista Culturas Jurídicas**, v. 6, n. 13, jan./abr., 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Diego_Osoegawa/publication/348391553_POLITICAS_DESENVOLVIMENTISTAS_NA_AMAZONIA_ANALISE_DO_DESMATAMENTO_NOS_ULTIMOS_DEZ_ANOS_2009-2018/links/5ffc7c1845851553a039e5a4/POLITICAS-DESENVOLVIMENTISTAS-NA-AMAZONIA-ANALISE-DO-DESMATAMENTO-NOS-ULTIMOS-DEZ-ANOS-2009-2018.pdf. Acesso em: 23 ago. 2020.

NORDER, L. A. Contextos e estimativas da reforma agrária no Brasil (1982-2010). Taubaté-SP: **Revista Ciências Humanas**, Universidade de Taubaté (UNITAL), v. 7, n. 2, p. 48-61, 2013.

OLIVEIRA, N. A. S.; FISCHER, L. R. C. Efeitos da lei de terras nas relações socioespaciais na Amazônia. **Revista Brasileira de História do Direito**, v. 2, n. 2, p. 19-38, jul./dez. 2016. DOI: 10.26668/IndexLawJournals/2526-009X/2016.v2i2.1628

PAULINO, E. T. Reforma agrária: o incômodo diálogo. São Paulo: **Agrária**, n. 14, p. 99-120,

2011. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.1808-1150.v0i14p99-120>.

PEBESMA, E. Simple features for r: standardized support for spatial vector data. **The R Journal**, v. 10, n. 1, p. 439-446, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-00.9>

PETERS, E. L.; PIRES, P. T. L.; PANASOLO, A. **Direito agrário brasileiro** — de acordo com o novo código florestal. Curitiba: Juruá Editora, 2014.

POCHMANN, M. **Desigualdade econômica no Brasil**. São Paulo: Editora Ideias e Letras, 2015.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R.; SÁ, R. G. C.; CARVALHO, L. F. D. Georreferenciamento de imóveis rurais: análise do cálculo de área. **Revista do Departamento de Geografia–USP**, v. 29, p. 116-136, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102126>

REYDON, B. F.; COSTA, A. S. O custo da regularização das propriedades rurais brasileiras — uma estimativa. **Revista Política Agrícola**, v. 19, n. 4, out./nov./dez., p. 50-64, 2010. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/354>. Acesso em: 4 jan. 2022.

REYDON, B. P.; FERNANDES, V. B.; TELLES, T. S. Land tenure in Brazil: the question of regulation and governance. **Land Use Policy**, n. 2, p. 509-516, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.09.007>

ROSALEN, D. L.; MUNHOZ, J. V. C.; MARDEGAN, C. O georreferenciamento de imóveis rurais no município de Jaboticabal-SP. **Rev. Ciênc. Ext.** v. 8, n. 3, p. 42-55, 2012. Disponível em: https://ojs.unesp.br/index.php/revista_proex/article/view/668. Acesso em: 7 mar. 2019.

ROSALEN, D. L. The Impact of the law 10,267/2001 in the brazilian rural registration. **Eng. Agríc, Jaboticabal**, v. 34, n. 2, p. 372-384, mar./abr., 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000200018>.

SANTOS, L. A.; Carvalho Júnior O. A.; Guimarães, R.F.; Gomes, R. A. T. áreas prioritárias para regularização fundiária no estado da Bahia (Brasil). **Rev. Finis**, LIII, v. 53, n. 107, p. 27-50, 2018. DOI: 10.18055/Finis10618. (2018).

SAUER, S.; LEITE, S. P. Expansão agrícola, preços e apropriação de terras por estrangeiros no Brasil. Piracicaba-SP: **RESR**, v. 50, n. 3, p. 503-524, jul./set., 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/resr/v50n3/a07v50n3.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2022.

SILVA, P. A.; SANTOS, M. A. S.; BORTOLON, B. V. L. Estudo de caso: análise de imóvel rural dado em garantia. In: XIX COBREAP, Foz de Iguaçu, 2017. Disponível em: <https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/08/052.pdf>. Acesso em: 30 out. 2018.

SOTO, H. **O Mistério do Capital**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2001.

SPAROVEK, G.; REYDON, B. P.; PINTO, L. F. G.; FARIA, V.; FREITAS, F. L. M.; AZEVEDO-RAMOS, C.; GARDNER, T.; HAMAMURA, C.; RAJÃO, R.; CERIGNONI, F.; SIQUEIRA, G. P.; CARVALHO, T. ALENCAR, A.; RIBEIRO, V. Who owns brazilian lands? **Land Use Policy**, v. 87, 2019, 104062, p. 1-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104062>.

TABAK, B. M.; DAYRELL, C. C. Uma análise econômica do sistema nacional de informações territoriais (SINTER): um problema de direito de propriedade. **Revista de Direito da Cidade**, v. 9, n. 4, p. 1529-1557, 2017. DOI: 10.12957/rdc.2017.29199.

TERENCE, M. F. Grilagem de terras públicas federais e a acumulação capitalista no sudoeste paraense. **COGITARE**, v. 2, n. 1, p. 30-49, dez. 2019. Disponível em: <https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/cogitare/article/view/995>. Acesso em: 3 fev. 2021.

TOLEDO, B. H. C.; BERTOTTI, L. G. Breve histórico da certificação de imóveis rurais no Brasil e apresentação do Sistema de Gestão Fundiária — SIGEF. Guarapuava (PR): **Ambiência**, v. 10, n. 3, p. 839-847, set./dez. 2014. DOI: 10.5935/ambiencia.2014.03.14nt.

TORUN, A. Hierarchical blockchain architecture for a relaxed hegemony on cadastre data management and update: a case study for Turkey. In: UCTEA International Geographical Information Systems Congress, 15-18 de novembro de 2017, Adana/Turquia. p. 1-11.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/321485252_Hierarchical_Blockchain_Architecture_for_a_Relaxed_Hegemony_on_Cadastre_Data_Management_and_Update_A_Case_Study_for_Turkey. Acesso em: 13 ago. 2021.

WICKHAM, H.; AVERICK, M.; BRYAN, J.; CHANG, W.; MCGOWAN, L. A.; FRANÇOIS, R.; GROLEMUND, G.; HAYES A.; HENRY, L.; HESTER, J.; KUHN, M.; PEDERSEN, T. L.; MILLER, E.; BACHE, S. M.; MÜLLER, K.; OOMS, J.; ROBINSON, D.; SEIDEL, D. P.; SPINU, V.; TAKAHASHI, K.; VAUGHAN, D.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H. Welcome to the tidyverse. **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 43, 1686, p. 1-6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.01686>.

VILELA, V. B.; ROSALEN, D. L. Georreferenciamento e retificação de área: aspectos jurídicos e normativos envolvidos. **Nucleus**, v. 15, n. 1, abri. 2018. DOI: 10.3738/1982.2278.2709.

ZEVENBERGEN, J. A. **Systems of land registration**: aspects and effects: also as e-book. Netherlands Geodetic Commission (NCG). 2002.

ZEVENBERGEN, J. A. Systems approach to land registration and cadastre. **Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research**, v. 1, 2004. Disponível em: <https://journal.fi/njs/article/view/41503>. Acesso em: 1 abr. 2021.

CAPÍTULO

III. MODELAGEM MATEMÁTICA E ANÁLISE DE REDE PARA A GRADE TERRITORIAL DE IMÓVEIS RURAIS

DESTAQUES

- Uso da análise de redes no cadastro de imóveis.
- Discute o cadastro de terras no Brasil sob uma perspectiva diferente.
- Inova ao apresentar novas ferramentas de análise.
- Contribui para a gestão territorial e a tomada de decisão.
- Avança na criação de modelos e previsão de demanda.

Resumo

O presente trabalho discute a estrutura da rede social complexa formada por meio dos serviços de georreferenciamento de imóveis, para o ano de 2017 e para o triênio 2017-2019, com base nos dados do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF/INCRA) de todos os estados brasileiros. O foco estabelecido foram as inter-relações territoriais entre os profissionais credenciados e os imóveis rurais georreferenciados (proprietários de terra). A topologia da rede apresentou um padrão livre de escala, de acordo com uma lei de potência, que produz uma preferência por nós (profissionais) mais conectados. A partir do agrupamento da rede, criação de clusters ou comunidades, foi possível extrair/selecionar as seguintes variáveis: número de profissionais por grupo (nP), área total georreferenciada (Ageo), número de imóveis georreferenciados (nGeo) e número de municípios dentro de cada grupo (nM). Dessa forma, foram criados dois modelos de regressão para dados de contagem (Poisson-Gama), que podem ser aplicados em todo o Estado brasileiro, para a criação de grades territoriais homogêneas. Um exemplo é o estado do Paraná, que pode ser dividido em 10 grades otimizadas, pela quantidade de área e número de imóveis, com 20 profissionais credenciados para cada região.

Palavras-chave: Georreferenciamento de imóveis rurais; Sistema de gestão fundiária (SIGEF/INCRA); Rede social complexa.

Artigo a ser submetido à revista Finisterra — Revista Portuguesa de Geografia.

Abstract

MATHEMATICAL MODELING AND NETWORK ANALYSIS FOR THE TERRITORIAL GRID OF RURAL PROPERTIES. This paper discusses the structure of the complex social network formed by the services of land georeferencing for the year 2017 and the triennium 2017-19, based on data from the Land Management System (SIGEF/INCRA) of all Brazilian states. The focus was on the territorial relationships between accredited professionals and georeferenced rural properties (landowners). The network topology exhibited a scale-free pattern following a power law that generates a preference for us (professionals) that are more connected. From the grouping of the network and the formation of clusters or communities, the following variables could be extracted/selected: Number of professionals per group (nP), total georeferenced area (Ageo), number of georeferenced plots (nGeo) and number of communities within each group (nM). In this way, two regression models for census data (Poisson-Gama) were created, which can be applied in all Brazilian states to create homogeneous territorial grids. Let us take as an example the state of Paraná, which can be divided into 10 optimized grids by area and number of plots, with 20 accredited professionals for each region.

Keywords: Georeferencing of rural properties; Land management system (SIGEF/INCRA); Complex social network.

Résumé

MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET ANALYSE DE RÉSEAU POUR LE MAILLAGE TERRITORIAL DES PROPRIÉTÉS RURALES. Cet article traite de la structure du réseau social complexe formé à travers des services de géoréférencement des propriétés, pour l'année 2017 et pour la période triennale 2017-19, à partir des données du Système de gestion foncière (SIGEF/INCRA) de tous les États brésiliens. L'accent a été mis sur les interrelations territoriales entre les professionnels accrédités et les propriétés rurales géoréférencées (propriétaires fonciers). La topologie du réseau a montré un modèle sans échelle, selon une loi de puissance, qui produit une préférence pour nous (professionnels) plus connectés. À partir du regroupement du réseau, création de clusters ou communautés, il a été possible d'extraire/sélectionner les variables suivantes: nombre des professionnels par groupe (nP), surface totale géoréférencée (A_{geo}), nombre de propriétés géoréférencées (n_{Geo}) et nombre de municipalités dans chaque groupe (nM). Ainsi, deux modèles de régression ont été créés pour les données de comptage (Poisson-Gamma) qui peuvent être appliqués dans tous les états brésiliens pour créer des grilles territoriales homogènes. Prenons l'exemple de l'État du Paraná, qui peut être divisé en 10 de grille optimisée, en fonction de la quantité de la superficie et du nombre de propriétés, avec 20 professionnels accrédités pour chaque région.

Mots clés: Géoréférencement des propriétés rurales, système de gestion des terres (SIGEF / INCRA) et réseau social complexe.

Resumen

MODELIZACIÓN MATEMÁTICA Y ANÁLISIS DE REDES PARA LA RED TERRITORIAL DE PROPIEDADES RURALES. Este trabajo discute la estructura de la red social compleja formada a través de los servicios de georreferenciación de propiedades, para el año 2017 y para el trienio 2017-19, a partir de los datos del Sistema de Gestión de Tierras (SIGEF/INCRA) de todos los estados brasileños. Los focos establecidos fueron las interrelaciones territoriales entre los profesionales acreditados y las propiedades rurales georreferenciadas (propietarios de tierras). La topología de la red presentaba un patrón sin escala, según una ley de potencia, que produce una preferencia por los (profesionales) que están más conectados. A partir de la agrupación de la red, creación de clusters o comunidades, fue posible extraer/seleccionar las siguientes variables: número de profesionales por grupo (nP), superficie total georreferenciada (A_{geo}), número de propiedades georreferenciadas (n_{Geo}) y número de municipios dentro de cada grupo (nM). Así, se crearon dos modelos de regresión para datos de conteo (Poisson-Gama) que pueden aplicarse en todos los estados brasileños para la creación de cuadrículas territoriales homogéneas. Tomando como ejemplo el Estado de Paraná, que puede ser dividido en 10 cuadrículas optimizadas, por la cantidad de área y número de propiedades, con 20 profesionales acreditados para cada región.

Palabras clave: Georreferenciación de propiedades rurales; Sistema de gestión de tierras (SIGEF / INCRA) y Red social compleja.

III.1 Introdução

A área de interesse do presente trabalho, que envolve gestão pública territorial (Rosalen, 2014; Carneiro & Miranda, 2020), é gerenciada pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e gera uma rede de atores, que pode ser considerada como uma metáfora norteadora da análise organizacional, que gera ligações de adjacências e indicam padrões de relacionamento (Andrade, 2006; Guerreiro, 2012; Fialho, 2014). No caso da malha territorial brasileira, padrões de relacionamento são identificados por intermédio da inter-relação entre os profissionais credenciados, imóveis rurais georreferenciados, e os municípios desses imóveis. Essa área do conhecimento ficou conhecida como georreferenciamento dos imóveis rurais (Augusto, 2013; Rosalen, 2014; Carneiro & Miranda, 2020).

O georreferenciamento de feições cartográficas é um dos pilares do cadastro de terras (Zevenbergen, 2004; Loch & Erba, 2007; Marra, 2017; Carneiro & Miranda, 2020), que pode influenciar diversos aspectos da vida cotidiana de uma cidade, tanto dos espaços rurais quanto dos urbanos (Câmara *et al.*, 2003; Santos, 2014). As informações espaciais georreferenciadas contribuem para o aprimoramento das infraestruturas tecnológicas e banco de dados geográficos que favorecem o desenvolvimento de cidades e fazendas inteligentes (Battey, 2016; Kitchin *et al.*, 2018; Przybilovicz *et al.*, 2018).

De acordo com a Federação Internacional dos Geômetras (FIG) (Figur, 2011; Reydon & Costa 2010; Hasenack, 2013; Marra, 2017; Carneiro & Miranda, 2020), cadastro é um sistema territorial que registra os interesses pela terra, construído por índices que consideram direitos, restrições e responsabilidades, ao longo do tempo, e envolvem, no mínimo, três dimensões: (a) organizacional; (b) humana e; (c) técnica ou tecnológica. Ressalta-se que a dimensão tecnológica não deve se sobrepor às demais e que os estudos cadastrais podem envolver outras dimensões, tais como: (a) histórica; (b) cultural e; (c) semiótica ou linguística. Como no caso da língua alemã, em que as palavras Grundbuch e Grundstück (Soto, 2001; Figur, 2011; Hasenack, 2013), quando traduzidas livremente para o português como Livro de Registro (Mosaico de Propriedades) e Peça/Parcela de Registro (Propriedade) apresentam uma relação semiótica que talvez não seja possível captar, facilmente, no contexto da língua portuguesa.

Alguns problemas que envolvem a falta de integração entre os sistemas cadastrais brasileiros (Guedes & Reydon, 2012; Reydon *et al.*, 2015; Marra, 2017) podem surgir devido à inexistência de marcas ou de palavras significativas (Pietroforte, 2017; Rios, 2017; Kendall & McGuinness, 2019), que possam descrever, intuitivamente, as relações e as modificações territoriais decorrentes das transações cadastrais ao longo do tempo.

No contexto da Lei 10.267 (2001), a palavra Georreferenciamento considera que as medições estejam “amarradas” — Princípio da Vizinhança — ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) com precisão posicional de 50 cm. O primeiro documento importante no Brasil a tratar do

Princípio da Vizinhança foi a Norma Técnica NBR 13.133 (ABNT, 1994), definida como uma regra da geodésia em que “[...] cada ponto novo, determinado, deve ser ‘amarrado’ ou relacionado a todos os outros pontos já determinados, para que haja a otimização da distribuição dos erros” (Gemael et al., 2015; Dalmolin, 2017). Essa ideia define Rede Geodésica e Rede de Referência Cadastral Municipal, que foi instituída por meio da norma NBR 14.166 (ABNT, 1998) para ajudar a garantir a qualidade dos levantamentos topográficos e geodésicos (Madeira *et al.*, 2015; Demarqui Jr. *et al.*, 2021).

Junto com o Princípio da Vizinhança, a Lei 10.267/2001, que modificou a Lei 6.015 (1973) — Lei de Registros Públicos —, melhorou o Princípio da Especialização do imóvel rural (Localização e Área) (Augusto, 2013; Peters *et al.*, 2014; Cassettari, 2015), influenciando na governança de terras, por intermédio da descrição georreferenciada (Kaufmann & Steudler, 1998; Marra, 2017). Além de contribuir para o afloramento de um novo paradigma para o cadastro de terras no Brasil, a Lei 10.267/2001 provocou outra disrupção, — a PL 2.087/04 e, recentemente, a PL 2.088/21 (CONFEA, 2022). Devido à escassez de profissionais da área de agrimensura e cartografia, o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA) permitiu que profissionais das áreas correlatas pudessem ser habilitados para executar serviços de georreferenciamento de imóveis rurais.

É nesse contexto que os profissionais credenciados no cadastramento de terras formam uma rede social complexa, que pode ser interpretada por meio da frequência de atuação de cada profissional nos municípios (Serviços de georreferenciamento). Dessa forma, a aplicação do método estrutural (Lazega & Higgins, 2014) baseado na teoria dos grafos (Kleindorfer *et al.*, 2012; Netto & Jurkiewicz 2017) permite localizar subconjuntos, comunidades, ou agrupamentos, que possibilitam caracterizar os processos sociais e territoriais. Os profissionais credenciados são atores que ajudam outros atores (por exemplo, os possuidores de imóveis) a estabelecerem vínculos globais por meio do direito de propriedade. Esse direito não pode ser resumido a um pedaço de papel, georreferenciado ou não, que extrapola os princípios da vizinhança e da especialização, resultando na importância central do Princípio do Consenso (Soto, 2001; Guedes & Reydon, 2012; Augusto, 2013; Carnelutti, 2015; Lacoste, 2019), em que cada peça/parcela de direito, registrada no Livro de Registro de Imóveis (Grundbuch), necessita estabelecer uma harmonia entre o seu detentor atual, seus confrontantes e o seu detentor promitente. No caso dos imóveis rurais, a rede é conectada por meio da atuação de um profissional responsável e de um sistema cadastral capaz de elucidar todas as etapas da transação. Busca-se uma transição gradual do sistema informal, impreciso, para um sistema formal, georreferenciado (Soto, 2001; Guedes & Reydon, 2012; Augusto, 2013; Rosalen, 2014; Marra, 2017; Carneiro & Miranda, 2020).

Portanto, o objetivo do presente trabalho é analisar a estrutura da rede social complexa que compõe o mercado de georreferenciamento de imóveis rurais, baseada na relação entre os profissionais credenciados e os proprietários de imóvel rural, de todos os estados brasileiros. Dois

recortes temporais foram utilizados: o ano de 2017 e o triênio 2017-2019. Com a intenção de aprimorar os padrões territoriais, por intermédio do desenvolvimento de modelos de predição ou alocação de mão de obra.

O ano de 2017 foi escolhido por ser o limite do período obrigatório de 15 anos (Escalonamento de área) para os imóveis rurais entre 100 e menores que 250 hectares. O triênio 2017-2019 contempla a transição para o novo período que vai até 2022 e envolve os imóveis entre 25 e menores de 100 hectares, de acordo com o decreto 9.311 (2018).

Segundo o Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR), mais de 4 milhões de imóveis rurais devem ser georreferenciados até 2025. De acordo com a Lei 10.267/2001, os imóveis abaixo de quatro Módulos Fiscais (MF), pertencentes a agricultura familiar, estão isentos de custo dos serviços de georreferenciamento, e é responsabilidade do Estado a medição e a captação desses imóveis. Por exemplo, 80% dos imóveis do estado do Paraná encontram-se nessa situação, envolvendo uma área 4.907.113 ha e 342.724 imóveis rurais, segundo o SNCR (2015) ou 4.318.872 ha e 291.333 estabelecimentos agropecuários, conforme o Censo 2017 (IBGE, 2022), distribuídos em 399 municípios.

III.2 Metodologia

III.2.1 O estudo das redes

O estudo das redes em forma de grafos teve início com Euler, em 1735 (Guerreiro, 2012; Lopes & Táboas, 2015; Netto & Jurkiewicz, 2017), e tornou-se, atualmente, um campo importante da ciência. Esse método foi originado do famoso problema das sete pontes de Königsberg e espalhou-se para várias áreas do conhecimento, após os trabalhos de redes aleatórias desenvolvidos por Erdős e Rényi (Erdős & Rényi, 1959; Barabási, 2009; Barabási & Pósfai, 2016). As redes em formas de grafos têm sido aplicadas, principalmente, nas áreas que buscam compreender as topologias das redes complexas, por exemplo, as redes de relacionamento, de cidades, ou do cérebro humano (Barabási, 2009; Rashid, 2017; West, 2017; Leonardi & Contractor, 2018; Bertolero & Bassett, 2019; Rodrigues & Pereira, 2019).

Desse modo, os grafos se tornaram ferramenta indispensável para representar as inter-relações do mundo real, o que permite o desenvolvimento de sistemas computacionais para modelar/tratar as estruturas topológicas de interesse territorial, geográfico, como os Sistemas de Informação Geográfica (CAD/GIS), usados em geoprocessamento, ou os *Graph Databases e Blockchain*, que estão em sintonia como a nova fronteira da ciência de dados e *Big Data* (Graham & Shelton, 2013; Kitchin, 2014a, 2014b, 2014c). Contudo, ao contrário do que se esperava, as redes reais seguem uma lei de potência (Barabási & Reka, 1999; Barabási, 2009; West, 2017), fractal, ou livre de escala (Barabási & Reka, 1999; Barabási, 2009; Dauphiné, 2012; Barabási & Pósfai, 2016; West, 2017).

Nesse tipo de estrutura, um grande número de nós possui poucas conexões e alguns poucos

nós possuem muitos elos/conexões, o que permite que alguns nós sejam mais importantes, ou influentes que outros (Barabási & Reka, 1999; Barabási, 2009). As redes sem escala estão presentes em toda a natureza e despertam o interesse científico em compreender o seu comportamento ou aplicação (Barabási, 2009; West, 2017).

Portanto, a análise desses fenômenos singulares, que podem ser cartografados (Pombo, 2009; Guerreiro, 2012; Deleuze & Guattari, 2017), mas que são imprevisíveis, permite compreender melhor os processos dinâmicos não determinísticos, governados pela lei do caos, que são capazes de auto-organizar de maneiras novas, indefinidas, ao longo do espaço-tempo, e produzir padrões emergentes, (Barabási, 2009; West, 2017).

III.2.2 Base de Dados (Data Frame) SIGEF

A base de dados utilizada, em shapefile, foi obtida em 28/05/2021, do Acervo Fundiário do Incra e faz parte do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF); corresponde a 638.677 polígonos (Georreferenciados) e inclui a relação dos profissionais credenciados, com mais de 12 mil profissionais (INCRA, 2022). O SIGEF é um sistema que automatizou o processamento e a análise de sobreposição dos imóveis georreferenciados, levantamentos topográficos, e contribui para o desenvolvimento de um mosaico preciso das propriedades rurais brasileiras (Grundbuch) (SIGEF, 2022). De acordo com a Lei 10.267 (2001), toda transferência pode ser documentada e serve como uma testemunha confiável das relações entre proprietários, propriedades e seus lindeiros. Com isso, passa a ser responsabilidade técnica do profissional credenciado fazer a ponte tecnológica.

III.2.3 Ferramentas de Análise e Geoprocessamento

O trabalho utilizou o QGIS (Graser, 2013) e o Sistema Estatístico R (Grolemund, 2014; Wickham & Grolemund, 2017; Wickham *et al.*, 2019), considerando as seguintes etapas: (a) seleção das variáveis: código do profissional credenciado, data de aprovação do serviço, código do município, unidade da federação (da base de dados original); (b) recorte/filtro da base de dados para o ano de 2017 e para o triênio 2017-2019; (c) recorte/filtro das variáveis por unidade da federação; (d) transformação da relação espacial, imóvel x município, para relação de rede (Grafos), credenciado x município; com base na abordagem de meta-populações (Schweitzer *et al.*, 2014; Rodrigues & Pereira, 2019), em que cada nó da rede, quando se trata do município, representa um conjunto de imóveis rurais georreferenciados; por meio do código dos profissionais credenciados pelo Incra e o código dos municípios, adotados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022); (e) cálculo do grau da rede; e (f) análise de grupos com diversos algoritmos: caminhos aleatórios (random walk), densidade e modularidade (Blanchard & Volchenkov, 2011; Kolaczyk & Csárdi, 2014; Popov, 2020); (g) criação de duas novas bases de dados, com as seguintes variáveis: código do município, código do profissional credenciado (rt),

unidade da federação, área georreferenciada, grupo e grau da rede de cada profissional e município; (h) criação das bases de dados finais, com as seguintes variáveis: número de profissionais por grupo (nP), área total georreferenciada (Ageo), número de imóveis georreferenciados (nGeo) e número de municípios dentro de cada grupo (nM); (i) modelagem matemática, com base nos modelos de regressão para dados de contagem: Poisson e Binomial Negativo; e (j) proposta de alocação de profissionais para o estado do Paraná, com a sugestão da criação de grades territoriais. A **figura III.1** exibe o fluxograma das etapas do trabalho.

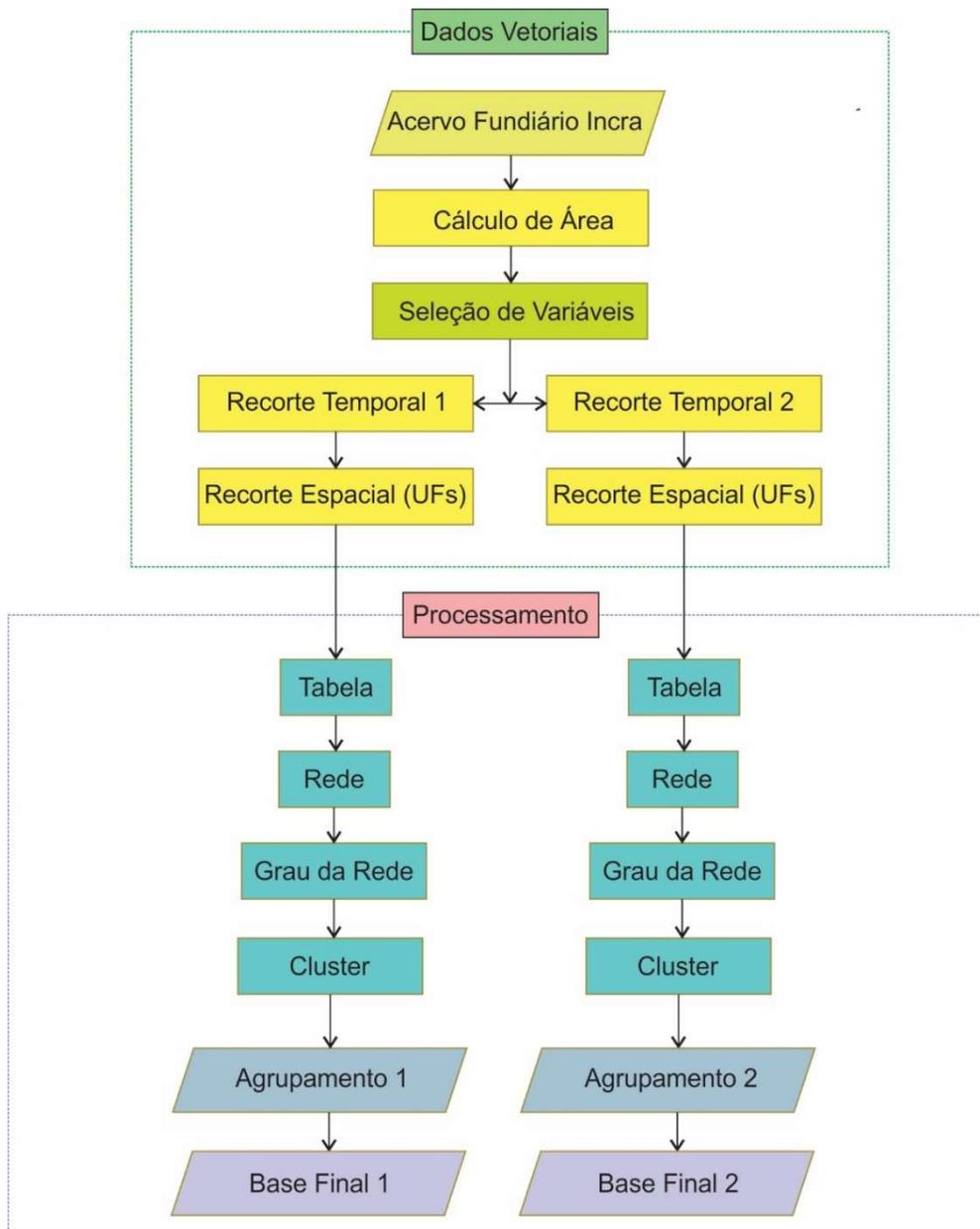


Figure III.1 Representação esquemática das etapas do trabalho

III.2.4 Representação matemática da rede

III.2.4.1 Grau da Rede

Um grafo (G) é um conjunto de vértices (V) e arestas (E), denotado por $G = G(V, E)$, no

qual os vértices podem estar conectados uns aos outros pelas arestas (Edelsbrunner & Harer, 2010; Guerreiro, 2012; Laranjeira, 2014; Netto & Jurkiewicz 2017). O grau K de um vértice qualquer v é usado para descrever a estrutura da rede e as interações entre os vértices. Assim, o número de arestas que incidem (chegam ou saem) em um vértice é considerado para calcular o grau do vértice, $K(v)$, dado por:

$$K(v) = \sum_i^n v \quad (\text{eq.1})$$

Para a realização do cálculo do grau da rede foi utilizado pacote Igraph do R (Csardi & Nepusz, 2006; Laranjeira, 2014; Kolaczyk & Csárdi, 2014; Luke, 2015), que também possibilita a representação visual da rede, devido à disponibilidade de vários tipos de layouts.

III.2.4.2 Modularidade

Em redes complexas, é observada a formação de comunidades, ou clusters. Para o cálculo dos agrupamentos, é utilizada a medida de custo de partição do grafo, conhecida como modularidade Q da rede, que quantifica a similaridade entre os grupos de forma não supervisionada. A conexão entre os vértices é construída de acordo com a seguinte equação:

$$Q = \frac{1}{4m} \sum_i^j (A_{ij} - \frac{\Gamma(v_i)\Gamma(v_j)}{2m}) \quad (\text{eq.2})$$

Em que Q representa a modularidade; o termo $1/4m$ foi convencionado por razões de normalização; A_{ij} representa a matriz de adjacências; os termos $\Gamma(v_i)\Gamma(v_j)/2m$ calculam a probabilidade de cada aresta estar entre o vértice i e j , de acordo com algum parâmetro de atribuição de aresta aleatório; m representa o número total de arestas do grafo; v_i representa o grau do vértice i ; e v_j , o grau do vértice j . Os algoritmos recorrem a uma abordagem heurística baseada na otimização da modularidade (Newman, 2004, 2006; Comber *et al.*, 2012; Guerreiro, 2012).

Para a criação dos agrupamentos, clusters, da rede dos profissionais credenciados, foram testados quatro algoritmos de clusterização do pacote Igraph: (a) walktrap, que tenta encontrar subgrafos, densamente conectados, por meio de caminhos aleatórios — a ideia é que uma curta caminhada (aleatória) tende a encontrar o mesmo grupo; (b) edge_betweenness, que considera módulos (grupos) densamente conectados a si mesmos e escassamente conectados a outros módulos; (c) infomap, que busca estruturas (comunidades) que minimizem o comprimento das trajetórias por caminhos aleatório e; (d) optimal, que busca a estrutura ideal da comunidade, maximizando a medida da modularidade em todas as partições possíveis (Blanchard & Volchenkov, 2011; Kolaczyk & Csárdi, 2014; Popov, 2020).

III.2.5 Modelos de regressão para dados de contagem

Assim, como destacado na literatura, a rede “credenciado x município” obedece a uma lei de potência, fractal, independente do recorte espacial ou temporal, ou da complexidade da rede, o que demonstra que alguns profissionais tendem a realizar muitos serviços, enquanto a maioria realiza poucos serviços. Essa estrutura pode ser modelada com base na regressão para dados de contagem (valores discretos e não negativos): Poisson ou Poisson-Gama (Binomial Negativo): quando existe superdispersão, ou calda longa, na variável dependente nP (Tadano *et al.*, 2009; Cameron & Trivedi, 2020; Fávero & Belfiore, 2021).

$$nP = e^{\alpha + \beta_1.Ageo + \beta_2.nGeo + .nM} \quad (\text{eq.3})$$

Esses constructos são conhecidos como Modelos Lineares Generalizados (GLM) (Tadano *et al.*, 2009; Wood, 2017; Fávero & Belfiore, 2021) estimados pelo logaritmo da função de verossimilhanças. Para a estimação dos modelos foi usado o software R, com o pacote MASS (Venables & Ripley, 2002; Grolemond, 2014; Wickham & Grolemond, 2017).

III.3 Resultados e Discussão

Os resultados possibilitaram observar a distribuição de agrupamentos de municípios conectados nos estados do Paraná e de Goiás e aqueles que não foram visitados, em 2017, e no triênio 2017-19 (Figuras 2 e 3). As **figuras III.2 e III.3** e **quadros III.1 e III.2** apresentam os resultados de agrupamentos dos estados selecionados: (a) o algoritmo *infomap* criou muitos grupos, o que inviabiliza a partição da rede, portanto, foi descartado; (b) o algoritmo *optimal*, que otimiza a modularidade, não foi executado devido à existência na rede de nós sem conexão e; (c) os algoritmos *walktrap* e *edge_betweenness* produziram estruturas que podem ser comparadas.

Quadro III.1 Resultado dos agrupamentos walktrap, edge_betweenness e infomap — Recorte temporal 2017 — 80.880 observações

UF	Algoritmo	Grupos	Modularidade	n_Mun
PR	walktrap	84	0,76	399
GO	walktrap	42	0,73	246
PR	edge_betweenness	63	0,81	399
GO	edge_betweenness	32	0,76	246
PR	infomap	228	0,38	399
GO	infomap	201	0,31	246

Quadro III.2 Resultado dos agrupamentos walktrap, edge_betweenness e infomap — Recorte temporal 2017-2019 — 279.023 observações

UF	Algoritmo	Grupos	Modularidade	n_Mun
PR	walktrap	36	0,68	399
GO	walktrap	49	0,66	246
PR	edge_betweenness	29	0,74	399
GO	edge_betweenness	32	0,73	246
PR	infomap	291	0,17	399
GO	infomap	234	0,18	246

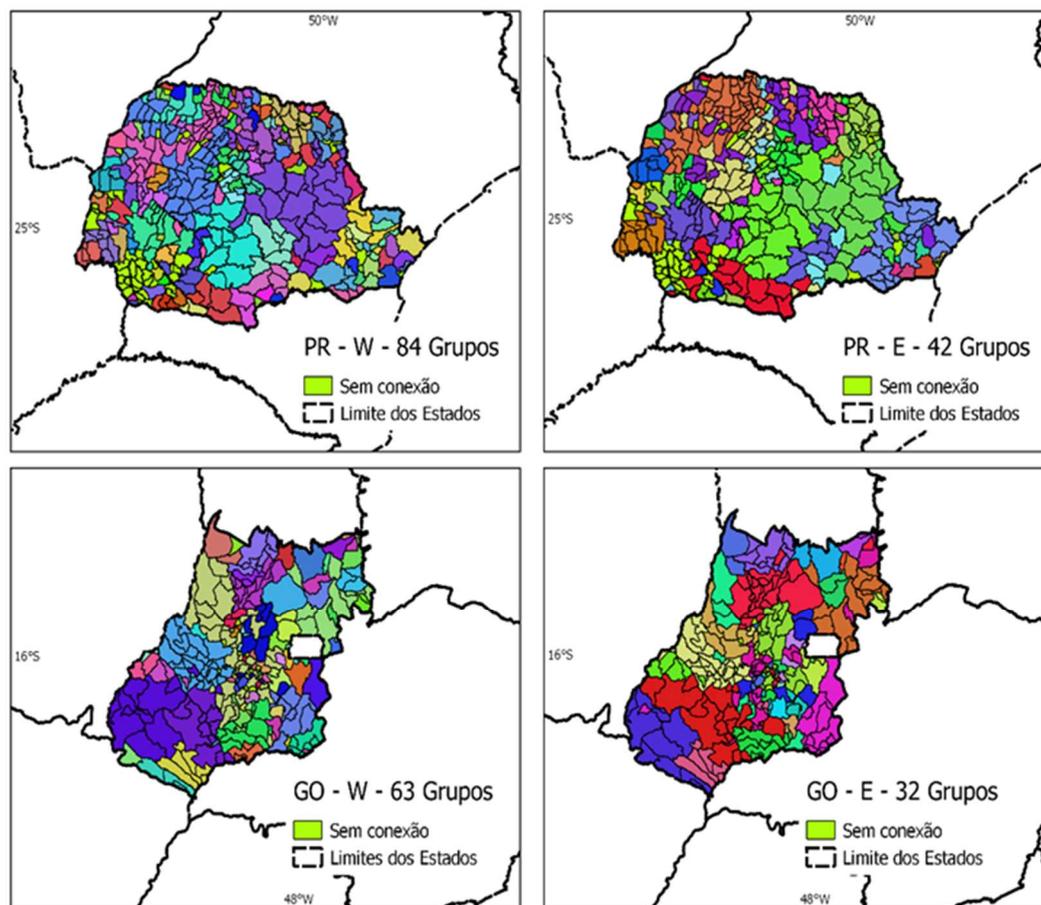


Figura III.2 W — Agrupamento walktrap; E — Agrupamento edge_betweenness — 2017

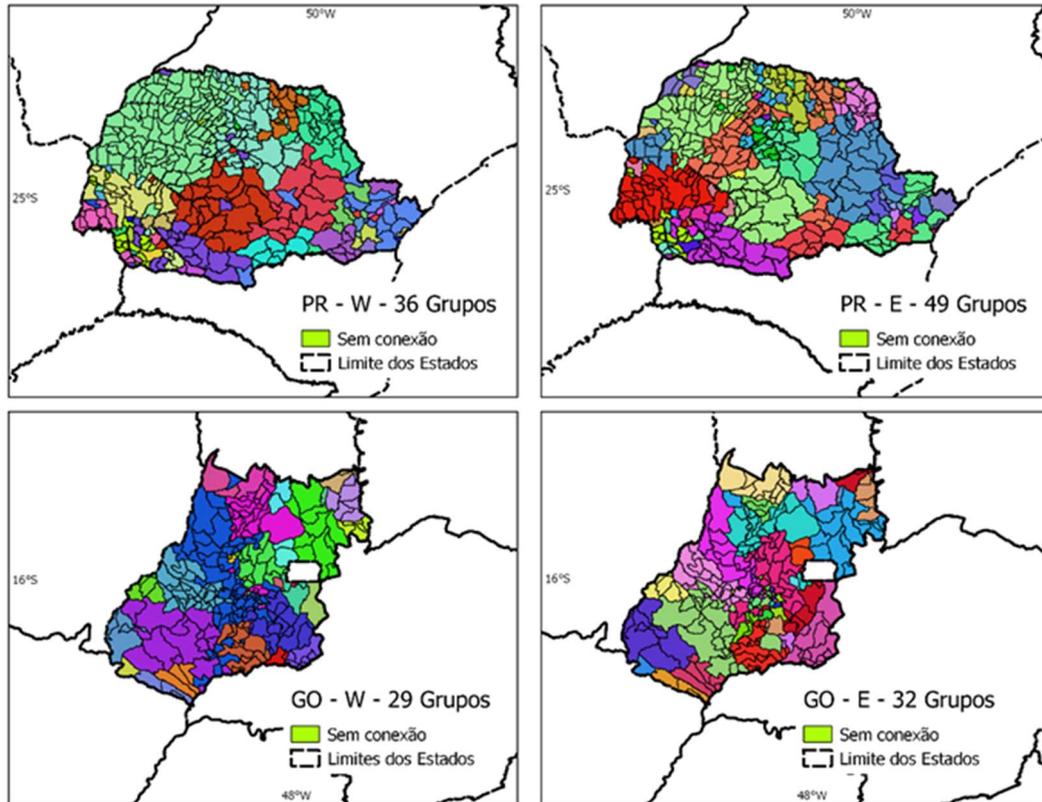


Figura III.3 W — Agrupamento walktrap; E — Agrupamento edge_betweenness — 2017-2019

Embora os resultados da modularidade do algoritmo edge_betweenness seja um pouco melhor do que o algoritmo walktrap para as amostras selecionadas (**Figuras III.2 e III.3 - quadros III.1 e III.2**), somente o algoritmo walktrap foi replicado para os outros 24 estados brasileiros, devido à maior velocidade de processamento. As bases de um e três anos, com a informação de todos os estados foram utilizadas para estimar os modelos de regressão, contando, respectivamente, com 1.106 e 908 observações e envolvendo as quatro variáveis: nP, Ageo, nGeo e nM. **As figuras III.4 e III.5** apresentam a correlação das variáveis.

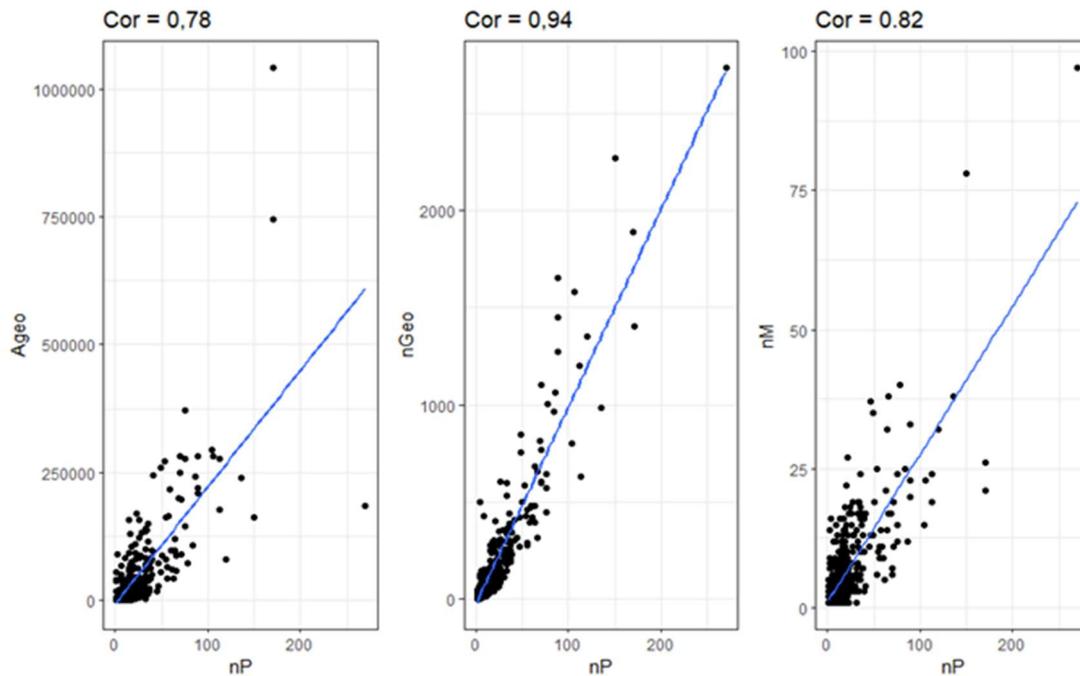


Figura III.4 Correlação das variáveis ¹(Base final — 2017)

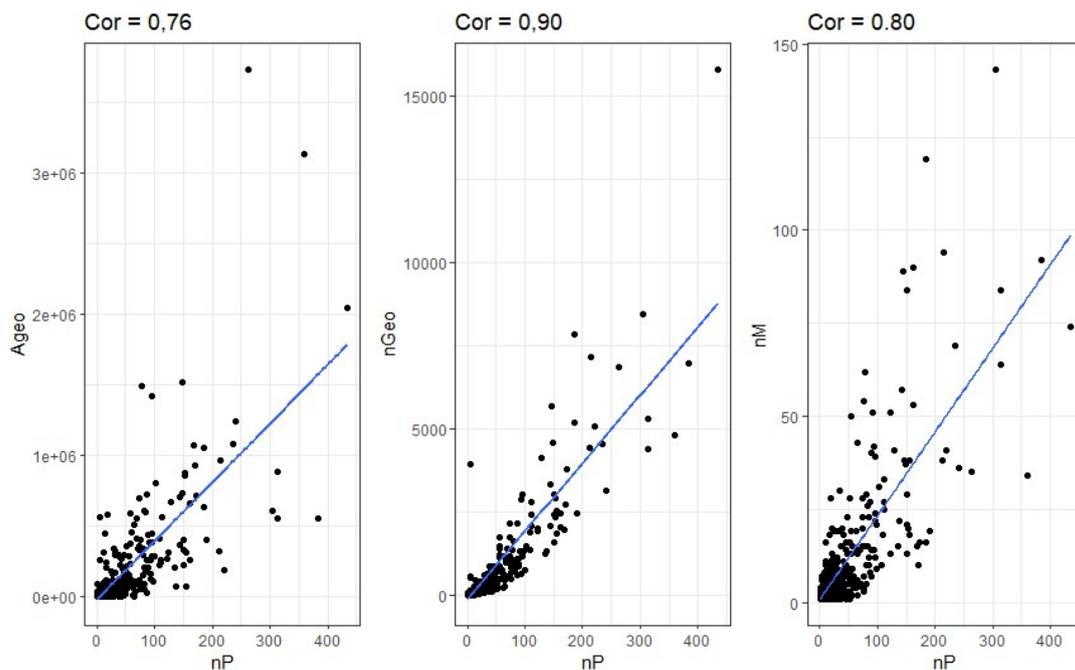


Figura III.5 Correlação das variáveis ²(Base final — 2017-2019)

Os modelos Poisson 1 (um) e 3 (três) anos foram descartados na ocorrência do fenômeno de superdispersão, quando a média e a variância da variável dependente (nP) não são iguais

¹ Nota. Legenda: nP = Número de Profissionais; Ageo = Área Georreferenciada; nGeo = Número de Imóveis Georreferenciados; nM = Número de Municípios. Key: nP = Number of Professionals; Ageo = Georeferenced Area; nGeo = Number of Georeferenced Properties; nM = Number of Municipalities.

² Nota. Legenda: nP = Número de Profissionais; Ageo = Área Georreferenciada; nGeo = Número de Imóveis Georreferenciados; nM = Número de Municípios. Key: nP = Number of Professionals; Ageo = Georeferenced Area; nGeo = Number of Georeferenced Properties; nM = Number of Municipalities.

(Figura III.6 – Quadro III.3). Conforme o teste de Cameron e Trivedi, usando o pacote *overdisp* do R (Cameron & Trivedi, 2020; Fávero & Belfiore, 2021), somente restaram os modelos Poisson-Gama (Quadros III.4 e III.5).

Quadro III.3 Diagnóstico da superdispersão — Overdisp

Distribuição	Média	Variância	lambda	p-value
Poisson 1 ano	9,798	355,922	18,006	< 2,2e-16
Poisson 3 anos	21,084	1989,87	10,604	< 2,2e-16

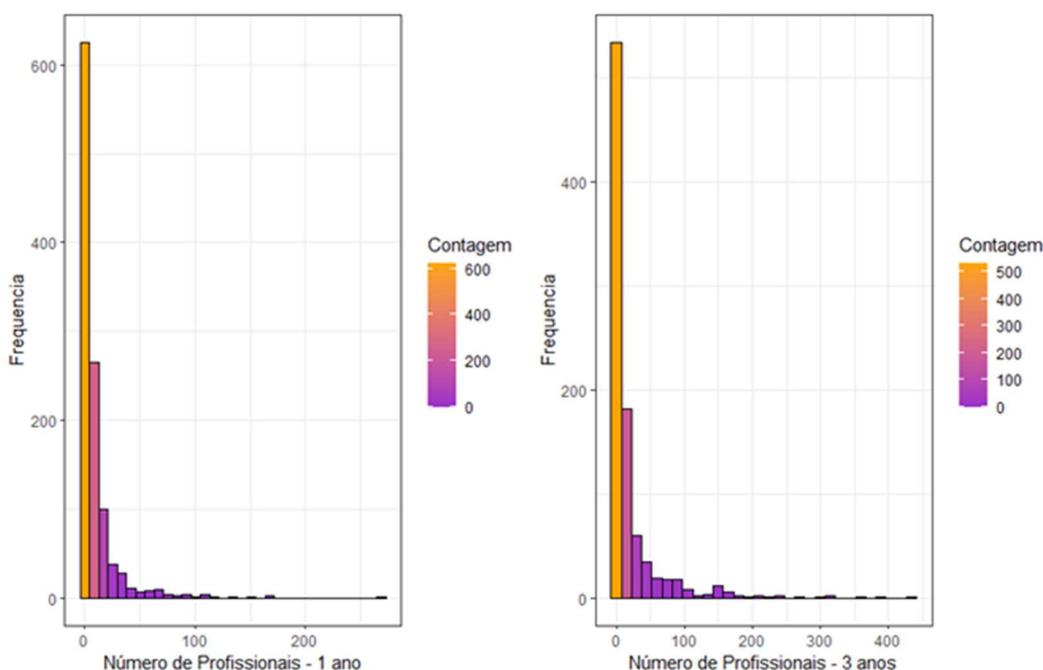


Figura III.6 Histograma de superdispersão dos profissionais — 1 e 3 anos

Os modelos foram ajustados por máxima verossimilhança, usando o logaritmo da função de verossimilhança das funções de densidade de probabilidade Poisson e Poisson-Gama. O principal parâmetro de comparação é o LogLik, mas tanto o Akaike (AIC) quanto o LogLik fornecem parâmetros de comparação (entre os modelos).

Entretanto, os modelos Poisson-Gama um e três anos não apresentam diferenças significativas (Quadros III.4 e III.5). Além disso, foi usado o *lrtest* do pacote *lmtree* do R para a checagem do ajuste dos modelos de regressão (Zeileis & Hothorn, 2002; Fávero & Belfiore, 2021), considerando o teste Qui-quadrado (Chisq) para cinco graus de liberdade (df) e com 0,05 de significância (valor tabelado de 11,07). Ressaltamos que três asteriscos (***) indicam que o modelo tem confiança maior do que 95%.

Quadro III.4 – Parâmetros dos modelos e significância estatística — Base final 2017

Parâmetro	Poisson 1 ano	Poisson-Gama 1 ano
Intercept	1,9359279559 ***	1,3637270934 ***
Ageo	0,0000019060 ***	0,0000052877 ***
nGeo	0,0009992709 ***	0,0020234220 ***
nM	0,0136840177 ***	0,0644889715 ***
Observações	1106	1106
AIC	12240,1694268372	6264,4625174366
BIC	12260,2034475655	6289,5050433470
LogLik (df=4 e df=5)	-6116,085	-3127,231
Chisq (df=4 e df=5)	10112	1067

Quadro III.5 Parâmetros dos modelos e significância estatística — Base final 2017-2019

Parâmetro	Poisson 3 anos	Poisson-Gama 3 anos
Intercept	2,5768638212 ***	1,9259016470 ***
Ageo	0,0000007426 ***	0,0000019651 ***
nGeo	0,0000486764 ***	0,0004739860 ***
nM	0,0229302267 ***	0,0412029236 ***
Observações	908	908
AIC	22834,4740051456	6329,9615189485
BIC	22853,7189826600	6354,0177408415
LogLik (df=4 e df=5)	-11413,24	-3159,981
Chisq (df=4 e df=5)	22688	792

A **figura III.7** exibe o gráfico dos modelos de regressão: Poisson-Gama 1 e 3 anos

Modelos Poisson-Gama 1 e 3 anos:

$$nP1ano = e^{(1.364e+00)+(5.288e-06).Ageo+(2.023e-03).nGeo+(6.449e-02).nM} \quad (eq.4)$$

$$nP3anos = e^{(1.926e+00)+(1.965e-06).Ageo+(4.740e-04).nGeo+(4.120e-02).nM} \quad (eq.5)$$

Na sequência, utilizando os dados do Inkra, foi possível estimar o número de profissionais necessários para realizar o georreferenciamento de todos os imóveis da agricultura familiar do estado do Paraná em três anos. O resultado de 190 profissionais está dentro do domínio confiável da função:

$$747 = e^{(1.364e+00)+(5.288e-06).4907113+(2.023e-03).34272+(6.449e-02).399} \quad (eq.6)$$

$$190 = e^{(1.926e+00)+(1.965e-06).4907113+(4.740e-04).342724+(4.120e-02).399} \quad (eq.7)$$

O modelo não inclui as características sociodemográficas dos profissionais credenciados, por exemplo: idade, sexo, formação profissional, presença ou ausência de um determinado profissional no território etc. O estado do Paraná possui, atualmente, 702 profissionais habilitados,

o que é pretensamente suficiente para a demanda apresentada.

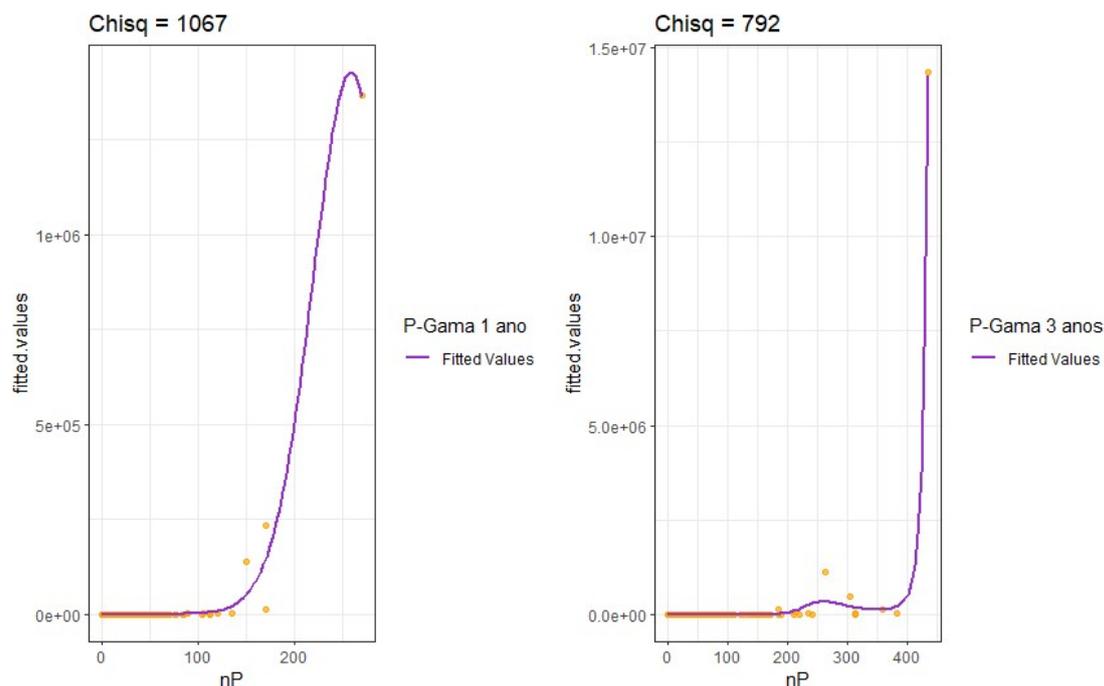


Figura III.7 Gráfico do ajuste dos modelos de regressão: Poisson-Gama 1 e 3 anos

Dessa forma, o estado do Paraná pode ser dividido em 10 territórios, previamente estabelecidos, com 20 profissionais alocados em cada região, considerando a quantidade de área e número de imóveis. Essa mudança de exposição dos profissionais, trocando os conjuntos territoriais irregulares por grades regulares (planejadas), pode deslocar a distribuição dos dados observados para uma distribuição Poisson, o que minimiza os efeitos da superdispersão.

As várias dimensões do cadastro permitem diferentes discussões: governança de terras (Reydon & Costa, 2010; Guedes & Reydon, 2012; Reydon *et al.*, 2015), especificidades técnicas do cadastro (como modelos conceituais e formas de implantação), e avanços tecnológicos relativos ao uso e desenvolvimento de equipamentos (Loch & Erba, 2007; Pinto *et al.*, 2013; Rambo & Rambo, 2013; Oliani, 2016). Além disso, muitos países separam os dados cadastrais (*cadastre data*) daqueles referentes aos registros de terras (*land registry*), como é o caso do Brasil, para evitar, teoricamente, os conflitos entre a morosidade das relações jurídicas e os avanços tecnológicos embarcados nos sistemas de mensuração (Guedes & Reydon, 2012; Torun, 2017). Isso desperta o interesse na aplicação e avaliação dos resultados de determinadas leis, como é o caso da Lei 10.267/2001 (Augusto, 2013; Rosalen, 2014), que contribuiu para o desenvolvimento e a implantação de novos sistemas, ou banco de dados geográficos, que são simulacros/receptáculos para as referidas leis (Câmara *et al.*, 2003; Torun, 2017).

Ressalta-se que toda transferência de posse-domínio (de terra) envolve três elementos no mínimo: (a) um identificador do proprietário; (b) um identificador do objeto possuído, a ser

transacionado, e; (c) o mapeamento entre o proprietário e o objeto. O mapeamento entre o proprietário e o objeto, em geral, é feito em um livro-razão ou livro de registro, acompanhado mapa e memorial descritivo, sob a responsabilidade de um profissional credenciado (Reydon & Costa 2010; Guedes e Reydon, 2012; Rosalen 2014).

Mas em um país com dimensões continentais, como o Brasil, mesmo com todo aparato tecnológico disponível, parece relevante a discussão fomentada por Figur (2011) que compara o cadastro de terras do Brasil com o da Alemanha, onde existe uma estrutura pública de cadastro, com repartições públicas de Cadastro, Cartografia e Agrimensura, em quase todos os estados. Guedes e Reydon (2012) também descrevem a existência de uma estrutura pública de cadastro e registro de terras nos EUA, encarregada do levantamento, da classificação e da distribuição das propriedades/imóveis.

Isso traz para discussão os trabalhos de Hasenack (2013) e Rosalen (2014), que analisaram a área cadastral sob o ponto de vista da suficiência, tanto da qualidade quanto da quantidade, dos profissionais habilitados (ou em formação). Tais autores identificaram, em seus estudos, a deficiência na formação e a carência de profissionais especializadas na área, o que configura um dos problemas estruturais do cadastro no Brasil.

Entretanto, o país possui um número considerável de profissionais credenciados para suprir as demandas dos serviços de georreferenciamento, mas devido à estrutura organizacional existente no Brasil (Figur, 2011; Hasenack, 2013) esses profissionais não conseguem competir com os nós (profissionais) mais ativos e conectados da rede, por estarem mal distribuídos.

As redes livres de escala são robustas à incidência de eventos acidentais, como a chegada de um novo profissional, e ao mesmo tempo, estão susceptíveis para viralizar informações localizadas nos *hubs*, ou nós preferenciais, como a boa ou má qualidade, ou preço, dos serviços, influenciando nos custos de transação dos serviços prestados (Barabási & Reka, 1999; Barabási, 2009; Reydon & Costa 2010; Guedes & Reydon, 2012; Lazega & Higgins, 2014; Rodrigues & Pereira, 2019).

Dessa forma, fica evidente que, além das técnicas, dos modelos e das insistentes discussões acerca de governança fundiária, existe um mercado muito competitivo, tecnológico e de alto custo, devido às dificuldades logísticas existentes no Brasil, que sobrevive sem a interferência ou o apoio do Estado, e que precisa ser mais bem organizado.

Finalmente, de acordo com a Lei 10.267/2001, os proprietários de imóveis rurais, cuja somatória da área não exceda a 4 Módulos Fiscais (MF), pertencentes à agricultura familiar, Lei 11.326 (2006), tem “[...] garantida a isenção de custos financeiros” relativos aos serviços de georreferenciamento. Portanto, pensar em regras diferenciadas para o cadastramento dos imóveis abaixo de 4 MF não é incongruente com as regras e valores do mercado.

Portanto, parece interessante entender o mercado, no qual esses profissionais estão inseridos, para (buscar) substituir, principalmente, no caso da agricultura familiar, o modelo de

redes aleatórias pelo modelo de grades padronizadas/otimizadas e promover a distribuição mais justa dos profissionais credenciados (Figur, 2011; Guedes & Reydon, 2012; Hasenack, 2013).

III.4 Conclusão

O presente trabalho atingiu o objetivo de apresentar a dinâmica dos serviços de georreferenciamento dos imóveis rurais sob um novo ponto de vista, além de mostrar as possibilidades da análise de rede e da geometria fractal (ou padrão multiescalar da rede). É redundante dizer que as redes estão em toda parte, pois existem redes logísticas, redes de cooperação e inovação, redes de colaboração científica, de disseminação de doenças e informação etc., que podem ser cartografadas em diferentes escalas. Mas, além do mapeamento da própria rede para diferentes finalidades, fica sugerido que a modelagem matemática da forma ou da estrutura subjacente da rede analisada contribui para a compreensão do fenômeno estudado.

Dessa forma, essa nova ferramenta de análise pode contribuir para a evolução da gestão territorial brasileira, considerando, entre outras coisas, a fiscalização das atividades ou a proposição de novas regras, que podem produzir inovação, como o uso de modelos de dados orientados a grafos, Graph Databases, ou Blockchain (Câmara *et al.*, 2003; Queiroz *et al.*, 2013; Alvares & Ceci, 2015; Torun, 2017).

Dado o exposto, entende-se a área de cadastro como um sistema cadastral que envolve: (a) o aspecto fiscal, que visa identificar o proprietário-propriedade com o objetivo principal de caracterizar o valor do imóvel para cobrança de impostos; (b) o aspecto jurídico, relativo ao direito de posse/domínio e ao uso da propriedade; (c) o geométrico, que inclui os avanços tecnológicos incorporados aos equipamentos de medição; (d) o multifinalitário, baseado em sistemas de gestão/informação territorial, para diversos propósitos e; (e) agora, o aspecto social, que corresponde à atuação/exposição dos profissionais credenciados no território que, do ponto de vista das redes, formam o principal elo de conexão do sistema cadastral com a sociedade.

Entretanto, o modelo cadastral adotado no Brasil ainda é muito parecido com uma antiga corrida do ouro (ou do comércio de peles) que, metaforicamente, cria os mesmos problemas, a longo prazo, tanto para sociedade, quanto para os prestadores de serviços, visto que não existe a preocupação com a territorialização dos profissionais. Esgota-se um município, parte-se para outro. Dessa forma, de acordo com a proposta mercadológica adotada, esta é coletora, nômade e fluida que, em um primeiro momento, apresenta vantagens para os prestadores de serviço, que podem cobrir, teoricamente, uma vasta área de influência. No entanto, em um segundo momento, apresenta desvantagens para toda a sociedade, uma vez que esse modelo não contribui para a formação de uma cultura cadastral, na qual os serviços devem ser perecidos como cíclicos, retroalimentados continuamente.

Referências

- Alvares, G. M., & Ceci, F. (2015). *Base de dados orientada a grafos: um experimento aplicado na análise social* [Graph-oriented database: an experiment applied in social analysis]. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 11(21), 127-139. <https://www.redalyc.org/pdf/4966/496650343010.pdf>.
- Andrade, J. A. (2006). *Redes de atores: uma nova forma de gestão das políticas públicas no Brasil?* [Networks of actors: a new form of public policy management in Brazil?]. *Gestão e Regionalidade*, 22(64), 52-66. DOI: <https://doi.org/10.13037/gr.vol22n64.56>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). NBR 13133 – Execução de levantamentos topográficos [Execution of topographic surveys].
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). NBR 14166 – Rede de referência cadastral municipal [Municipal cadastral reference network].
- Augusto, E. A. A. (2013). *Registro de imóveis, retificação de registro e georreferenciamento: fundamentos e prática* [Property registration, registration rectification and georeferencing: fundamentals and practice]. Editora Saraiva.
- Barabási, A.-L. (2009). *Linked, a nova ciência dos networks, como tudo está conectado a tudo e o que isso significa para os negócios, relações sociais e ciência* [Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life]. Leopardo Editora.
- Barabási, A.-L., & Pósfai, M. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press.
- Barabási, A.-L., & Reka, A. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286, 509–512. DOI: 10.1126/science.286.5439.509
- Bathey, M. (2016) Big data and the city. *Built Environment*, 42(3), 321-337. DOI: 10.2148/benv.42.3.321
- Bertolero, M., & Bassett, D. (2019). *Como a matéria produz a mente – uma nova disciplina, a neurociência de redes, está mostrando como a mente pode emergir a partir de uma interação refinada entre diferentes áreas do cérebro* [How Matter Produces the Mind – A new discipline, network neuroscience, is showing how the mind can emerge from a refined interaction between different areas of the brain]. Scientific American Brasil.
- Blanchard, P., & Volchenkov, D. (2011). *Random Walks and Diffusions on Graphs and Databases: An Introduction*. Springer. Ebook Kindle.
- Câmara, G., Monteiro, A. M. V., & Medeiros, J. S. (2003). *Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação* [Computational representations of space: epistemological foundations of geographical information science]. *Geografia*, 28(1), 83-96 <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1090>
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2020). *Overdisp: overdispersion in count data multiple regression analysis*. R package version 0.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=overdisp>
- Carneiro, A. F. T., & Miranda, C. R. (2020). *Evolução e tendências nas pesquisas em administração territorial e cadastro* [Evolution and trends in research on land administration and cadastre]. *Revista Brasileira de Cartografia*, 72, n. Especial 50 anos. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56586>

Carnelutti, F. (2015). *Como nasce o direito* [How law is born]. Editora Pilares. Ebook Kindle.

Cassettari, C. (2015). *Direito agrário* [Agrarian law]. Atlas.

Comber, A. J., Brunson, C. F., & Farmer, C. J. Q. (2012). Community detection in spatial networks: Inferring land use from a planar graph of land cover objects. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18(1), 274–282. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.020>

Conselho Federal de Engenharia e Agronomia - CONFEA. (2022). *Ementas e Normativos* [Summaries and Norms]. <https://normativos.confea.org.br/Ementas>

Csardi, G., & Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal*, Complex Systems 1695.

Dalmolin, Q. (2017). *Algumas considerações sobre a avaliação do resultado de um ajustamento de observações* [Some considerations on the evaluation of the result of an adjustment of observations]. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(3), 533-539. <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44347>

Dauphiné, A. (2012). *Fractal Geography*. Wiley, Ebook Kindle.

Decreto Federal nº 9.311/18, de 15/03/2018. Regulamenta a Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e a Lei nº 13.001, de 20 de junho de 2014, para dispor sobre o processo de seleção, permanência e titulação das famílias beneficiárias do Programa Nacional de Reforma Agrária [Federal Decree 9.311/18 of 03/15/2018. Regulates Law 8.629 of 02/25/1993 and Law 13.001 of 06/20/2014, to address the selection, permanence and registration processes of the families benefited by the National Program of Agrarian Reform].

Deleuze, G., & Guattari, F. (2017). *Mil platôs I* [A thousand plateaus 1]. Editora 34.

Demarqui Jr., H., Lopes, A. B., Cruz, W., Vargas, R. R., & Faggion, P. L. (2021). *Determinação da rede de referência cadastral no município de pontal do Paraná – PR* [Determination of the cadastral reference network in the municipality of Pontal do Paraná – PR]. *Revista Brasileira de Geomática*, 9(2), 87-102. <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/13069/8368>

Edelsbrunner, H., & Harer, J. (2010). *Computational topology: an introduction*. *Departments of computer science and mathematics*. Duke University.

Erdős, P., & Rényi, A. (1959). On the evolution of random graphs. *Publicationes Mathematicae*, 6, 290-297.

Fávero, L. P. F. & Belfiore, P. (2021). *Análise de dados – estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata* [Data analysis - statistics and multivariate modeling with Excel, SPSS and Stata]. LTC.

Fialho, J. M. R. (2014). *Análise de redes sociais: princípios, linguagem e estratégias de ação na gestão do conhecimento. Perspectivas em gestão & conhecimento* [Social network analysis: principles, language, and action strategies in knowledge management. Perspectives on management & knowledge]. 4 (Número Especial), 9-26. <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/pgc/article/view/20881>

Figur, R. L. (2011). *Análise comparativa entre o sistema cadastral da Alemanha e as diretrizes para o cadastro territorial multifinalitário brasileiro* [Comparative analysis between

the German cadastral system and the guidelines for the Brazilian multipurpose land cadastre]. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95680>

Gemael, C., Machado, A. M. L. & Wandresen, R. (2015). *Introdução ao ajustamento de observações – aplicações geodésicas* [Introduction to observation adjustment – geodetic applications]. Editora UFPR.

Graham, M., & Shelton, T. (2013). Geography and the future of big data, big data, and the future of Geography. *Dialogues in Human Geography*, 3(3), 255–261. DOI:10.1177/2043820613513121

Graser, A. (2013). Learning QGIS 2.0. Packt Publishing Ltd.

Grolemund, G. (2014). *Hands-on programming with r – write your own functions and simulations*. O'Reilly, Ebook Kindle.

Guedes, S. N. R. & Reydon, B. P. (2012). *Direitos de propriedade de terra no Brasil: uma proposta institucional para ampliar a governança fundiária* [Land property rights in Brazil: an institutional proposal to expand land governance]. *Revista de Economia e Sociologia Rural RESR*, 50(3), 525-544. DOI: 10.1590/S0103-20032012000300008

Guerreiro, A. J. C. (2012). *Análise de redes sociais. Aplicação a uma rede de clientes social* [Network analysis. Application to a customer network]. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Economia, Universidade do Porto]. <https://core.ac.uk/download/pdf/143367111.pdf>

Hasenack, M. (2013). *A cartografia cadastral no Brasil* [Cadastral cartography in Brazil]. [Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107431>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2022). *Censo Agro 2017* [2017 Agricultural Census]. <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2022). *Códigos dos Municípios* [Municipalities' Codes]. <https://www.ibge.gov.br/explica/codigos-dos-municipios.php>

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA. (2022). *Acervo Fundiário* [Land Collection]. <https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>

Kaufmann, J., & Steudler, D. (1998). *Cadastrre 2014 – A Vision for a Future Cadastral System*. International Federation of Surveyors. <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastrre2014/translation/c2014-english.pdf>
Ontology engineering. Morgan

Kendall, E. F., & McGuinness, D. L. (2019). *Ontology engineering*. Morgan & Claypool Publishers.

Kitchin, R. (2014a). Big data, new epistemologies, and paradigm shifts. *Big Data & Society*, 1–12. DOI: 10.1177/2053951714528481

Kitchin, R. (2014b). Big data and human Geography, opportunities, challenges, and risks. <https://doi.org/10.1177/2043820613513388>

Kitchin, R. (2014c). *The data revolution, big data, open data, data infrastructures & their consequences*. SAGE Publications Ltd.

Kitchin, R., Lauriault, T. P., & McArdles, G. (2018). *Data and the City*. Routledge Taylor & Francis Group.

Kleindorfer, P. R., Wind, Y. J., & Gunther, R. E. (2012). *O desafio das redes* [The network challenge]. Bookman.

Kolaczyk, E. D., & Csárdi, G. (2014). *Statistical analysis of network data with R*. Springer. Ebook Kindle.

Lacoste, Y. (2019). *A Geografia – isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra* [Geography – this serves, in the first place, to make war]. Papirus Editora.

Laranjeira, P. A. (2014). *Métricas de centralidade em redes sociais* [Centrality metrics in social media]. *Revista de Ciências Da Computação*, 9, 1–20. <https://core.ac.uk/download/pdf/303042278.pdf>

Lazega, E., & Higgins, S. S. (2014). *Redes sociais e estruturas relacionais* [Social networks and relational structures]. Fino Trato Editora.

Lei Federal nº 6.015/73, de 31/12/1973. Dispõe sobre os registros públicos, e dá outras providências [Law 6.015/73 of 12/31/1973. Addresses public records and provides other measures].

Lei Federal nº 10.267/01, de 28/08/2001. Altera dispositivos das Leis nºs 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências [Law 10.267/01 of 08/28/2001. Alters devices of Laws 4.947 of 04/06/1966, 5.868 of 12/12/1972, 6.015 of 12/31/1973, 6.739 of 12/05/1979 and 9.393 of 12/19/1996, and provides other measures].

Lei Federal nº 11.326/06, de 24/07/2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais [Law 11.326/06 of 07/24/2006. Establishes the guidelines for the formulation of the National Policy of Family Farming and Rural Family Enterprises].

Leonardi, P., & Contractor, N. (2018). *Melhore seu people analytics – avalie quem elas conhecem, não apenas quem são* [Improve your people analytics – assess who they know, not just who they are]. Harvard Business Review.

Loch, C., & Erba, D. A. (2007). *Castro técnico multifinalitário: rural e urbano* [Multipurpose technical castro: rural and urban]. Lincoln Institute of Land Policy. <https://www.lincolninst.edu/publications/books/cadastro-tecnico-multifinalitario-rural-e-urbano>

Lopes, F. J. A., & Táboas, P. Z. (2015). *Euler e as pontes de Königsberg* [Euler and the Königsberg Bridges]. *Revista Brasileira de História da Matemática*, 15(30), 23–32. DOI: 10.47976/RBHM2015v15n3023-32

Luke, D. A. (2015). *A user's guide to network analysis in R*. Spring, Ebook Kindle.

Madeira, S., Souza, J. J., & Gonçalves, J. A. (2015). *Topografia – exercícios e tratamento de erros* [Topography – Exercises and Error Handling]. Libel.

Marra, T. B. (2017). *Cadastro territorial no Brasil: modelagem de posse e propriedade a partir do modelo para o domínio da administração de terras (LADM, ISO 19152)* [Land registry in Brazil: modeling of tenure and property from a model for the domain of land administration (LADM, ISO 19152)]. [Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação, Departamento

de Geografia, Universidade de Brasília - UnB]. Repositório Institucional da UnB. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31232>

Netto, P. O. B., & Jurkiewicz, S. (2017). *Grafos: Introdução e Prática* [Graphs: Introduction and Practice]. Blucher.

Newman, M. E. (2006). *Modularity and community structure in networks*. Proceedings of the national academy of sciences, 103(23), 8577–8582. <https://www.pnas.org/content/103/23/8577.short>

Newman, M. E. J. (2004). *Detecting community structure in networks*. The European Physical Journal B, 38(2), 321–330. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/43867/10051_2004_Article_124.pdf?sequence=1

Oliani, L. O. (2016). *Noções de cadastro territorial multifinalitário – CTM* [Notions of multipurpose land registry – CTM]. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar, CREA-PR. https://paranainterativo.pr.gov.br/gerenciadorConteudo/images/nocoos_cadastro_territorial_web.pdf

Peters, E. L., Pires, P. T. L., & Panasolo, A. (2014). *Direito agrário brasileiro – de acordo com o novo código florestal* [Brazilian agrarian law – according to the new forest code]. Juruá Editora.

Pietroforte, A. V. (2017). *Semiótica visual: os percursos do olhar* [Visual semiotics: the paths of the gaze]. Editora Contexto.

Pinto, M. S., Camargo, P. D., & Monico, J. F. G. (2013). *Influência da combinação de dados GPS e Glonass no georreferenciamento de imóveis* [Influence of the combination of GPS and Glonass data on the georeferencing of properties]. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19(1) 135-151. <https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/31242>

Pombo, R. M. (2009). *Generalização cartográfica para a representação e análise de redes sociais* [Cartographic generalization for the representation and analysis of social networks]. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná]. Pós-graduação em Ciências Geodésicas. http://www.cienciasgeodesicas.ufpr.br/portal/?page_id=282

Popov, S. (2020). *IOTA: a criptomoeda para a internet-da-coisas* [IOTA: the cryptocurrency for the internet-of-things]. Palestra Unicamp. https://www.ic.unicamp.br/~tomasz/seminarios_2018s1/popov_2.pdf

Przebylovicz, E., Cunha, M. A., & Meirelles, F. S. (2018). *O uso da tecnologia da informação e comunicação para caracterizar os municípios: quem são e o que precisam para desenvolver ações de governo eletrônico e smart city* [The use of information and communication technology to characterize municipalities: who are they and what do they need to develop e-government and smart city actions]. *Revista de Administração Pública*, 52(4), 630–649. DOI: <http://doi.org/10.1590/0034-7612170582>

Queiroz, G. R., Monteiro, A. M. V., & Câmara, G. (2013). *Banco de dados geográficos e sistemas NOSQL: onde estamos e para onde vamos* [Geographic database and NOSQL systems: where are we and where are we going. Brazilian Magazine of Cartography]. *Revista Brasileira de Cartografia*, 65(3), 479-492. <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44800>

Rambo, J. A., & Rambo, L. I. (2013). *Implantação do cadastro territorial multifinalitário no Brasil* [Implementation of the multipurpose land registry in Brazil]. *Revista Brasileira de Geomática*, 1(1), p.42-51. DOI: 10.3895/rbgeo.v1n1.5438

Rashid, M. (2017). *The geometry of urban layouts. A global comparative study*. Springe. Ebook Kindle.

Reydon, B. P., & Costa, A. S. (2010). *O custo da regularização das propriedades rurais brasileiras – uma estimativa* [The cost of regularizing Brazilian rural properties – an estimate]. *Revista Política Agrícola*, Ano XIX, 4. <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/354/300>

Reydon, B. P., Fernandes, V. B., & Telles, T. S. (2015). Land tenure in Brazil: the question of regulation and governance. *Land Use Policy*, 42, 509-516. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.09.007>

Rios, J. A. (2017). *Marcas, memória y significado – análisis de estructuras semánticas* [Marks, memory and meaning – analysis of semantic structures]. CDMX. Ebook Kindle.

Rodrigues, A. A. A. O., & Pereira, H. B. B. (2019). *Análise de redes sociais na formação em saúde* [Analysis of social networks in health education]. Appris Editora. Ebook Kindle.

Rosalen, D. L. (2014). The impact of the law 10,267/2001 in the Brazilian rural registration. *Eng. Agríc, Jaboticabal*, 34(2) 372-384. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000200018>

Santos, M. (2014). *Espaço e método* [Space and method]. Edusp.

Schweitzer, C. M., Meca, L. B., Bombarda, F., Ortega, A. V., & Júnior, E. G. J. (2014). *Emprego de redes complexas para modelar e analisar a disseminação de microrganismos da família enterobacteriaceae em pacientes mantidos em unidades de terapia intensiva* [Use of complex networks to model and analyze the spread of microorganisms of the Enterobacteriaceae family in patients kept in intensive care units]. *Arch health Invest*, 3(1), 15–26. <https://www.archhealthinvestigation.com.br/ArcHI/article/view/636>

Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF. (2022). [Land Management System]. <https://sigef.incra.gov.br/>

Sistema Nacional de Cadastro de Imóveis - SNCR. (2022). Consulta Pública de Imóveis [Public Consultation of Properties]. <https://sn-cr.serpro.gov.br/sn-cr-web/consultaPublica.jsf?windowId=14b>

Soto, H. (2001). *O mistério do capital: por que o capitalismo dá certo nos países desenvolvidos e fracassa no resto do mundo* [The Mystery of Capital: Why Capitalism Triumphs in the West and Fails Everywhere Else]. Editora Record.

Tadano, Y. S., Ugaya, C. M. L., & Franco, A. T. (2009). *Método de regressão de poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional* [Poisson regression method: methodology for assessing the impact of air pollution on population health]. *Ambiente & Sociedade*, 7(2), 241-255. <https://www.scielo.br/j/asoc/a/znrHQvBfVvBRRWyfMyg4Tmy/?lang=pt>

Torun, A. *Hierarchical blockchain architecture for a relaxed hegemony on cadastre data management and update: a case study for Turkey*. November, 2017. UCTEA International Geographical Information Systems Congress, Adana, Turkey. https://www.researchgate.net/publication/321485252_Hierarchical_Blockchain_Architecture_f

[or a Relaxed Hegemony on Cadastre Data Management and Update A Case Study for Turkey](#)

Venables, W. N., & Ripley B. D. (2002). *Statistics and Computing Modern Applied Statistics with S*. Springer. Edição Digital Kindle.

West, G. (2017). *The universal laws of life and death in organisms, cities, and companies*. Weidenfeld & Nicolson W&N, Edição Digital Kindle.

Wickham, H., & Golemund, G. (2017). *R for data science – import, tidy, transform, visualize and model data*. O'Reilly.

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. A., François, R... Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Wood, S. N. (2017). *Generalized additive models – an introduction with R*. Chapman & Hall Book. Edição Digital Kindle.

Zeileis, A., & Hothorn T. (2002). Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News*, 2(3), 7-10. <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>

Zevenbergen, J. A. (2004). A Systems approach to land registration and cadastre. *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research*, 1. <https://journal.fi/njs/article/view/41503>

CAPÍTULO

IV. CLASSIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES FAMILIARES NO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL) POR CAMADA DE MÓDULO FISCAL

Resumo

Os Módulos Fiscais (MF) são usados, no Brasil, para classificar os imóveis rurais em pequenas, médias e grandes propriedades e servem de referência para diversas políticas públicas. A área de estudo foi o estado do Paraná (Região Sul, do Brasil), que possui 80% dos imóveis pertencentes à agricultura familiar (≤ 4 MF). O objetivo da pesquisa visou estabelecer uma classificação espacial não supervisionada, análise fatorial PCA, considerando seis variáveis principais: número de imóveis, área total, área média, área máxima, área mínima e a diferença entre a área máxima e a área mínima (delta), derivadas da Área Utilizada (Produtiva) dos imóveis (extraída do Sistema Nacional de Cadastro Rural). Dois fatores foram suficientes para representar, respectivamente, 91%, 94%, 95% e 91% da variabilidade dos dados (dentro de cada camada de MF); (a) o fator um (1) está relacionado com as variáveis área média, área máxima, o delta e o módulo da camada; (b) o fator dois (2) está relacionado com as variáveis número de imóveis e área total. A combinação dos fatores (ranking) e a soma de todas as camadas (fatiadas entre 1 e 4 MF) permitiu a produção do mapa final (de síntese). Os resultados indicaram disformidade da distribuição atual dos imóveis, dentro do macrozoneamento conhecido como Zonas Típicas de Módulo (ZTM), e explicita a grande quantidade de minifúndios existentes no Estado, o que, de acordo com a legislação agrária, representa um conjunto de imóveis que não cumpre a função social da propriedade.

Palavras-Chave: análise fatorial, classificação de dados, análise espacial.

Artigo a ser submetido à revista *Confins* — Revista Franco-Brasileira de Geografia.

Résumé

Les modules fiscaux (MF) sont utilisés au Brésil pour classer les propriétés rurales en petites, moyennes et grandes propriétés et ils servent comme une référence pour nombreuses politiques publiques. Le domaine d'étude était l'État du Paraná (Région Sud du Brésil), qui compte 80% des propriétés appartenant à l'agriculture familiale (≤ 4 MF). L'objectif de la recherche était d'établir une classification spatiale non supervisée, l'analyse factorielle PCA, en considérant six variables principales : le nombre de propriétés, la superficie totale, la superficie moyenne, la superficie maximale, la superficie minimale et la différence entre la superficie maximale et la superficie minimale (delta), dérivées de la Superficie Utilisée (Productive) des propriétés (extraite du Système National du Cadastre Rurale). Deux facteurs étaient suffisants pour représenter respectivement 91%, 94%, 95% et 91% de la variabilité des données (au sein de chaque couche de MF) ; (a) le facteur un (1) est lié aux variables de la superficie moyenne, superficie maximale, le delta et le module de la couche ; (b) le facteur deux (2) est lié aux variables de nombre de propriétés et superficie totale. La combinaison des facteurs (classement) et la somme de toutes les couches (tranchées entre 1 et 4 MF) ont permis la production de la carte finale (synthèse). Les résultats ont indiqué que la répartition actuelle des propriétés n'est pas en forme, au sein du macro-zonage connu sous le nom de zones typiques de modules (ZTM), et explique le grand nombre de petites exploitations dans l'État. Ce qui, selon la législation agraire, représente un ensemble de propriétés qui ne remplit pas la fonction sociale de la propriété.

Mots-Clés: analyse factorielle, classement des données, analyse spatiale.

Abstract

The Fiscal Modules (FM) are used in Brazil to classify rural properties into small, medium, and large size properties and serve as reference for various public policies. The area studied was the state of Paraná, in the southern region of Brazil, where 80% of properties are related to family farming (≤ 4 MF). The aim of the research was to establish an unsupervised spatial classification, PCA factor analysis, considering six main variables: number of properties, total area, mean area, maximum area, minimum area and the difference between the maximum area and the minimum area (delta), derived from the Used Area (Productive) of the properties (extracted from Brazil's National Rural Registry System). Two factors sufficed to represent, respectively, 91%, 94%, 95% and 91% of the data variability (within each FM layer); (a) factor one (1) is related to the mean area, maximum area, delta, and layer modulus variables; (b) factor two (2) is related to the number of properties and total area variables. The combination of factors (ranking) and the sum of all layers (divided between 1 and 4 FM) allowed the production of the final synthesis map. The results indicated that the current distribution of properties is distorted, within the macro-zoning known as Typical Module Zones (TMZ), and explains the large number of smallholdings in the state. According to the agrarian legislation, this represents a set of properties that does not fulfill the property's social function.

Keywords: factor analysis, data classification, spatial analysis.

IV.1 Introdução

Vários autores abordam a relevância da agricultura familiar no mundo e no Brasil (Schneider e Cassol, 2014; Graeub *et al.*, 2016; Lowder, Skoet, e Raney, 2016; Silva, Castro e Pereira, 2019). No entanto, pouco se discute a ideia de Módulo Rural (MR), remanescente do Estatuto da Terra (ET), Lei 4.504 (Brasil, 1964), que remete à propriedade familiar e à classificação dos imóveis rurais em: pequenas, médias e grandes propriedades (Landau *et al.*, 2012; Peters, Pires, e Panasolo, 2014; Cassettari, 2015; Oliveira *et al.*, 2020).

Embora os conceitos de agricultura familiar e de pequenas propriedades estejam imbricados, eles diferem. Todos os imóveis com menos de quatro Módulos Fiscais (MF) são classificados como da agricultura familiar, Lei 11.326 (Brasil, 2006; Silva, Castro e Pereira, 2019). No entanto, as pequenas propriedades estão compreendidas entre um e quatro módulos fiscais, Lei 8.629 (Brasil, 1993). Os imóveis rurais abaixo de um MF não são considerados pequenas propriedades, mas minifúndios (small farms), de acordo com o ET (Abramovay, 2012). Os minifúndios, conforme o Art. 186, da Constituição Federal (CF) (Brasil, 1988), não cumprem a função social da propriedade (Peters *et al.*, 2014; Cassettari, 2015), uma vez que são imóveis de baixa produtividade, ou inviáveis economicamente.

Na prática, existem poucos questionamentos acerca da natureza rural desses imóveis e do poder econômico de seus proprietários (Peters *et al.*, 2014; Cassettari, 2015). A inserção desses imóveis ao sistema produtivo é importante para a governança fundiária, uma vez que influencia a posse, o uso e a valorização das propriedades, e contribui para a permanência dos agricultores na terra (Soto, 2001; Deininger, Hilhorst e Songwe, 2014; Newman, Tarp e Broeck, 2015; Santos *et al.*, 2018). Talvez, com os avanços da rastreabilidade de produtos e as exigências de certificação, seja possível encontrar novos indicadores para reavaliar essa questão, e estabelecer um novo paradigma para a política agrária brasileira (Fialho *et al.*, 2009; Pinheiro e Bittencourt, 2012; Loiola e Fonseca, 2015).

A Lei do Georreferenciamento dos imóveis rurais, Lei 10.267 (Brasil, 2001), e o Código Florestal, Lei 12.651 (Brasil, 2012), adotam a noção de MF. No caso da Lei do Georreferenciamento, existe a garantia da isenção de custos financeiros aos proprietários de imóveis rurais, cuja somatória da área não exceda a quatro MF (Agricultura Familiar). No Código Florestal, as restrições ambientais aumentam para os imóveis acima de quatro MF; as médias ou grandes propriedades (ou Empresa Rural) (Peters *et al.*, 2014; Cassettari, 2015; Oliveira *et al.*, 2020). Portanto, a correta classificação dos imóveis rurais, em termos de MF, faz-se necessária.

Savoldi e Cunha (2010) e Schneider e Cassol (2014) tratam da heterogeneidade da agricultura familiar, e alertam acerca da necessidade de diferenciação, como não redutíveis a uma única categoria. Lowder *et al.* (2016) destacam que os termos pequeno proprietário (smallholder) e agricultor familiar (family farmer) são intercambiados, sem a devida distinção. Abramovay

(2012) considera que existe uma confusão entre agricultura familiar e os minifúndios, que alude à perspectiva da pequena produção. Além disso, apresenta a descrição usada nos Estados Unidos, dos seguintes termos, para diferenciar as propriedades: pequeno, tempo-parcial, média, grande e muito grande, parceiros, familiar e corporativa (small, part-time, moderate, large, very large, sharecroppers, family farm e corporate farm).

A classificação dos imóveis rurais no Brasil começa pela segmentação entre agricultura familiar e não familiar (ou empresa rural), fundamentada nos parâmetros desatualizados de MR e MF. Savoldi e Cunha (2010) e Abramovay (2012) consideram que a gestão interna — relativa aos interesses e as estratégias particulares, adaptada às condições ambientais — é um critério significativo para diferenciar as Family Farms das Corporate Farms e redefine influências externas, culturais ou tecnológicas, que criam circunstâncias locais para os agricultores ampliarem suas vendas (Pereira, 2005; Schneider e Cassol, 2014; Christensen *et al.*, 2017; Uwajeh, 2018). Além disso, outros fatores podem ser adaptados, tais como o número de assalariados e a renda líquida de produção (Abramovay, 2012; Silva, Castro e Pereira, 2019). Guedes (2017) destaca a dependência da agricultura tecnológica dos insumos industriais, como: tratores, máquinas, adubos, fertilizantes etc., tornando-a, na outra ponta, um insumo para as indústrias de processamento. Schneider e Cassol (2014) alertam a respeito da importância de repensar processos de desenvolvimento rural.

O objetivo deste trabalho é discutir a questão da classificação dos MF, utilizando geoprocessamento e ciência de dados para fasear a validade do zoneamento atual e, conseqüentemente, apresentar uma nova perspectiva a respeito do assunto. A área de estudo é o estado da Paraná, com a sua respectiva caracterização e processos de ocupação. A pesquisa busca um diálogo entre a antiga questão agrária, presente no ET, e o novo mundo rural, mais conectado, considerando a valorização das unidades autônomas de produção e o desenvolvimento de “infraestruturas verdes”, em torno das cidades, que estão entrelaçadas com vários aspectos da economia criativa e geodiversidade (Schneider, 2003, 2004, 2010; Schneider e Cassol, 2014; Vale, Moreira, e Horodyski, 2019; Kellermann e Alves, 2020).

IV.2 Área de Estudo

A área de estudo é o estado do Paraná, com 399 municípios, com uma área de 199.315 km² e população de 11,08 milhões de habitantes (IBGE/CENSO, 2011; Viana, 2017). O Paraná situa-se ao norte da Região Sul, faz limite com três estados brasileiros (Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso do Sul) e dois países (Paraguai e Argentina).

A Região Metropolitana de Curitiba, criada em 1973, é composta por 29 municípios e possui mais de 3 milhões de habitantes (Viana, 2017). No eixo Londrina-Cascavel existem mais sete regiões metropolitanas criadas entre 1998 e 2015 (**Figura IV.1**), que ocasionam um fluxo

pendular de uma expressiva parte da população paranaense que busca trabalho e estudo (Delgado, Moura e Cintra, 2013).

Esse fluxo está concentrado na metrópole Curitiba, seguido das capitais regionais Londrina, Maringá e Cascavel; além da região da Tríplice Fronteira (Brasil-Argentina-Paraguai), em Foz do Iguaçu (Filho, 2013; Viana, 2017; IBGE/ REGIC, 2018).

O estado possui dois biomas, que envolvem: Mata Atlântica e Cerrado. A Mata Atlântica é um dos biomas mais ameaçados do planeta (Cardoso, 2016) e contém diferentes contextos físicos (relevo, chuva, vegetação etc.), econômicos, sociais e culturais. Os climas Subtropical e Temperado são predominantes no estado, com concentração das chuvas no verão (dezembro-março) e sem estações secas definidas (Fritzsons *et al.*, 2011). Os menores gradientes de temperatura ocorrem na porção Centro-sul e Sudeste, região de Guarapuava, onde estão as altitudes mais elevadas (Fritzsons, Mantovani, e Aguiar, 2008). Fritzsons *et al.* (2011) mediram a menor precipitação, de 1.134 mm, em Cornélio Procópio, na bacia do rio Tibagi, e a maior precipitação, de 2.702 mm, em Guaraqueçaba, no litoral do estado; ambas no bioma Mata Atlântica.

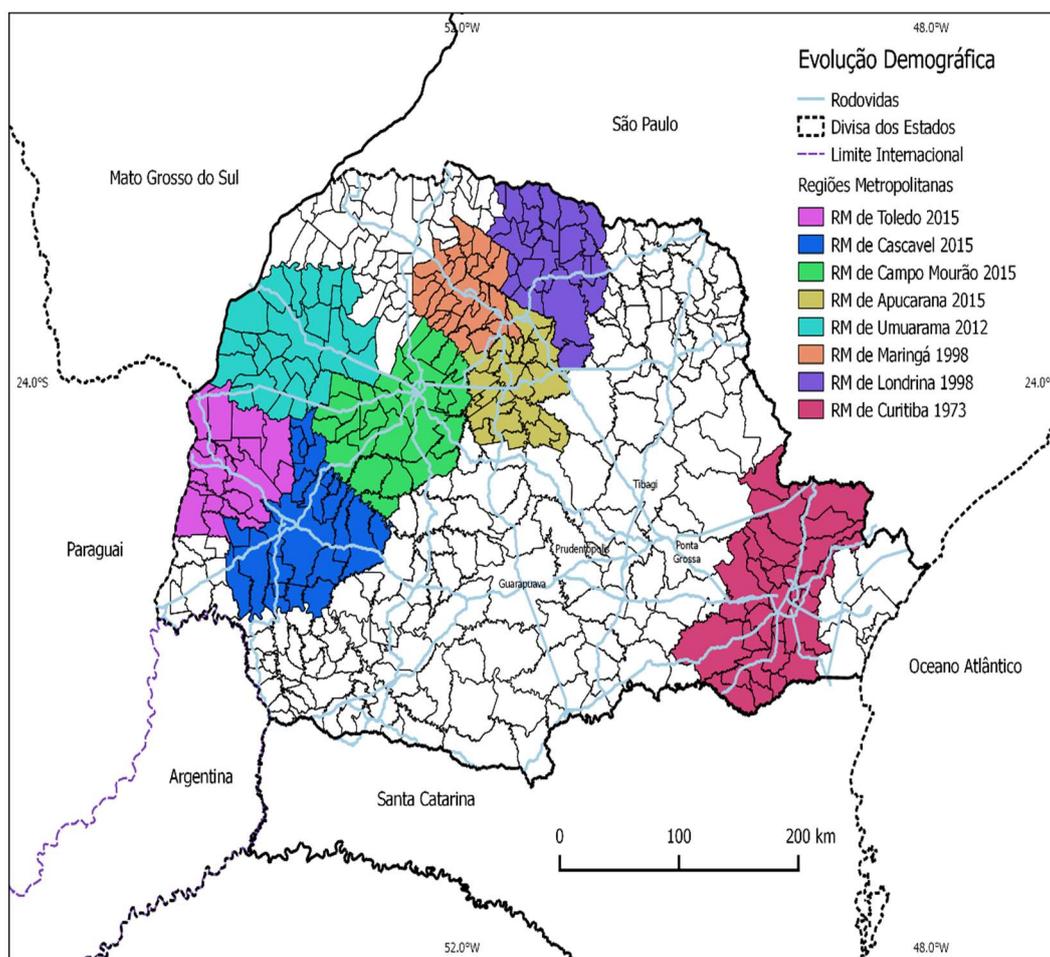


Figura IV.1 Evolução demográfica do estado do Paraná. Limite dos municípios. Fonte: IBGE (2013).

O processo de ocupação esporádica do Paraná aconteceu concomitantemente às primeiras expedições de descoberta do Brasil. Iniciada pelos portugueses a Leste, a partir da costa, na baía de Paranaguá, devido à descoberta de ouro de aluvião nos rios que cortam a Serra do Mar, e pelos espanhóis, ao Sul, através do atual estado de Santa Catarina. Segue o caminho transcontinental indígena, chamado de Peabiru, até os campos do planalto do Paraná, que no sentido Sudoeste, atravessava as florestas de araucária e subtropical até chegar às Sete Quedas no Rio Paraná (Bley, 2007; Piori *et al.*, 2012; Kohlhepp, 2014; Maack, 2017).

O território envolve duas planícies (litorânea e do Rio Paraná), a Serra do Mar, três planaltos e um Patamar, com altitudes que variam entre 0-200 metros ao nível do mar, sobem para 2.000 metros na Serra do Mar e decaem para 1.200 na Serra da Esperança, na região Centro-Sul do estado, onde está a maior região de mata do estado, e chega a 200-300 metros no rio Paraná (Santos *et al.*, 2006; Bley, 2007; Maack, 2017).

Os principais rios são Tibagi, afluente do Paranapanema, na divisa com São Paulo; Ivaí e Piquiri, afluentes do rio Paraná, na divisa com o Mato Grosso do Sul e Paraguai; e o rio Iguaçu, afluente do rio Paraná, na divisa com a Argentina. Todos pertencem à Bacia do Prata (Filho, 2013) (Figura IV.2).

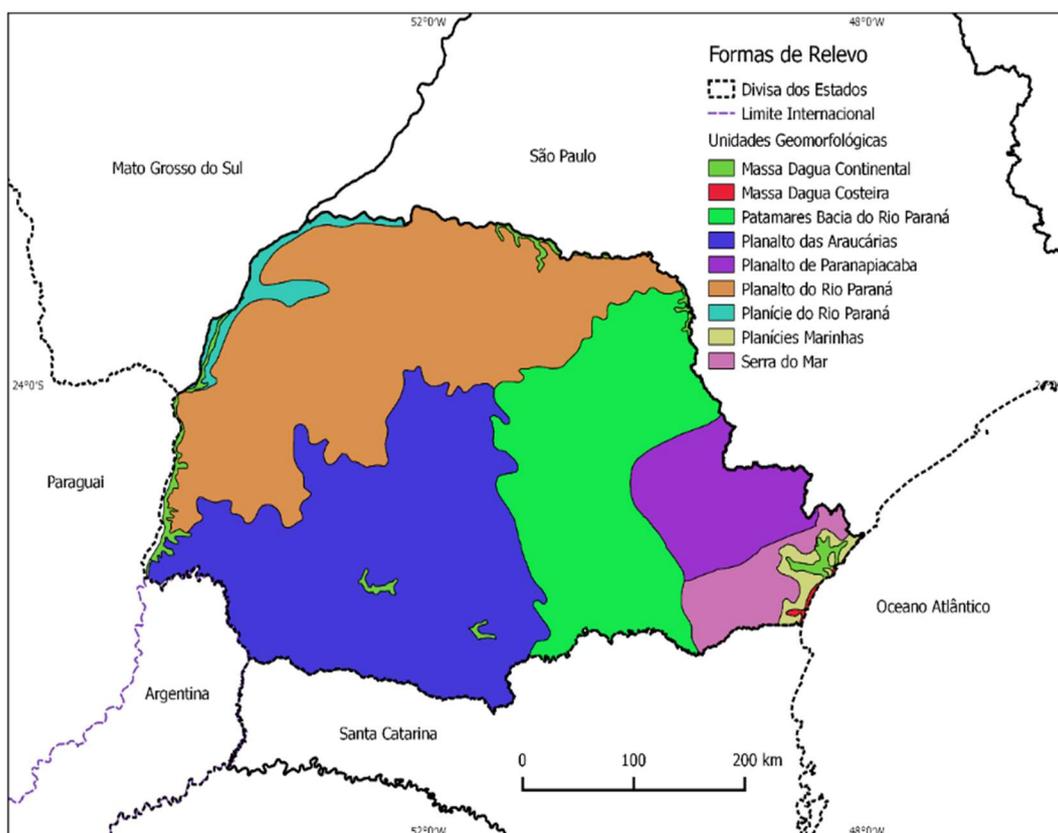


Figura IV.2 Mapa geomorfológico do estado do Paraná. Fonte: IBGE (2022).

No fim do século XVIII, as comunidades que se formaram no litoral paranaense e no

planalto curitibano haviam ocupado todas as terras de campo, no planalto de Curitiba, formando grandes fazendas, baseadas na extração de madeira, na criação de gado e na produção da erva-mate. Além disso, serviam de passagem para tropeiros em trânsito, vindos do Rio Grande do Sul para São Paulo (Serra, 2011).

Essa frente pioneira, proveniente da mineração, da pecuária e do ciclo do mate, ficou conhecida como Paraná Tradicional e foi estabelecida por meio do regime de Sesmarias. Resultou em uma sociedade formada por grandes famílias, que viviam em latifúndios, o que impulsionou o desenvolvimento e a urbanização de Curitiba, a partir de 1693 (Serra, 2011; Peters *et al.*, 2014; Cassettari, 2015).

Na segunda metade do século XIX, com a onda cafeeira e a fundação da colônia militar de Jataí, em 1855, às margens do rio Tibagi, ocorreu uma nova frente migratória, vinda de São Paulo e Minas Gerais (Larocca e Marques, 2010; Serra, 2011; Priori *et al.*, 2012; Kohlhepp, 2014). Essa nova frente de ocupação fez deslocar o eixo de desenvolvimento para a Região Norte do estado, que possibilitou o surgimento do Paraná moderno, Londrina e Maringá.

Por outro lado, antes de 1940, não havia motivação econômica para a ocupação da Região Sudoeste do estado, que passou, desde o período colonial, por vários conflitos de fronteira (Serra, 2011; Priori *et al.*, 2012). Mas, com a promulgação da Constituição de 1937, foi criado, por pouco tempo, 1937-1946, o Território Federal do Iguçu, que transformou as terras devolutas estaduais em terras federais. Isso ampliou os conflitos locais, mas ajudou, definitivamente, a consolidar a ocupação da região (Priori *et al.*, 2012).

Entre 1960 e 1970, na Região Sudoeste do estado, 50 mil posseiros foram transformados em proprietários, o que aumentou, significativamente, o número de propriedades rurais. Entre 1980 e 2010, o estado do Paraná passou de 7.749 para 10.444 milhões de habitantes e de 290 para 399 municípios (CENSO/IBGE, 2011; Viana, 2017). Segundo Delgado *et al.* (2013) e Viana (2017) o fluxo constante para as regiões metropolitanas e a migração campo-cidade aceleraram o processo de aglomeração e urbanização do Paraná.

Finalmente, o SNCR apresentou 593.287 imóveis cadastrados no estado do Paraná (INCRA/SNCR, 2019). Entretanto, a Certificação dos Imóveis Rurais, obtida do Acervo Fundiário do Instituto Nacional de Colonização Reforma Agrária (INCRA), em 01/05/2020, contém apenas 45.956 polígonos cadastrados (INCRA, 2020), o que evidencia um vazio cartográfico cadastral. Esses imóveis representam, aproximadamente, 8% do número de imóveis e 24% da área georreferenciada, de acordo com a Lei 10.267/2001.

IV.3 Materiais e método

A pesquisa utiliza técnicas de análise de dados (Kitchin, 2014a, 2014b, 2014c; Fávero e Belfiore, 2021) e geoprocessamento, com os seguintes programas livres: o Sistema Estatístico R (Wickham e Grolemund, 2017) e o programa QGIS (Graser, 2014). Foram seguidas quatro etapas:

(a) obtenção dos dados; (b) pré-processamento; (c) modelagem; e (d) entrega dos resultados; com a apresentação dos mapas de síntese cartográfica.

IV.3.1 Obtenção e pré-processamento

Os dados utilizados são do SNCR, com data de extração (DUMP) em 09/03/2018, contém diversas variáveis, entre elas: (a) Código do Município; (b) Módulo Fiscal (MF) do Município; e (c) Área Utilizada (Produtiva) do Imóvel. A Área Utilizada do Imóvel dividida pelo MF do Município resulta no número de MF de cada imóvel. Constatou-se a presença de 364.424 imóveis, com valores de área no campo Área Utilizada do Imóvel.

Para organizar a base de dados utilizou-se o pacote dplyr do Sistema Estatístico R (Wickham e Grolemund, 2017), da seguinte forma: (a) selecionou-se cada município do estado do Paraná; (b) filtraram-se os imóveis abaixo de quatro módulos fiscais; e (c) particionaram-se os referidos imóveis em quatro camadas de MF (variando de 1 a 4 MF). Na sequência, foram extraídas as seguintes variáveis: (a) área total; (b) número de imóveis; (c) área média; (d) área máxima (e) área mínima e; (f) diferença entre a área máxima e área mínima (delta). O resultado formou uma base de dados (data frame) com 399 observações e 24 variáveis, além das Zonas Típicas de Módulo (ZTM) e as classes de módulo (por camada de MF).

Também foram utilizados os dados do Censo Agropecuário 2006 e 2017, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e recebidos por e-mail, em 12/08/2020. Tais dados continham as seguintes variáveis: (a) código dos municípios; (b) número de estabelecimentos agropecuários; (c) área total (em ha); (d) área média; (e) área mediana; (f) moda e; (g) código (em que o IBGE separa total de estabelecimentos, agricultura não familiar e agricultura familiar). As áreas máximas e mínimas não foram fornecidas, por motivos sigilo do censo.

Da mesma forma, foi usado o R para filtrar os dados agregados da agricultura familiar (abaixo de 4 MF) do estado do Paraná, separados para cada período do censo (2006 e 2017), o que resultou em uma base com 399 observações e 12 variáveis.

IV.3.2 Análise por componentes principais (Principal Component Analysis — PCA)

O estudo utilizou a Análise por Componentes Principais (PCA) do pacote psych do Sistema Estatístico R (Revelle, 2020; Fávero e Belfiore, 2021). A PCA é uma técnica exploratória não supervisionada, que apresenta as seguintes etapas: (a) cria-se uma matriz de correlação do conjunto de dados multivariado; (b) realiza-se um teste estatístico para validar a relevância das correlações; (c) realiza-se o cálculo dos autovalores e autovetores da matriz de correlação; (d) extrai-se os pesos de cada variável; (e) utiliza-se um dos componentes, fator, que é a combinação dos pesos das variáveis com as variáveis originais padronizadas, para produzir uma síntese do conjunto de dados e; (f) finalmente, utiliza-se a combinação dos fatores, com o

percentual de variabilidade de cada fator, para criar uma classificação (ranking) ponderada das variáveis. A análise fatorial foi realizada para cada camada de módulo, após o cálculo das variáveis extraídas da Área Utilizada dos imóveis. A mesma análise foi utilizada para os dados do IBGE.

IV.4 Resultados e discussão

No contexto agrário brasileiro, vigora a tendência estabelecida no ET, Lei 4.504 (Brasil, 1964), de tentar resolver a questão da distribuição desigual da terra por meio de políticas de reforma agrária (Peters *et al.*, 2014; Cassettari, 2015; Pochmann, 2015; Guedes, 2017), com a eliminação de latifúndios e minifúndios, teoricamente, improdutivos. Portanto, os conceitos de latifúndio e minifúndio são substratos que permeiam a legislação agrária brasileira e que podem desencadear, territorialmente, processos de reordenamento fundiário, que envolvem estratégias de aperfeiçoamento do uso da terra (Soto, 2001; Deininger *et al.*, 2014; Newman *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2018).

Mas, no caso do estado do Paraná, a fronteira urbana entrelaçou com o a fronteira agrícola, o que indica que iniciativas de cadastrar, classificar e diferenciar os imóveis rurais podem ser mais eficientes que políticas punitivas de desapropriação, já que remodelam a relação campo-cidade (Schneider, 2003, 2004, 2010; Schneider e Cassol, 2014).

Como exemplo, o estado Paraná tem a maior plantação de pinus do país e mantém um nível tecnológico entre os mais modernos do mundo (Fialho *et al.*, 2009). Porém, os pequenos proprietários encontram dificuldades de inclusão na cadeia produtiva da madeira, que remete para o problema da classificação e a discussão acerca da diversidade das atividades rurais familiares (Fialho, *et al.*, 009; Schneider e Cassol, 2014).

Portanto, partindo do pressuposto, de que tanto os MR quanto os MF são uma abstração e estão desatualizados, e que dependem, para a sua atualização, de várias etapas sistêmicas, como: (a) definição de um novo zoneamento; (b) formulação de novos índices de produtividade (por produto e por região); (c) elaboração de uma nova tabela de módulos rurais e; (d) elaboração de uma nova tabela de módulos fiscais, este estudo procurou trabalhar diretamente com os dados disponíveis da Área Utilizada dos imóveis, que é usada no cálculo do número de módulos fiscais de cada imóvel, para falsear a validade do zoneamento atual, independente de outros fatores.

Dessa forma, foi possível analisar as diferenças existentes entre os imóveis rurais, para cada município, indicar que a diferenciação por camadas de módulos (de 1 a 4 MF) (**Figura IV.4**) oferece uma melhor perspectiva de visualização da situação territorial do estado e revelar o verdadeiro padrão espacial, que permanece oculto, quando é utilizado apenas o recorte tradicional (agrupando todos os imóveis em uma única camada) abaixo de 4 MF, como é o caso da classificação utilizada pelo Censo Agropecuário do IBGE. Dessa forma, embora os dados do IBGE forneçam a evolução temporal dos estabelecimentos familiares, o recorte abaixo de 4 MF

não consegue retratar a realidade da agricultura familiar no estado do Paraná (**Figura IV.3**).

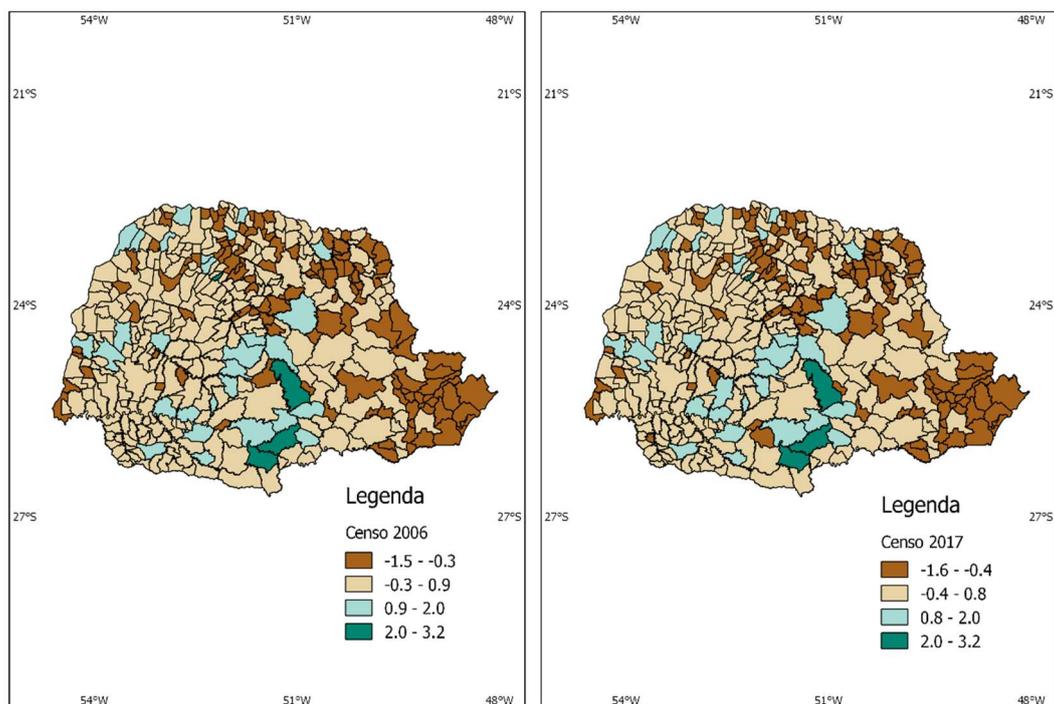


Figura IV.3 Evolução Temporal do Censo Agropecuário (Abaixo de 4 M). Limite dos municípios. Fonte: IBGE (2013).

Para a classificação dos dados do Censo Agropecuário, dois fatores contribuíram para capturar 89% da variabilidade dos dados do censo de 2006. O primeiro fator, o componente principal, está relacionado às variáveis: área média, área mediana e moda, o que representa 50% da variabilidade dos dados. O segundo componente está relacionado às variáveis: número de estabelecimentos e área total, que representam 39% da variabilidade.

Da mesma forma, outros dois fatores indicaram 88% da variabilidade dos dados do Censo Agropecuário de 2017. O primeiro fator, o componente principal, também está relacionada às variáveis: área média, área mediana e moda, o que representa 49% da variabilidade dos dados. O segundo componente está relacionado às variáveis: número de estabelecimentos e área total, que representa 39% da variabilidade total. (**Figura IV.3**).

Portanto, embora exista aridez na análise dos dados do Incra, uma vez que estes procedem de uma única variável — a Área Utilizada (Produtiva) dos imóveis —, que é determinante para avaliação ou reclassificação dos módulos fiscais municipais. A combinação de estatística, análise multivariada e geoprocessamento consegue impor maior vigor aos resultados, porque essa combinação capta as mudanças do padrão espacial ocorrido no estado do Paraná, camada por camada de MF, e serve como indício para uma discussão aprofundada a respeito da necessidade de revisão dos módulos fiscais.

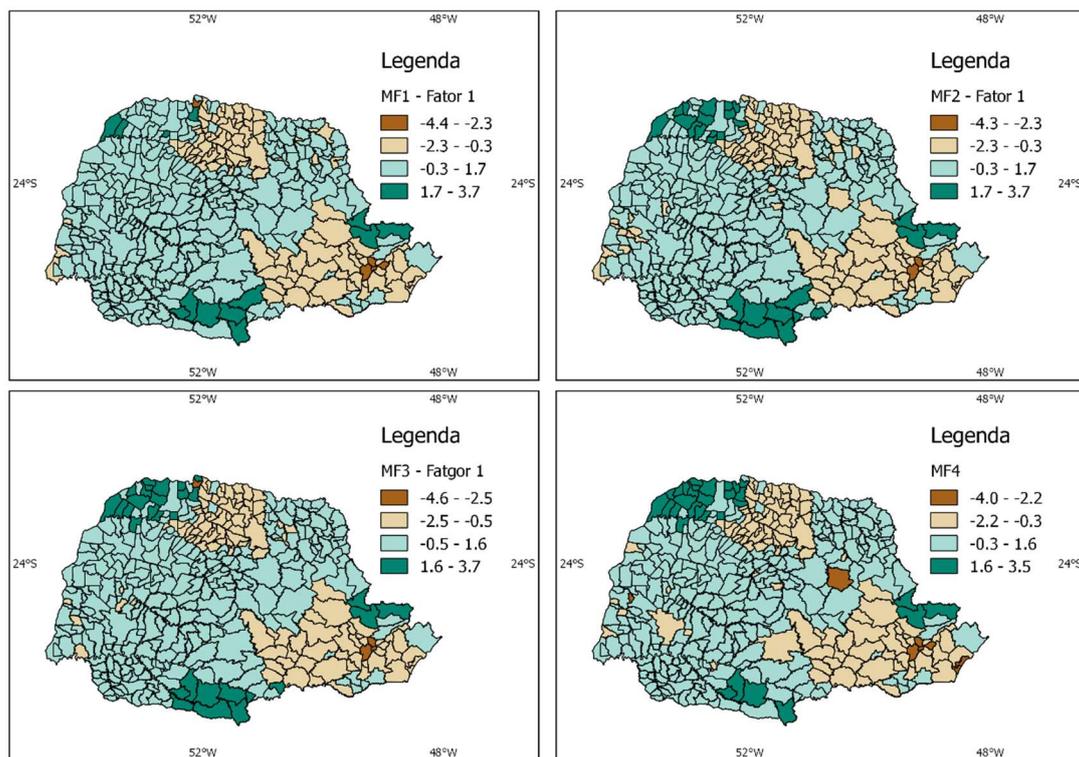


Figura IV.4 Fator 1. Distribuição Espacial das Camadas de Módulo (1 a 4 MF). Limite dos municípios. Fonte: IBGE (2013).

A área mínima foi extraída da análise fatorial, devido ao fato de não apresentar correlação (adequada) com as demais variáveis, o que prejudica a análise. Entretanto, continua presente (indiretamente) no estudo, por meio da diferença entre a área máxima e área mínima (delta), que se mostrou mais adequada.

Dessa forma, dois fatores, o primeiro relacionado à área média, à área máxima, ao delta e ao módulo da camada; e o segundo, que corresponde ao número de imóveis e a soma total da área (por camada de módulo), conseguiram representar, respectivamente 91%, 94%, 95% e 91% da variabilidade total dos dados: (a) MF1: 59 + 32; MF2: 62 + 32; MF3: 61 + 34 e; MF4: 57 + 34.

Assim, é possível observar que as menores áreas, dentro da classe dos minifúndios (MF1), ocorrem, principalmente, nas regiões de: Curitiba, Londrina e Maringá (**Figura IV.4 – Fator 1**), com destaque para o caso de Curitiba, com a difusão de uma grande área que parte do litoral do estado em direção à Prudentópolis. As demais figuras, MF2, MF3 e MF4, praticamente, conservam o mesmo padrão encontrado na primeira camada MF1, que indicam que os imóveis crescem, quanto ao tamanho/área (por camada), proporcionalmente às características (estrutura) de cada região.

Na sequência, **figura IV.5**, é possível observar, por meio do segundo componente (Fator 2), que representa o número e a área total dos imóveis, como os imóveis estão distribuídos no

estado do Paraná; e onde estão localizados o maior número de imóveis e a maior quantidade de área (propriedades). Em todas as figuras, o grande destaque, em número de imóveis e área, é o município de Prudentópolis, em verde, na primeira camada MF1 (Fator 2).

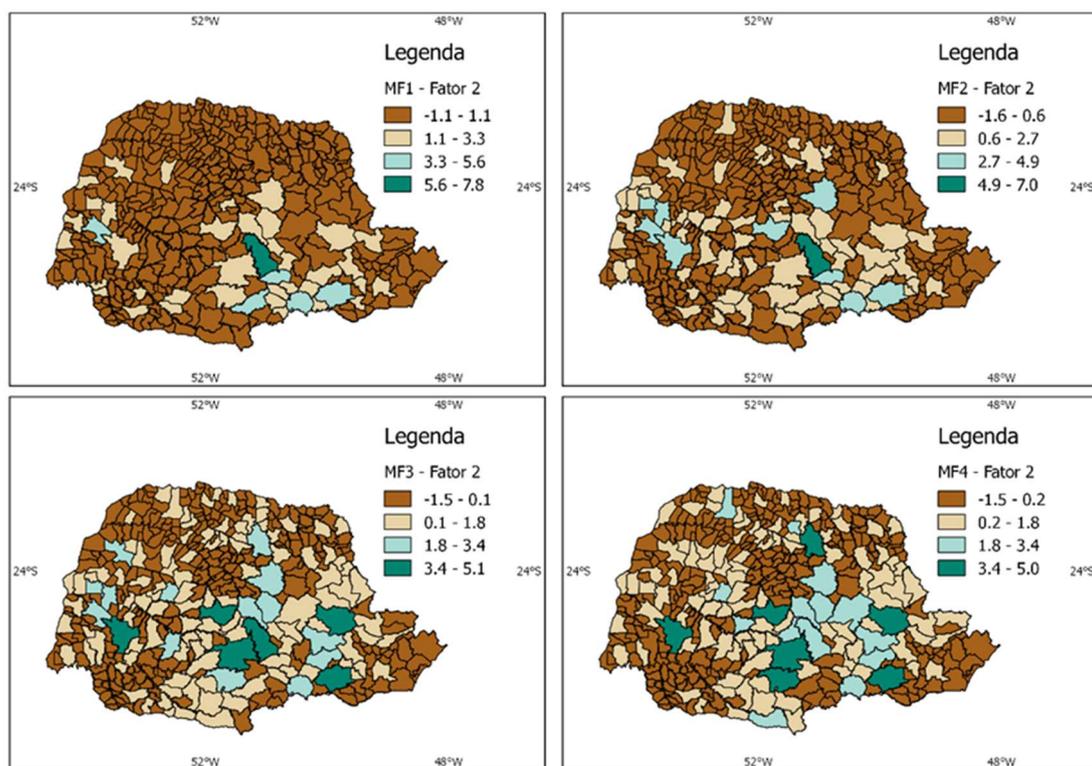


Figura IV.5 Fator 2. Distribuição Espacial das Camadas de Módulo (1 a 4 MF). Limite dos municípios. Fonte: IBGE (2013).

Na **figura IV.6**, que mostra a correlação entre o número de imóveis e a área total dos imóveis, é possível constatar que a área total cresce, proporcionalmente ao número de imóveis em todas as camadas, e que o número de imóveis diminui, gradativa e significativamente, nas camadas superiores. O critério KMO, ou teste de Kaiser-Meyer-Olkin (Revelle, 2020; Fávero e Belfiore, 2021), com valores acima de 0,5 (entre 0,5 e 1), foi utilizado para confirmar a adequação dos modelos de análise fatorial adotados, o que possibilita a análise por componentes principais, ou PCA.

Dessa forma, o estudo demonstra, caso seja adequado retirar os pequenos imóveis da condição de minifúndio e as grandes propriedades da condição de agricultura familiar, com a redução do tamanho dos módulos, a importância de considerar os impactos sociais e econômicos da aplicação da Lei 10.267/2001 (em especial, no estado do Paraná).

Além disso, considerando a comparação com grandes imóveis de outras regiões do país, embora seja possível aludir que estado do Paraná está repleto de pequenas propriedades, no sentido de imóvel rural, também é possível deduzir que, pela dinâmica territorial do estado, os imóveis acima de 50 ha são, de fato, empresas rurais (FETAEP, 2012). Isso indica, também, que,

provavelmente, deve haver um número considerável de small farm, ou minifúndios, que precisam ser estudados, separadamente.

Assim, no contexto da agricultura familiar (4MF), nunca antes foi apresentado, de forma elucidativa, como os imóveis estão distribuídos, tanto entre as camadas, quanto transversalmente, no estado, como o demonstrado no presente trabalho.

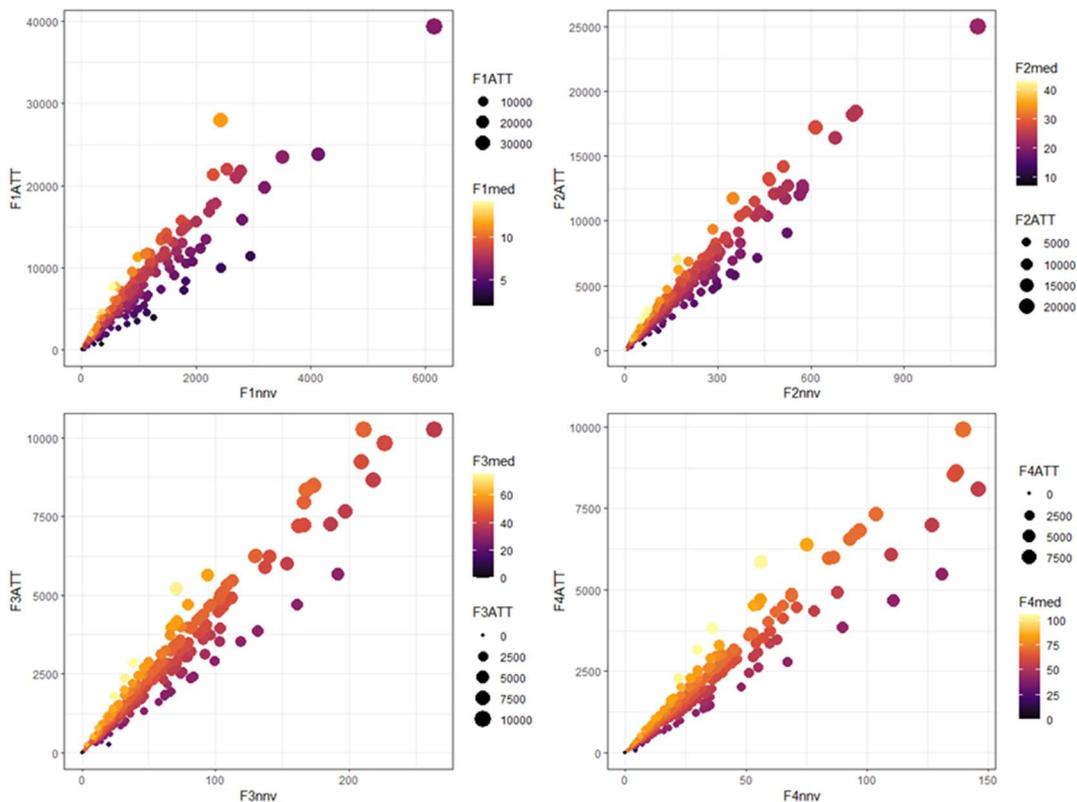


Figura IV.6 Relação do número de imóveis e a área total, por camada de MF. Fonte: os autores (2021).

A configuração atual do estado do Paraná inclui três Zonas Típicas de Módulo (ZTM), baseadas no potencial demográfico A1, A2 e A3 (**Figura IV.7**), com dez classes de MF, por município, que variam entre 5 e 30 hectares.

Mas a soma dos rankings, das componentes principais, que conduzem a classificação final e ao mapa de síntese cartográfica, apresenta um padrão diferente (**Figura IV.8**): mostra que existe um condicionamento derivado da influência da primeira camada de módulo, onde se encontram a maioria dos imóveis, o que indica que o zoneamento adotado não está de acordo com o processo de ocupação do estado.

Além disso, os resultados evidenciam a importância das informações agrárias para o desenvolvimento territorial do país, em que a análise (e qualidade) dos dados é fundamental para a tomada de decisão, e contribui para a governança fundiária, principalmente para as regiões desenvolvidas economicamente, onde a dinâmica territorial é mais intensa. Isso contribui para minimizar os problemas sociais provenientes das disputas territoriais, que ocorrem na fronteira agrícola; que, no caso do Paraná, entrelaça-se, cada vez, mais com a fronteira urbana.

Portanto, o presente trabalho serve como paradigma para observar a distribuição territorial das pequenas propriedades em outros estados do país, além de ajudar a entender um pouco melhor o que é, de fato, a agricultura familiar.

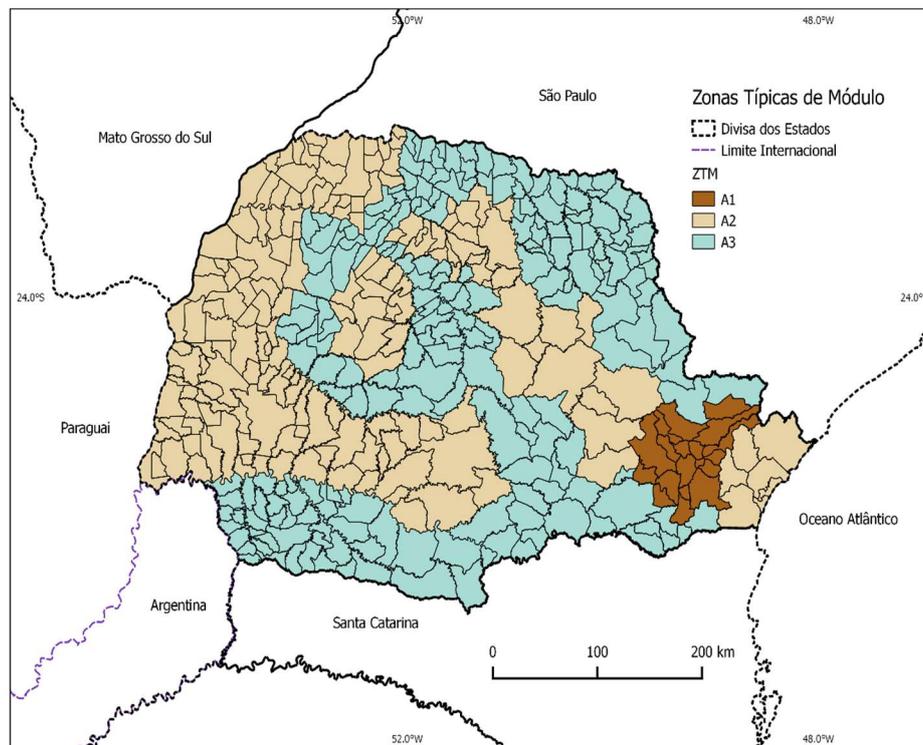


Figura IV.7 Zonas Típicas de Módulo (ZTM). Tabela Incra (2015). Limite dos municípios. Fonte: IBGE (2013).

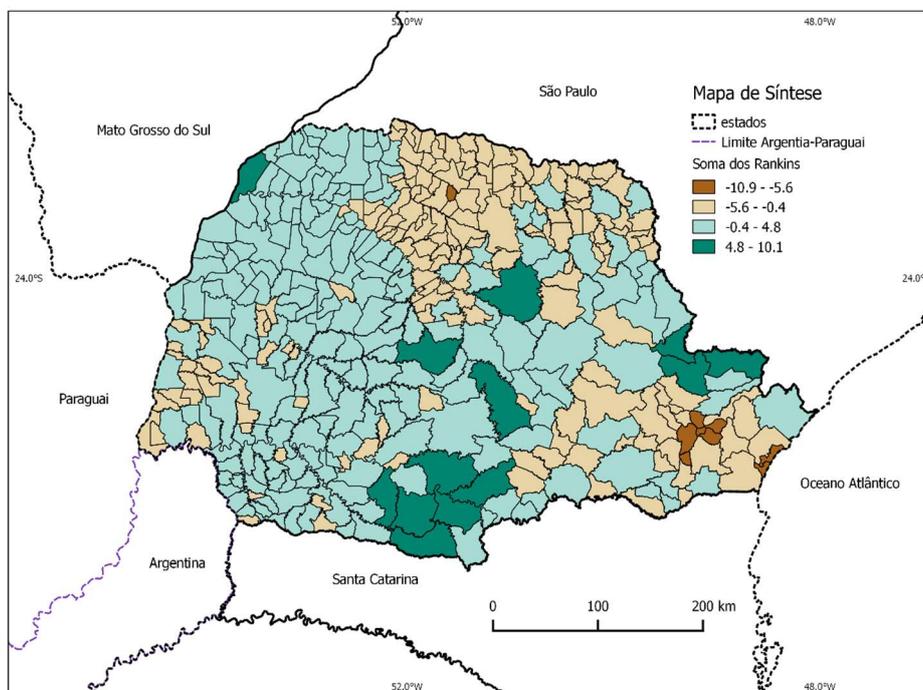


Figura IV.8 Mapa de síntese com a soma dos rankings das camadas. Limite dos municípios. Fonte: IBGE (2013).

IV.5 Conclusão

A distribuição dos imóveis rurais por faixas/camadas de módulo objetivou mostrar o problema de uma forma diferente, representando o panorama atual da classificação dos imóveis rurais no estado do Paraná. O estudo discute os impactos das diversas políticas públicas que estão ancoradas sobre os valores de módulo (MR e MF), que incluindo o Censo Agropecuário, que parte dos MF calculados pelo Incra para definir os estabelecimentos familiares.

A informação espaçotemporal de qualidade é vital para gestão territorial; e as questões apresentadas pela presente pesquisa podem contribuir para reavaliar a situação agrária no país, e produzir subsídios que incentivem a elaboração de um recadastramento geral dos imóveis rurais, principalmente das pequenas propriedades.

Finalmente, embora exista a dificuldade da convivência/existência de várias bases cadastrais no Brasil, é interessante ressaltar que nenhum cadastro, além do SNCR, consegue medir regularmente, mesmo que de forma indireta (declaratória), a Área Utilizada dos imóveis que é necessária para a classificação das pequenas, médias e grandes propriedades.

Neste estudo, foi adotado o recorte (filtro) da Área Utilizada (Produtiva) do imóvel, baseado no MF de cada município. Uma possível sequência seria definir um valor único (de corte) para cada município, em torno de 50, 80 ou 100 ha, e testar o impacto dessas outras formas de segmentação na distribuição dos imóveis, camada por camada.

O resultado da modelagem, utilizando geoprocessamento e ciência de dados, gerou um bom entendimento acerca da importância da primeira camada de MF (para o estado do Paraná), e para sugerir a adoção de políticas exclusivas para essa classe de imóveis. Além disso, reforça que, realmente, existem indícios de erro no modelo de zoneamento adotado, que pode desencadear, como consequência, evidências da classificação incorreta dos imóveis rurais do estado do Paraná.

Referências

Abramovay R., *Paradigmas do Capitalismo Agrário em Questão*. São Paulo, Edusp, 296 p., 2012.

Brasil (1964), *Lei Federal nº 4.504*, Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 30 de novembro de 1964, p.49. [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4504.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%204.504%2C%20DE%2030%20DE%20NOVEMBRO%20DE%201964.etext=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20Estatuto%20da%20Terra%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.etext=Art.,e%20promo%C3%A7%C3%A3o%20da%20Pol%C3%ADtica%20Agr%C3%ADcola](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4504.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%204.504%2C%20DE%2030%20DE%20NOVEMBRO%20DE%201964.etext=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20Estatuto%20da%20Terra%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.etext=Art.,e%20promo%C3%A7%C3%A3o%20da%20Pol%C3%ADtica%20Agr%C3%ADcola.). Acessado 23 jan, 2018.

Brasil (1988), *Constituição da República Federativa do Brasil*, Diário Oficial da União, 05 de outubro de 1988, p. 01. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acessado 10 jun, 2020.

Brasil (1993), *Lei Federal nº 8.629*, Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Diário Oficial da União, 26 de fevereiro de 1993, p. 2349.

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18629.htm#:~:text=L8629etext=LEI%20N%C2%BA%208.629%2C%20DE%2025%20DE%20FEVEREIRO%20DE%201993.etext=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20regulamenta%C3%A7%C3%A3o%20dos,T%C3%ADtulo%20VII%2C%20da%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%20Federal. Acessado 11 nov, 2019.

Brasil (2001), *Lei Federal nº 10.267*, Altera dispositivos das Leis nºs 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 28 de agosto de 2001, p. 01. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110267.htm#:~:text=%C2%A7%20o%20Fica%20criado,informa%C3%A7%C3%B5es%20sobre%20o%20meio%20rural. Acessado 09 out, 2021.

Brasil (2006), *Lei Federal nº 11.326*, Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União, 24 de julho de 2006, p. 01. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm. Acessado 30 jan, 2019.

Brasil (2012), *Lei Federal nº 12.651*, Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, 28 de maio de 2012, p. 01. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acessado 15 mar, 2019.

Bley B., *Aprendendo a Geografia do Paraná Geografia Regional*, Curitiba, Editora Positivo, segunda edição. 224p., 2007.

Cardoso, J. T., «A mata atlântica e sua conservação», Encontro Teológicos, 31 (3): 441-458 | 2016, DOI: <https://doi.org/10.46525/ret.v31i3.509>

Cassettari C., *Direto Agrário*, São Paulo, Editora Atlas S.A, segunda edição. 398p., 2015.

CENSO/IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, «Censo demográfico 2010. Características da população e dos domicílios, resultados do universo, 2011, URL: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_do_micilios.pdf.

Christensen C., *Muito Além da Sorte: Processos Inovadores para Entender o que os Clientes Querem*, Porto Alegre, Bookman, 264p., 2018.

Deininger, K., Hilhorst, T., Songwe, V., «Identifying and addressing land governance constraints to support intensification and land market operation: Evidence from 10 African countries», Food Policy, 48: 76-87 | 2014, DOI: 10.1016/j.foodpol.2014.03.003.

Delgado, P. R., Moura, R., Cintra, A. P. U., «Caracterização dos movimentos pendulares nas regiões metropolitanas do Paraná», Cad. IPARDES Estudos e Pesquisas, 3(1): 1-24 | 2013, URL: https://urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/Caracterizacao_dos_Movimentos_Pendulares_nas_Regioes_Metropolitanas_do_Parana.pdf. Acessado 18 ago, 2020.

Fávero L. P., Belfiore P., *Manual de Análise de Dados Estatística e Modelagem Multivariada com Excel, SPSS e Stata*, Rio de Janeiro, LTC, 2021.

FETAEP – Federação dos Trabalhadores Agricultores Rurais, «PRONAF – Paraná» | 2012. URL: <https://www.fetaep.org.br/video/pronaf-parana>.

Fialho, T. J., Higa, A. R., Santos, A. J., Malinovski, J. R., «Dificuldades para a inclusão das pequenas propriedades rurais na cadeia produtiva da madeira do estado do Paraná», Floresta, 39 (1): 89-106 | 2009, URL: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13730/9251>. Acessado 28 out, 2019.

Filho, C. P. C., *Processo de transformação na bacia do Prata: tríplex fronteira Brasil-Argentina-Paraguai*, Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2013, <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/88615/000912864.pdf?sequence=1>. Acessado 29 mar, 2021.

Fritzsos., E., Mantovani, L. E., Aguiar, A. V., «Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná», *REA – Revista de Estudos Ambientais*, 10 (1): 49-64 | 2008. URL: https://www.researchgate.net/publication/277053663_Relacao_entre_altitude_e_temperatura_Uma_contribuicao_ao_zoneamento_climatico_no_Estado_do_Parana. Acessado 30 abr, 2021.

Fritzsos, E., Mantovani, L. E., Wrege, M. S., Chaves Neto, A., «Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no estado do Paraná. RA`EGA - O Espaço Geográfico em Análise 23: 555-572 | 2011, URL: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24921#:~:text=Concluiu%2Dse%20que%20as%20precipita%C3%A7%C3%B5es,para%20o%20agrupamento%20de%20zonas.etext=Nas%20%C3%A1reas%20de%20maior%20pluviometria,peso%20na%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20total%20anual>. Acessado 01 dez, 2020.

Graeb, B. E., Chappell, M. J., Wittman, H., Ledermann, S., Kerr, R. B., Gemmill-Herren, B., «The state of family farms in the world. world development», Elsevier, 87: 1-15 | 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.012>. Acessado 16 fev, 2021.

Graser A., *Learning QGIS - Use QGIS to create great maps and perform all the geoprocessing tasks you need*, Packt Publishing, Ebook Kindle, 110p, 2014.

Guedes, S., N., R., “25 anos de reforma agrária e a permanência da concentração fundiária no Brasil: hipóteses de explicação” In Mattei, L. *Reforma Agrária no Brasil – Trajetórias e Dilemas*. Florianópolis: Editora Insular, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Divisão regional do Brasil*, 2022, URL: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?et=downloads>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *REGIC - Regiões de Influência das Cidades*, 2018, URL: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101728_folder.pdf. Acessado 02 jan, 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Malha Municipal*, 2013. URL: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?et=o-que-e>.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, *Acervo Fundiário*, 2020. URL: <https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acessado 01 mai, 2020.

INCRA – Instituto Brasileiro de Colonização e Reforma Agrária, *SNCR - Sistema Nacional de Cadastro Rural (Consulta Pública)*, 2019, URL: <https://snrc.serpro.gov.br/snrc-web/consultaPublica.jsf;jsessionid=7n0i1krY6an-5hDhVr3kpAgx.snrc-web2?windowId=905>. Acessado 01 set, 2019.

Kellermann, M. S., Alvares, S. M. R., “Horta Castelinho: uma experiência de horta comunitária”, In: *Cadernos de Agropecuária - Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia*, Sergipe, 15 (2), 2020, URL: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/3067>. Acessado 25 jan, 2021.

Kitchin, R., «Big Data, new epistemologies and paradigm shifts», *Big Data e Society*, p.1–12 | 2014a, DOI: 10.1177/2053951714528481.

Kitchin, R., «Big data and human geography, opportunities, challenges and risks», *Dialogues in Human Geography*, 3 (3): 262-267 | 2014b.

Kitchin R., *The data revolution, big data, open data, data infrastructures and their consequences*, London, SAGE Publications Ltd, Ebook Kindle, 2014c.

Kohlhepp G., *Colonização agrária no norte do Paraná*, Maringá, UEM, Ed. Kindle, 2014.

Larocca, L. M., Marques, V. R. B., «A construção do novo Paraná: uma análise do discurso higienista (1853-1930)», *Revista Cogitare Enfermagem*, 15(1):153-7 | 2010, DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ce.v15i1.17187>

Lowder, S. K., Skoet, J., Raney, T., «The number, size, and distribution of farms, smallholder farms, and family farms worldwide», *World Development*, 87:16-29 | 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>

Landau E. C., Cruz R. K., Hirsch A., Pimenta F. M., Guimarães D. M., *Variação geográfica do tamanho dos módulos fiscais no Brasil. EMBRAPA milho e sorgo*, documentos 146, 2012, URL: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/949260/variacao-geografica-do-tamanho-dos-modulos-fiscais-no-brasil>. Acessado 05 jan, 2022.

Loiola, G. S., Fonseca, M. V. R., «Distribuição de produção da agricultura familiar», RECoDAF - Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, 1(1): 33-41 | 2015, URL: <https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/2>. Acessado 19 ago, 2021.

Maack R., *Geografia física do estado do Paraná*, Ponta Grossa, Editora UEPG, quarta edição, 526p, 2017.

Newman, C., Tarp, F., Broeck, K., «Property rights and productivity: the case of joint land titling in Vietnam», *Land Economics*, 91(1): 91-105 | 2015, DOI: 10.3368/le.91.1.91

Oliveira A. L., Coelho Júnior M. G., Barros D. A., Resende A. S., Sansevero J. B. B., Borges L. A. C., Basso V. M., Farias S. M., *Revisiting the concept of 'fiscal modules': implications for restoration and conservation programs in Brazil*, *Land Use Policy*, 99, 2020, DOI:10.1016/j.landusepol.2020.104978.

Pereira A., *O Agroturismo como Fonte de Renda na Agricultura Familiar Estudo de Caso: Município de Mato Rico – PR*, Campo Mourão (PR), Ebook Kindle, 46p, 2005.

Peters E. L., Pires P. T. L., Panasolo A., *Direito Agrário Brasileiro – De acordo com o Novo Código Florestal*, Curitiba, Juruá Editora, 302p, 2014.

Pinheiro, K. H., Bittencourt, J. V. M., «Avaliação de um modelo de rastreabilidade para produtos orgânicos a partir de certificadoras paranaenses», *Rev. Bras. de Agroecologia*, 7(1): 51-62 | 2012, URL: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/10015>. Acessado 04 abr, 2019.

Pochmann M., *Desigualdade Econômica no Brasil*. São Paulo, Editora Ideias e Letras, 168p, 2015.

Priori A., *História do Paraná (Séculos XIX e XX)*, Maringá, Editora da Universidade Estadual de Maringá, Scielo Books, 234p., 2012, URL: <http://books.scielo.org/id/k4vrh>. Acessado 04 abr, 2019.

Revelle W. R., *PSYCH: Procedures for Personality and Psychological Research*, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, Software, 2020, URL: <https://CRAN.R-project.org/package=psych> Version = 2.1.3. Acessado 08 outubro, 2019.

Santos, L. A., Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Gomes, R. A. T., «Áreas prioritárias para regularização fundiária no estado da Bahia (Brasil)», *Finisterra*, 53 (107): 27-50 | 2018, DOI: 10.18055/Finis10618

Santos, L. J. C., Oka-Fiori, C., Canali, N. E., Fiori, A. P., Silveira, C. T., Silva, J. M. F., Ross, J. L. S., «Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná», *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(2) | 2006, URL:

https://www.researchgate.net/publication/279674051_Mapeamento_Geomorfológico_do_Estado_do_Parana. Acessado 07 out, 2018.

Savoldi, A., Cunha, L. A., «Uma abordagem sobre a agricultura familiar, PRONAF e a modernização da agricultura no sudoeste do Paraná na década de 1970», Curitiba, Revista Geografar, 5(1): 25-45 | 2010, DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v5i1.17780>

Schneider, S., «Teoria social, agricultura familiar e pluriatividade», Revista Brasileira de Ciências Sociais, 18(51), 2003, URL: <https://www.scielo.br/pdf/rbcsoc/v18n51/15988.pdf>. Acessado 04 ago, 2018.

Schneider, S., Blume, R., «ensaio para uma abordagem territorial da ruralidade: em busca de uma metodologia», Revista Paranaense de Desenvolvimento, 107: 109-135, 2004. URL: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/183253>. Acessado 01 jul, 2019.

Schneider, S., «Reflexões sobre diversidade e diversificação – agricultura, formas familiares de desenvolvimento rural. RURIS – Revista do Centro de Estudos Rurais», 4(1) | 2010, URL: <https://www.ppgaa.propesp.ufpa.br/pdfs/prosel2020/MAFDS/M4.pdf>. Acessado 11 mar, 2018.

Schneider, S., Cassol, A., «Diversidade e heterogeneidade da agricultura familiar no Brasil e algumas implicações para políticas públicas», Cadernos de Ciência e Tecnologia, 31(2): 227-263 | 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2014.v31.20857>

Serra, E., «Os primeiros processos de ocupação da terra e a organização pioneira do espaço agrário no Paraná», Boletim de Geografia, 10(1): 61-94, 2011, URL: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/12893>. Acessado 20 ago, 2021.

Silva, R. P., Castro, N. R., Pereira, F. O., «Geração de valor econômico na agricultura familiar: diferentes retratos do produtor rural brasileiro», Revista de Economia e Agronegócio – REA, 17(1): 57 | 2019, DOI: <https://doi.org/10.25070/rea.v17i1.7889>

Soto H., *O Mistério do Capital*, Rio de Janeiro, Editora Record, 308p, 2001.

Uwajeh N. A., *Guia Rápido e Fácil para Iniciantes Ganharem Dinheiro na Agricultura*, Babelcube, Ebook Kindle, 34p, 2018.

Vale, T. F., Moreira, J.C., Horodyski, G. S., “GEOFOOD: A Produção de Alimentos Regionais Fomentando a Economia Criativa” In *Alimentação e Cultura: Alimentação e Sustentabilidade*, João Pessoa, Editora do CCTA, p 267 – 292, 2019, https://www.academia.edu/44151455/GEOFOOD_A_produ%C3%A7%C3%A3o_de_alimentos_regionais_fomentando_a_economia_criativa.

Viana, G. S., *Pequenas Cidades no Contexto Metropolitano: O Caso da Região Metropolitana de Maringá, Paraná*, Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília (UnB), Brasil, 2017, URL: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31401>. Acessado 20 ago, 2021.

Wickham H., Grolemund G. *R for Data Science – Import, Tidy, Transform, Visualize and Model Data*, O’Reilly, 2017.

CAPÍTULO

V. LEI DE ESCALA E DIMENSÃO FRACTAL PARA ADUZIR OS VALORES DOS MÓDULOS FISCAIS MUNICIPAIS — PARANÁ (BRASIL)

Destaques:

- Os Módulos Rurais (MR) incorporam o conceito de propriedade familiar.
- Os Módulos Fiscais (MF) são usados para classificar as pequenas, médias e grandes propriedades.
- A metodologia de cálculo atual é sensível a rearranjos fundiários locais.
- A lei de escala, por meio da dimensão fractal dos municípios, consegue simular/abduzir os valores dos MF.

Resumo

A presente pesquisa objetiva avaliar o atual método para o cálculo dos Módulos Rurais (MR) e Fiscais (MF) e propor um novo cálculo baseado na lei de escala e dimensão fractal (dos municípios). A área de estudo foi o estado do Paraná, com a presença do município de Centenário do Sul, com MF de 12 há, em uma região onde todos os seus vizinhos (municípios limítrofes) apresentam valores de MF superiores a 12 ha. A proposta busca simular valores para observar como os imóveis da agricultura familiar se redistribuem no estado, considerando valores de MF com expoente 1.15. Destacando as distribuições atuais, o município de Cascavel apresentou uma redução de 8,7 no número de propriedades da agricultura familiar e Centenário do Sul obteve um aumento de 17,5. No entanto, o impacto aparentemente negativo em Cascavel mostra uma redução de 24,5 na área das propriedades familiares, o que indica uma concentração de área em poucos imóveis.

Palavras-Chave: Simulação, Redistribuição, Centenário do Sul/PR.

Artigo a ser submetido à revista Geografia

Abstract

LAW OF SCALE AND FRACTAL DIMENSION TO ADDUCE THE VALUES OF MUNICIPAL FISCAL MODULES - PARANÁ (BRAZIL).

This study aims to evaluate the current method of calculating rural modules (RM) and fiscal modules (MF) and propose a new calculation based on the law of scale and fractal dimension (of municipalities). The study area was the state of Paraná, where the municipality of Centenário do Sul, with MF of 12 ha, is located in a region where all its neighbors (adjacent municipalities) have MF values greater than 12 ha. The proposal aims to simulate values to observe how family farms are redistributed in the state. Considering the MF values with exponent 1.15. The current distribution shows that the number of family farming properties decreased by 8.7 in the municipality of Cascavel and increased by 17.5 in Centenário do Sul. However, the apparent negative impact in Cascavel is reflected in a decrease of 24.5 in the area of family farms, indicating a concentration of land in a few plots.

Keywords: Simulation, Redistribution, Centenário do Sul/PR.

Résumé

LOI D'ÉCHELLE ET DIMENSION FRACTALE POUR DÉDUIRE LES VALEURS DES MODULES FISCAUX MUNICIPAUX - PARANÁ (BRÉSIL).

La présente recherche vise à évaluer la méthode actuelle de calcul des modules ruraux (MR) et des modules fiscaux (MF) et à proposer un nouveau calcul basé sur la loi d'échelle et la dimension fractale (des municipalités). La zone d'étude était l'État du Paraná, contenant la présence de la municipalité de Centenário do Sul avec un MF de 12 ha dans une région où tous ses voisins (municipalités limitrophes) présentent des valeurs de MF supérieures à 12 ha. La proposition vise à simuler les valeurs pour observer comment les propriétés agricoles familiales sont redistribuées dans l'État. En considérant les valeurs MF avec un exposant de 1,15. En soulignant les distributions actuelles, la municipalité de Cascavel a présenté une réduction de 8,7 du nombre de propriétés agricoles familiales et Centenário do Sul a obtenu une augmentation de 17,5. Cependant, l'impact apparemment négatif à Cascavel montre une réduction de 24,5 de la superficie des exploitations familiales, ce qui indique une concentration de la superficie dans quelques propriétés.

Mots-Clés: Simulation, Redistribution, Centenário do Sul/PR.

V.1 Introdução

O conceito de Módulos Fiscais (MF) foi introduzido pela Lei Federal 6.746 (BRASIL, 1979) para simplificar o cálculo do Imposto Sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR). Entre outras coisas, esses conceitos visavam conter os conflitos relativos à concentração de terra no Brasil (ANTUNES, 2018; TEODORO *et al.*, 2019), por meio de critérios de progressividade e regressividade, dependentes, por exemplo, do grau de utilização e eficiência na exploração agrícola, pecuária e florestal.

Os MF perderam sua natureza tributária com a revogação da Lei 8.847 (BRASIL, 1994) pela Lei Federal 9.393 (BRASIL, 1996), art. 1 a 22, que modificou a forma de cálculo do ITR. No entanto, os MF continuaram servindo de referência para várias políticas públicas. De acordo com a Lei Agrária 8.629 (BRASIL, 1993), por exemplo, os MF devem ser usados para classificar as propriedades rurais, por município, como pequenas, médias e grandes propriedades.

Os MF variam no mínimo de 5 hectares até no máximo 110 hectares (LANDAU, 2012; CASSETTARI, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2020), e são classificados em: (a) pequena propriedade, imóveis com área superior a 1 (um) e menor ou igual a 4 MF (Redação dada pela Lei da Regularização Fundiária 13.465 (BRASIL, 2017), com área mínima de 20 ha e área máxima de 440 ha; (b) média propriedade, imóveis com área superior a 4 e menor ou igual a 15 MF e; (c) grande propriedade, imóveis com área acima de 15 MF.

Os MF incorporaram o conceito de propriedade familiar, com foco no imóvel, que deriva do conceito de Módulo Rural (MR) do Estatuto da Terra (ET), Lei Federal 4.504 (BRASIL, 1964) art. 4º. Portanto, a propriedade familiar é caracterizada como o imóvel que, diretamente e pessoalmente, seja explorado pelo agricultor e sua família, absorvendo toda a sua força de trabalho e que, ocasionalmente, necessite da ajuda de terceiros. A finalidade primordial dos MR era estabelecer uma unidade de medida padrão, familiar, mínima, que exprimisse de forma dinâmica, ao longo do tempo, a interdependência, relação causal, entre a dimensão, a situação geográfica dos imóveis rurais e a sua forma ou condições de aproveitamento econômico, de acordo com o Decreto 55.891 (BRASIL, 1965).

Devido às diferenças regionais tornou necessário a ponderação dos valores dos MR por intermédio de modelos de zoneamento do país, ET, art. 43. Primeiramente, utilizou-se as Zonas Fisiográficas (1960), depois as Microrregiões Homogêneas (1968) e, atualmente, usa as Microrregiões Geográficas (1990) (IBGE, 2022).

Entretanto, a lei da Agricultura Familiar, Lei Federal 11.326 (BRASIL, 2006), art. 3º, com foco na pessoa, estabeleceu que o agricultor familiar deve ser simultaneamente: (a) aquele que não detém, a qualquer título, área maior do que 4 MF; (b) que utiliza, predominantemente, mão de obra familiar; (c) que tenha percentual mínimo de renda originado do estabelecimento e; (d) que o empreendimento seja dirigido pela própria família.

Portanto, os termos agricultura familiar, propriedade familiar e pequenas propriedades, em muitos casos, podem estar sobrepostos, mas devem ser tratados de forma diferente. No momento, aparentemente, não é possível falar qual é o padrão mínimo dos MR que devem ser adotados para parametrizar a classificação dos imóveis rurais.

Para complicar um pouco mais a questão, o art. 153, da Constituição Federal (CF) (BRASIL, 1988), que estabeleceu, a princípio, que a cobrança de impostos sobre a Propriedade Territorial Rural compete à União (ANTUNES, 2018; TEODORO *et al.*, 2019), também definiu que o imposto não incidirá sobre Pequenas Glebas Rurais. Este artigo da CF foi regulamentado pela Lei Federal 9.393 (BRASIL, 1996), que revogou a Lei 8.847 (BRASIL, 1994), art. 1 a 22, e definiu que as Pequenas Glebas Rurais também têm natureza familiar, com área de: (a) 100 ha, antes 80 ha, se localizada em municípios da Amazônia Ocidental, ou no Pantanal mato-grossense, e sul-mato-grossense; (b) 50 ha, antes 40 ha, se localizado em municípios compreendidos no Polígono das Secas ou na Amazônia Oriental e; (d) de 30 ha, antes 25 ha, se localizado em qualquer outro município do país.

Dessa forma, o presente trabalho tem por finalidade demonstrar a necessidade da readequação dos valores dos MR e dos MF, considerando a interligação de ambos. Tal iniciativa deve-se à discrepância entre os parâmetros regionais adotados e a realidade local, municipal, que resulta em constantes reclamações, por parte de prefeitos, a respeito da incompatibilidade dos valores vigentes. O estudo analisa as falhas metodológicas atuais e discute o equívoco de sua manutenção. Um novo cálculo é proposto para os MR e MF, considerando a aplicação da lei de escala, ou sistemas complexos organizados, emergentes (JOHNSON, 2003; BARABÁSI, 2009; WEST, 2018). O modelo desenvolvido simplifica o cálculo e possui menor sensibilidade a rearranjos fundiários locais. Nesse contexto, a pesquisa possui os seguintes objetivos: (a) apresentar um modelo teórico para simular os valores dos MF; (b) comparar os resultados dos valores teóricos (abduzidos/aduzidos) com os valores atuais dos MF, que incluem os novos valores de MF, calculados em 2018, com base nos dados (Extração) do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR); e (c) considerar a manifestação, reclamação, por parte do município de Centenário do Sul, no estado do Paraná, que tem o Módulo Fiscal de 12 há, em uma região onde todos os seus vizinhos (municípios limítrofes) possuem valores de MF maiores do que 12 ha: (a) Porecatu tem 16 ha; (b) Florestópolis tem 14 ha; (c) Miraselva tem 16 ha; (d) Jaguapitã tem 16 ha; (e) Guaraci tem 16 ha; (f) Cafeara tem 16 ha e: (g) Lupionópolis tem 14 ha.

V.2 Referencial Teórico

V.2.1 Módulo rural e fiscal

Os MR utilizam as Microrregiões Geográficas (IBGE, 2022) e o conceito de Potencial Demográfico para criar macrozonas, que extrapolam o perímetro das microrregiões, conhecidas como Zonas Típicas de Módulo (ZTM), Decreto 55.891 (BRASIL, 1965). Essas zonas abordam

seis tipos de exploração: (a) hortigranjeiras; (b) lavouras permanentes; (c) lavouras temporárias; (d) pecuária; (e) florestal e; (f) inexplorado.

O Art. 46, do ET, 1964, que trata da caracterização dos imóveis rurais, aborda a questão da infraestrutura e dos centros demográficos, mas limita o recorte demográfico para cidades acima de 100 mil habitantes — descrição que não corresponde mais à realidade brasileira.

A partir disso, a Instrução Especial/Incrá/nº 05-a (INCRA, 1973) descreve como são calculados os MR para cada imóvel: (a) basicamente, se um imóvel está localizado, por exemplo, na ZTM-A1 (Zona de maior potencial demográfico) e se o seu uso é composto apenas por lavouras de hortifrutigranjeiro, basta dividir a área útil do imóvel por uma constante que, no caso, será dois e; (b) se os imóveis forem compostos por mais de uma cultura, então, os MR serão calculados com base na média ponderada. Certamente, essa Instrução Especial poderá ser revisada em momento oportuno, caso a metodologia de cálculo para os MR seja mantida.

Tabela V.1 Valor dos Módulos Rurais - Instrução Especial/Incrá/nº 05-a

Categoria de Módulo	Horti fruti granjeira	Lavoura Permanente	Lavoura Temporária	Pecuária	Florestal	Imóvel Inexplorado ou com Exploração
	(1)	(2)	(03)	(04)	(05)	Não definida (06)
A1 (01)	2	10	13	30	45	5
A2 (02)	2	13	16	40	60	10
A3 (03)	3	15	20	50	60	15
B1 (04)	3	16	20	50	80	20
B2 (05)	3	20	25	60	85	25
B3 (06)	4	25	30	70	90	30
C1 (07)	4	30	35	90	110	55
C2 (08)	5	35	45	110	115	70
D1 (09)	5	40	50	110	120	100

Fonte: Incra (1973).

O cálculo dos MF por município baseia-se na divisão da mediana da área útil de todos os imóveis rurais (do município) pela mediana de todos os MR calculados (para cada imóvel), conforme o tipo de uso (**Tabela V.1**). No entanto, a atualização dos MF com esse procedimento continuará causando distorções, devido à sensibilidade aos rearranjos fundiários locais ou à desorganização territorial existente (ALBUQUERQUE, 1987; ANTUNES, 2018). O cálculo descrito pode classificar, inadequadamente, pequenas propriedades como médias ou grandes propriedades e vice-versa, o que causa distorções nos extremos populacionais. As pequenas propriedades localizadas ao redor dos grandes centros demográficos são penalizadas, enquanto médias ou grandes propriedades (ainda não são classificadas como tal) são, injustamente, favorecidas devido aos desajustes atuais. Sabbato (1999) fez várias considerações a respeito dos

$$L = r * p - D \dots\dots\dots(\text{eq.03})$$

Em que a eficiência agrícola pode ser descrita: (a) r é o rendimento agrícola por ha; (b) p é o preço da unidade do produto considerado e: (c) D são as despesas diretas por ha, para o tipo de exploração considerada (excluindo a mão-de-obra).

Resultando na seguinte fórmula para as áreas dos MR:

$$A = \frac{67,2 S}{r * p - (D + 0,225V)} \dots\dots\dots(\text{eq.04})$$

Sabbato (1999) apresentou uma série de considerações em relação à fórmula:

- (a) a fórmula para a obtenção dos MR utiliza variáveis e hipóteses que devem ser reavaliadas, em virtude das mudanças das condições econômicas e fundiárias do país;
- (b) o salário-mínimo, como remuneração da força de trabalho familiar, é uma variável muito instável, em condições de alta inflação, o que pode tanto elevar quanto reduzir, inadequadamente, os valores dos MR, mantidas as condições atuais;
- (c) a utilização de quatro pessoas adultas para representar a força de trabalho familiar também pode elevar, superdimensionar, os valores dos MR, pois a tendência atual é de queda em relação a esse valor (hipótese que pode ser confirmada pelos dados do Censo Agropecuário);
- (d) a hipótese de incidência de 40% de encargos sociais sobre os salários também é inadequada para os dias atuais, uma vez que as estimativas indicam o dobro desse valor;
- (e) não há evidência de que o valor do investimento deva corresponder a 50% do valor da terra nua, nem que a remuneração do capital seja de 15%.

V.2.3 Mudança de paradigma — lei de escala

O A lei de escala ou potência, segundo Rashid (2017), pode descrever propriedades universais, sem depender de características específicas ou detalhadas das variáveis, que podem representar numerosos fenômenos complexos, emergentes, como organismos vivos, biológicos, ou artificiais, por exemplo, as cidades (JOHNSON, 2003; BARABÁSI, 2009; RASHID, 2017; WEST, 2018), e descrever o crescimento de uma parte do conjunto de dados, organismos, ou estruturas em relação ao todo, em que a relação entre as variáveis x e y é dada por meio da seguinte fórmula (BATSCHELET, 1978; RASHID, 2017):

$$y = bx^\alpha \dots\dots\dots(\text{eq.05})$$

A modelagem, a priori, para relações dependentes de escala, de tamanho, para qualquer sistema complexo, nem sempre são determinadas por requisitos físicos, mensuráveis, que evidenciem a relação de tamanho crescente. Portanto, a aplicabilidade do poder da lei de escala deve ser determinada e motivada por tendências e induções que indiquem, empiricamente, que o

aumento diferencial entre as variáveis pode, de fato, representar, adequadamente, o caráter multidimensional dos fenômenos complexos (BARABÁSI, 2009; RASHID, 2017; WEST, 2018).

V.2.4 Dimensão Fractal

Figuras regulares, como um loteamento urbano quadrangular, possuem dimensões exatas, mas figuras irregulares, como glebas ocupadas por favelas, ou o próprio contorno (perímetro) dos municípios brasileiros, por exemplo, que seguem trajetos naturais, como rios, apresentam rugosidades que não podem ser mensuradas com eficácia geométrica, e dependem de outras métricas, como a dimensão fractal, para poder revelar padrões de auto-organização (AZEVEDO; CHRISTOFOLETTI, 2007; DAUPHINÉ, 2012; COSTA, 2014; ENGELS, 2017; LOUVEIRO; MEDEIROS; GUERREIRO, 2019).

Dessa forma, as favelas com seus contornos orgânicos, compostas de diferentes dimensões e configurações (LOUVEIRO; MEDEIROS; GUERREIRO, 2019), podem ser uma boa representação para compreender a estrutura fundiária brasileira e a sua “autodesorganização” sistemática proveniente da falta de planejamento, desde a origem da ocupação territorial. Portanto, salienta-se a dificuldade da elaboração de um cadastro georreferenciado sobre uma base espacial multiescalar para atender e planejar nosso território. Vilches-Blázquez e Saavedra (2021) argumentam que as tradicionais bases espaciais, que são a principal referência para os modelos de administração de terra, não são suficientes para superar o desafio da diversidade e da heterogeneidade dos dados territoriais. A falta de padronização dos próprios territórios pode despertar o interesse na relação dos objetos espaciais e não apenas na sua forma (BARABÁSI, 2009; WEST, 2017; VILCHES-BLÁZQUES; SAAVEDRA, 2022).

V.3 Área de Estudo

A revisão dos módulos foi solicitada por vários municípios, de várias regiões do país, entre eles: (a) Vidal Ramos, em Santa Catarina; (b) Centenário do Sul, no Paraná; (c) Boa Vista e Pocinhos, na Paraíba e; (d) Itaituba, no Pará. Entre outros. A escolha do estado do Paraná foi baseada no fato de que este é o segundo maior produtor de grãos do país (CONAB, 2022), baseado em uma agricultura altamente tecnológica, e mesmo assim, possui mais de 80% das suas propriedades classificadas como pequenas propriedades familiares (INCRA/SNCR, 2022).

V.4 Material e Método

A presente pesquisa usou os MF atuais disponíveis da Tabela de Índices Básicos, de 2013 (INCRA, 2013); e os MF calculados por meio da extração realizada em 09/03/2018, do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR), contendo as seguintes variáveis: (a) Código do Imóvel; (b) Código do Município; (c) Nome do Município; (d) Área Total; (e) Quantidade Área Módulo Rural 5A; (f) Quantidade Área Módulo Rural 50; (g) Quantidade Módulo Rural 5A; (h) Quantidade

Módulo Rural 50; (i) Área Utilizada; (j) Área Explorável e; (k) Área Inexplorável. Esses dados continham cerca de 6 milhões e meio de linhas. O código 5A é usado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) para denotar as Microrregiões Homogêneas (1968); e o código 50 para denotar as Microrregiões Geográficas (1990) (IBGE, 2022). Na sequência, o processamento dos dados resultou no cálculo de quatro novos valores de MF para todo o país: (a) área útil 5a; (b) área total 5a; (c) área útil 50 e: (d) área total 50; pois mudando o modelo de zoneamento, muda também o potencial demográfico. O valor adotado no estudo, entretanto, foi a área (c) área útil 50 (Au50/2018). Para organizar a base de dados, utilizou-se o pacote dplyr do Sistema Estatístico R (WICKHAM; GROLEMUND, 2017; WICKHAM *et al.*, 2019).

Além disso, as seguintes variáveis do estado do Paraná foram utilizadas: (a) População (P) dos municípios (IBGE/CENSO, 2011) para criar escalas de MR (Figura 1) e; (b) Área (A) em Km² e Perímetro (P) em metros dos municípios, calculados por intermédio do software QGIS (GRASER, 2014), a partir da base dos municípios, no formato shapefile (IBGE, 2013), para calcular a Dimensão Fractal (D) dos municípios. Dessa forma, foi possível simular novos valores dos MF.

A base (Extração) de 2018 com as informações a respeito dos MR apresentou somente 61,4% dos imóveis com dados cadastrados no campo Área Explorável/Utilizada. Portanto, optou-se pelos dados da Consulta Pública do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) (INCRA/SNCR, 2022), extraídos em 01/09/2019. A Consulta Pública do SNCR é uma base atualizada, porém dispõe apenas do campo Área Total do Imóveis, mas que não prejudica o estudo. Dessa forma, dividindo a Área Total dos Imóveis pelos respectivos MF apresentados foi possível recalcular a distribuição dos imóveis da agricultura familiar no estado do Paraná (**Figura V.1**).

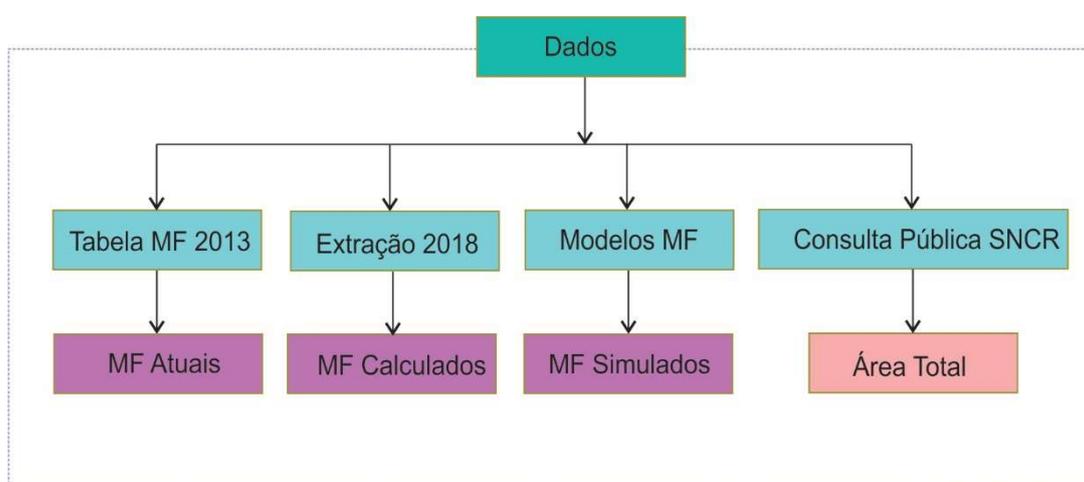


Figura V.1 Representação esquemática das bases de dados utilizadas. Fonte: os autores.

V.4.1 Modelagem fundiária — usando lei de escala

Este trabalho adota os princípios do art. 4º, do ET. Entretanto, essa definição apresenta limitações quanto ao tamanho da área que pode ser explorada diretamente pelo agricultor e sua família. O mesmo artigo do ET chama de Empresa Rural os empreendimentos que buscam rendimentos econômicos, por meio de aportes financeiros, que vão além das características de natureza de subsistência e do progresso social e econômico, que visam, principalmente, ao lucro, ligados a uma taxa de investimento e um tempo de retorno.

Dessa forma, a nossa proposição substitui o modelo de potencial demográfico baseado na distância euclidiana entre centros demográficos, muito usado no *geomarketing* (DIAS, 2006; BELL, 2018), pelo modelo de mudança de escala populacional (fractal) (BARABÁSI, 2009; DAUPHINÉ, 2012; RASHID, 2017; WEST, 2018), considerando que toda vez que a população dobra de tamanho, a infraestrutura (econômica) aumenta de acordo com uma taxa (expoente) α de 1,15 (WEST, 2018). Nesse contexto, consideramos, por intermédio de observações empíricas, que à medida que dobra a população, os MR tendem a diminuir. Isso provoca a redução do tamanho da área necessária para sustentar uma família, devido às características de melhor infraestrutura (WEST, 2018) e qualidade de vida. Além do potencial econômico, as propriedades familiares ao redor dos grandes centros tendem a ser consideradas como refúgios verde ou de lazer, e ganham uma dimensão de valor intangível (SCHNEIDER; CASSOL, 2014), que delude conceitos de minifúndio (Imóvel menor que 1 MF).

Por outro lado, consideramos que à medida que nos afastamos dos grandes centros, o capital investido, em forma de terra, também deverá ser maior, para viabilizar os empreendimentos rurais em regiões de pior infraestrutura (WEST, 2018), independente dos tipos de uso ou de aproveitamento do imóvel, ou das características ecológicas (biomas), ou do tipo de exploração predominante, devido à evolução tecnologia da agricultura.

Partindo desse pressuposto, o país foi dividido em 15 faixas/escalas de MR, diminuindo, sucessivamente, os valores dos MR à medida que dobra o tamanho da população, de acordo com a **Tabela V.2**, criando uma definição a priori de Módulo Rural (MR) para todo país:

Tabela V.2 MR variando de 15 a 1 hectare, à medida que a população dobra. População. IBGE (2011):

MR	População
1	10.000.000
2	5.000.000
3	2.500.000
4	1.250.000
5	625.000
6	312.500
7	156.250
8	78.125
9	39.063
10	19.531
11	9.766
12	4.883
13	2.441
14	1.221
15	610

Fonte: os autores (2021).

O Módulo Empresarial Rural (MER) (**Tabela V.3**) foi criado para suprir a necessidade do aumento ou remuneração do capital, em forma de terra, utilizando a fórmula:

$$MER = MR^{\alpha} \dots\dots\dots (eq.06)$$

Tabela V.3 Incremento dos MR, variando de 1 a 15 hectares à medida que a população é dividida por dois, de acordo com a eq.06. Para $\alpha = 1,15$:

MR	MER
1	1
2	2
3	4
4	5
5	6
6	8
7	9
8	11
9	13
10	14
11	16
12	17
13	19
14	21
15	23

Fonte: os autores (2021).

Dentro de cada escala populacional, foi considerado um Índice Fractal (D), baseado na relação Área (A) e Perímetro (P) (AZEVEDO; CRISTOFOLETTI, 2007), para indicar o grau relativo de complexidade e diferenciação de cada município:

$$D = \frac{\ln P}{\ln(A^{\frac{1}{2}}+100)} \dots\dots\dots(\text{eq.07})$$

Finalmente, o produto dos MER pela Dimensão/Índice Fractal (D) resulta nos novos valores, propostos, dos MF:

$$MF = D * MR^\alpha \dots\dots\dots(\text{eq.08})$$

Portanto, os MF passam a ser uma combinação de parâmetros físicos, área e perímetro do município, e elementos estruturais (que dependem da escala populacional), que podem ser manuseados/adaptados, de acordo com o interesse do gestor territorial/público. Neste estudo, foi usada a dimensão fractal de cada município, mas nada impede que seja adotado um valor único (médio) para todo o estado ou para uma determinada região.

V.4.2 Conexão matemática

O módulo rural **m** foi definido como proporcional à Área (A) do município e inversamente proporcional à População (P) do município:

$$m = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(\text{eq.09})$$

O módulo fiscal MF foi definido como proporcional a uma constante **K** e inversamente proporcional à População (P) do município elevada a um expoente **α**:

$$MF = \frac{K}{P^\alpha} \dots\dots\dots(\text{eq.10})$$

Onde:

$$P = \frac{A}{m} \dots\dots\dots(\text{eq.11})$$

Onde:

$$MF = \frac{K}{\left(\frac{A}{m}\right)^\alpha} \dots\dots\dots(\text{eq.12})$$

Onde:

$$MF = \frac{K}{A^\alpha} m^\alpha \dots\dots\dots(\text{eq.13})$$

Impondo:

$$\frac{K}{A^\alpha} = DA^\alpha \dots\dots\dots(\text{eq.14})$$

Onde D é um Índice Fractal:

$$D = \frac{\ln P}{\ln(\sqrt{A} \cdot 100)} \dots \dots \dots (\text{eq.15})$$

Resultando:

$$MF = D m^\alpha \dots \dots \dots (\text{eq.16})$$

V.5 Resultados e Discussão

O modelo teórico foi pensado para abduzir/aduzir os valores dos MF (KITCHIN, 2014a, 2014b), calculados em 1973, e redistribuídos de acordo com o último zoneamento, de 1990, área útil 50, e serve de parâmetro para aceitar ou questionar a validade dos valores atuais (ou recalculados Au50/2018). A figura 2 apresenta a distribuição dos Módulos Rurais (MR), de acordo com a mudança de escala populacional (Tabela V.4). Dessa forma, os MR elevados a um expoente α e multiplicado pela Dimensão Fractal (D) do Município resulta nos novos valores do MF (Simulados).

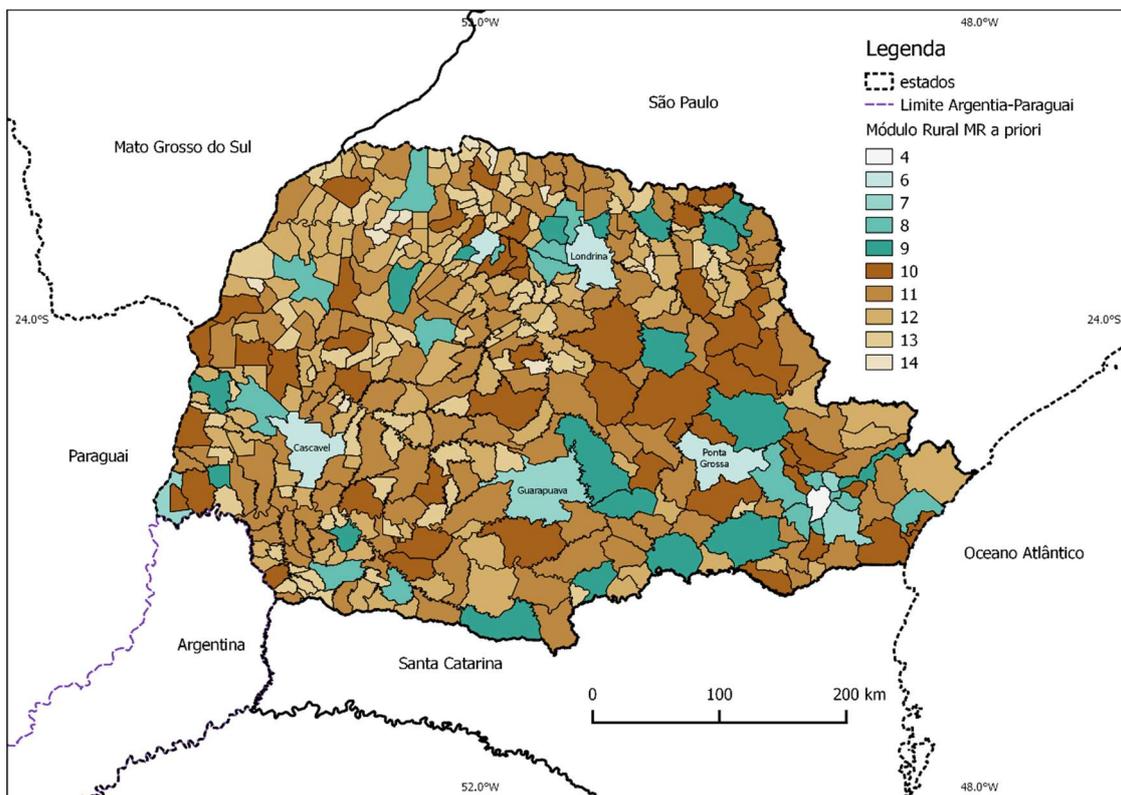


Figura V.2 Distribuição dos MR de acordo com a escala populacional. Fonte: os autores.

Dessa forma, o ajuste dos MF, que utiliza algum dos modelos propostos (considerando diferentes valores de α), pode ser uma solução simples e coerente para minimizar as possíveis distorções do modelo tradicional, mesmo que alguns municípios sejam penalizados, devido ao aumento da população (considerando que não foi adotado modelo de zoneamento, ou seja, foi usado a mesma taxa α de infraestrutura para todas as regiões).

Assim, o estado do Paraná possui 78,5% dos seus imóveis considerados como pequenas propriedades, ou da agricultura familiar, de acordo com os valores atuais dos MF; ou 77,8%, de acordo com os novos valores calculados, conforme a metodologia tradicional (Au50/2018), o que provoca uma pequena redução na quantidade de pequenas propriedades no estado. Os MF simulados com taxa α 1,15 mantêm a mesma proporção de 78,5 % dos imóveis da agricultura familiar no estado, mas redistribui as proporções de cada município.

A divisão da Área Total dos imóveis, obtida da Consulta Pública do SNCR, dividida pelos MF apresentados resulta na proporção dos imóveis da agricultura familiar no estado do Paraná (Tabela V.4).

Tabela V.4 Porcentagem das Propriedades Familiares (abaixo de 4 MF). Resultado da divisão da Área Total de todos os imóveis pelos MF apresentados

Módulos Fiscais	% de Pequenas Propriedades
MF1 ($\alpha = 1,050$)	78,2
MF2 ($\alpha = 1,075$)	78,4
MF3 ($\alpha = 1,100$)	78,6
MF4 ($\alpha = 1,125$)	78,4
MF5 ($\alpha = 1,150$)	78,5
MF6 ($\alpha = 1,175$)	78,4
MF7 ($\alpha = 1,200$)	78,4
Au50/2018	77,8
Atual	78,5

Fonte: os autores (2021).

Curitiba é uma cidade com quase 2 milhões de habitantes, entretanto, o módulo atual é igual ao de São Paulo, cidade com mais de 10 milhões de habitantes. Dessa forma o resultado do aumento do módulo é coerente. Cascavel é uma cidade com aproximadamente 300 mil habitantes, porém, o módulo atual é maior que o de Centenário do Sul, com população de aproximadamente 11 mil habitantes, portanto, a indicação de redução, também, é coerente. No caso de Centenário do Sul, tanto o valor calculado, usando Au50/2018, quanto os valores simulados dos MF indicam a necessidade do aumento do módulo do município.

Apresentação dos MF dos principais municípios do estado do Paraná:

Tabela V.5 Resultado da avaliação dos MF das principais cidades do estado:

MF	MF1	MF2	MF3	MF4	Mf5	MF6	MF7	Au50	Atual
Curitiba	7	7	7	7	8	8	8	10	5
Londrina	10	10	11	11	12	12	13	14	12
Maringá	10	11	11	12	12	13	13	15	14
Ponta G	10	10	11	11	12	13	13	14	12
Cascavel	10	10	11	11	12	12	13	16	18
Foz I	12	13	13	14	15	15	16	16	18

Guarapuava	12	12	13	14	14	15	16	18	18
Paranaguá	13	14	15	16	17	17	18	5	16

Fonte: os autores (2021).

Apresentação dos MF dos municípios limítrofes à Centenário do Sul:

Tabela V.6 Avaliação dos municípios vizinhos a centenário do Sul

MF	MF1	Mf2	MF3	MF4	Mf5	MF6	MF7	Au50	Atual
Centenário S	19	20	21	22	24	25	27	26	12
Porecatu	19	20	22	23	24	26	27	17	16
Florestópolis	19	21	22	23	25	26	28	20	14
Miraselva	25	27	28	30	32	35	37	27	16
Jaguapitã	19	20	22	23	24	26	27	25	16
Guaraci	21	22	24	25	27	29	29	34	16
Cafeara	23	24	26	28	30	31	34	22	16
Lupionópolis	23	25	26	28	30	32	34	31	14

Fonte: os autores (2021).

A comparação dos módulos fiscais vigentes (Atual) e os simulados pelo modelo de escala populacional (fractal) com expoente 1,15 (MF5), proposto por West (2018), permitiu avaliar o impacto da redução ou aumento do Número de Imóveis (Num_Imov) e Área Total (ÁreaT_Imov) da agricultura familiar, nos principais municípios do estado do Paraná; com destaque para os municípios limítrofes à Centenário do Sul (**Tabela V.7, V.8, V.9 e V.10**). Os valores atuais, que são ponderados por características do zoneamento, apresentaram questionamentos acerca da sua efetividade, pois podem não ser justificadas, facilmente, algumas diferenças encontradas, por exemplo, entre Centenário do Sul e Cascavel. Portanto, cria-se dúvidas a respeito de validades dos valores atuais dos MF e das zonas de potencial demográfico, lembrando que a escala populacional pode ser revisada a cada censo demográfico do país.

Agricultura familiar dos principais municípios do estado do Paraná:

Tabela V.7 Agricultura Familiar — número de imóveis principais cidades

MF	Num_Imov Atual	Num_Imov 1,15	%
Curitiba	871	921	5,7
Londrina	5173	5173	0
Maringá	2987	2912	-2,5
Ponta G	2385	2385	0
Cascavel	4666	4257	-8,7
Foz I	1301	1287	-1,0
Guarapuava	1103	1045	-5,2
Paranaguá	943	949	0,6

Fonte: os autores (2021).

Agricultura familiar dos municípios limítrofes à Centenário do Sul:

Tabela V.8 Agricultura Familiar — número de imóveis Centenário do Sul

MF	Num_Imov Atual	Num_Imov 1,15	%
Centenário S.	627	737	17,5
Porecatu	83	89	7,2
Florestópolis	202	233	15,3
Miraselva	160	175	9,3
Jaguapitã	790	851	7,7
Guaraci	344	387	12,5
Cafeara	215	247	14,8
Lupionópolis	324	348	7,4

Fonte: os autores (2021).

No caso de Curitiba e Centenário do Sul, não resta dúvida que o aumento do número de imóveis é positivo. No caso de Cascavel, por exemplo, embora, aparentemente, o impacto seja negativo, é possível perceber que uma redução de apenas 8,7% no número de imóveis corresponde a uma redução de 24,5% na área das propriedades familiares (1/4 da área). Isso mostra que os dados estão distorcidos, e indicando concentração de área/terra em poucos imóveis (**Tabelas V.6, V.7, V.8 e V.9**). Não foi avaliado, por exemplo, a questão do aumento do número de minifúndios no município de Curitiba por ser um conceito desconsiderado nesse estudo.

Agricultura familiar dos principais municípios do estado do Paraná:

Tabela V.9 Agricultura Familiar — Área total principais cidades

MF	ÁreaT_Imov Atual	ÁreaT_Imov 1,15	%
Curitiba	4049,68	5342,81	31,9
Londrina	70453,69	70453,69	0
Maringá	44038,90	40321,05	-8,4
Ponta G	35008,21	35008,21	0
Cascavel	95.104,72	71.729,49	-24,5
Foz I	14217,76	13305,25	-6,4
Guarapuava	17710,87	14065,31	-20
Paranaguá	14198,90	14588,60	2,7

Fonte: os autores (2021).

Agricultura familiar dos municípios limítrofes à Centenário do Sul:

Tabela V.10 Agricultura Familiar — Área total Centenário do Sul

MF	ÁreaT _Imov Atual	ÁreaT _Imov 1,15	%
Centenário S.	12.515,77	16.643,62	32,9
Porecatu	4049,68	2676,52	22,7
Florestópolis	4045,89	6273,15	55,0
Miraselva	3274,52	4607,66	40,7
Jaguapitã	16379,28	21125,10	28,9
Guaraci	6219,04	9799,73	57,5
Cafeara	4957,63	8049,21	62,3
Lupionópolis	5190,71	7164,05	38,0

Fonte: os autores (2021).

Durante o desenvolvimento do trabalho, percebeu-se que a desorganização, ou a variabilidade do tamanho das propriedades, heterogeneidade, é condicionada pela variabilidade acentuada do tamanho dos municípios do estado do Paraná. Pinhais, por exemplo, na região metropolitana de Curitiba, tem uma área de 6.767, 097 ha, enquanto Guarapuava tem uma área de 352.124,307 ha. Portanto, 52 vezes maior. Além disso, foi importante observar a relação entre Iguatu, com área de 11.821,174 ha, e Guarapuava, 30 (trinta) vezes maior, que atualmente possuem o mesmo MF, com valor de 18 (dezoito) ha.

O estudo apresentou os resultados do Estado Paraná, mas as taxas α utilizadas podem ser aplicadas da mesma forma em outros estados do país, com exceção de Minas Gerais e Amazonas. No caso de Minas Gerais, devido ao seu tamanho e diversidade regional, é recomendado que o estado seja dividido, no mínimo, em duas regiões de estudo (para a aplicação das taxas α). No caso do estado de Amazonas, as simulações devem ser testadas para valores α maiores/acima de 1,2 (MF7).

V.6 Conclusão

Com os avanços tecnológicos, logo, será possível calcular o lucro líquido das propriedades, glebas ou talhões, receitas menos despesas, quase que instantaneamente, na nuvem, o que gera uma quantidade enorme de dados que poderão ser analisados por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina. Mas, por outro lado, mesmo com todas as possibilidades das ciências de dados, Big Data, buscar uma caracterização, dimensão, padrão para os imóveis rurais baseada na dinâmica fundiária, além de não produzir modelos parcimoniosos, do ponto de vista estatístico, corre-se o risco de encontrar, estar sujeito, a variações difíceis de serem justificadas, o que, também, poderá levar a erros de classificação injustificáveis, devido à desorganização

sistemática da nossa estrutura fundiária.

Os MR e MF são uma importante questão para o desenvolvimento territorial e agrário brasileiro, com importância conceitual e prática. Porém, constata-se que os valores vigentes perderam a conexão com os objetivos originais, ao longo do tempo. Assim, uma avaliação aprofundada acerca dos impactos positivos e negativos dos MR e MF devem ser considerados na condução de uma política pública que, realmente, possa trazer desenvolvimento econômico, social e territorial para o país. Nesse contexto, a presente pesquisa tem como mérito rediscutir a questão e propor uma nova metodologia de cálculo, baseada na lei de escala populacional. Os resultados demonstram ser promissores para o estado do Paraná, pois manteve o número de propriedades familiares em torno de 80%. Além disso, o método promove ajustes nas discrepâncias encontradas, decorrentes do uso inadequado do modelo de zoneamento e do potencial demográfico. O novo modelo não depende da dinâmica fundiária local, está sujeito apenas aos efeitos lentos de escala, infraestrutura, populacional. Estudos futuros em outras localidades são necessários para a sua avaliação, devido à grande responsabilidade de provocar alterações na dinâmica territorial/estrutural municipal, urbana e rural.

Referências

- ALBUQUERQUE, M. C. C. Estrutura fundiária e reforma agrária no Brasil. **Revista de Economia Política**, v. 7, n. 3, p. 99 – 134, 1987. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/14639/Estrutura%20fundi%C3%A1ria%20e%20reforma%20agr%C3%A1ria%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2019.
- ANTUNES, T. G. O imposto territorial rural (ITR) como ferramenta da gestão tributária. **Revista Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, Santa Catarina, v. 24, p. 215-232, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/tecnambiente/article/view/4375>. Acesso em: 23 out. 2019.
- AZEVEDO, T. S.; CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Fractais em Geografia: conceitos e perspectiva. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 2, n. 2, p. 30, 2007. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/730>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- BARABÁSI, A. L. **Linked a nova ciência dos network**. Leopardo Editora, 2009.
- BATSCHULET, E. **Introdução à matemática para biocientistas**. São Paulo: editora da Universidade de São Paulo, 1978.
- BELL, D. **Localização (ainda) é tudo**. São Paulo: HSM, 2016.
- BRASIL. Lei Federal nº 601, de 18 de setembro de 1850. Dispõe sobre as terras devolutas do Império. **Coleção das Leis do Brasil**: v. 1, p. 307, 18 set. 1850.
- BRASIL. Lei Federal nº 4.504, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 49, 30 nov. 1964.

BRASIL. Decreto Federal nº 55.891, de 31 de março de 1965. Regulamenta o Capítulo I do Título I e a Seção III do Capítulo IV do Título II da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 — Estatuto da Terra. **Diário Oficial da União**: 08 04 1965 003569 4, 31 mar. 1965.

BRASIL. Lei Federal nº 6.746, de 11 de dezembro de 1979. Altera o disposto nos arts. 49 e 50 da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 (Estatuto da Terra), e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 18.673, 11 dez. 1979.

BRASIL. [Constituição (1988)] Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: **Presidência da República**, [2020]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 jun. 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 8.629, de 26 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 2.349, 26 fev. 1993.

BRASIL. Lei Federal nº 8.847, de 29 janeiro 1994. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 1.381, 29 jan. 1994.

BRASIL. Lei Federal nº 9.393, 20 de dezembro de 1996. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural — ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos da Dívida Agrária e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 27.744, 20 dez. 1996.

BRASIL. Lei Federal nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis nos 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, p. 1, 28 ago. 2001.

BRASIL. Lei Federal nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 1, 24 jul. 2006.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 28 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 1, 28 mai. 2012.

BRASIL. Lei Federal nº 13.465, de 12 de julho de 2017. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União; altera as Leis nos 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, 13.001, de 20 de junho de 2014, 11.952, de 25 de junho de 2009, 13.340, de 28 de setembro de 2016, 8.666, de 21 de junho de 1993, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 12.512, de 14 de outubro de 2011, 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), 13.105, de 16 de março de 2015 (Código de Processo Civil), 11.977, de 7 de julho de 2009, 9.514, de 20 de novembro de 1997, 11.124, de 16 de junho de 2005, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 10.257, de 10 de julho de 2001, 12.651, de 25 de maio de 2012, 13.240, de 30 de dezembro de 2015, 9.636, de 15 de maio de 1998, 8.036, de 11 de maio de 1990, 13.139, de 26 de junho de 2015, 11.483, de 31 de maio de 2007, e a 12.712, de 30 de agosto de 2012, a Medida Provisória nº 2.220, de 4 de setembro de 2001, e os Decretos-Leis nº 2.398, de 21 de dezembro de 1987, 1.876, de 15 de julho de 1981, 9.760, de 5 de setembro de 1946, e 3.365, de 21 de junho de 1941; revoga dispositivos da Lei Complementar nº 76, de 6 de julho de

1993, e da Lei nº 13.347, de 10 de outubro de 2016; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, p. 1, 12 jul. 2017.

CASSETTARI, C. **Direito Agrário**. São Paulo: Atlas, 2015.

CONAB — COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra brasileira de grão** – Boletim de monitoramento agrícola. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>. Acesso em: 2 jan. 2022.

COSTA, P. C. **Análise fractal de formas urbanas**: estudo sobre a dimensão fractal e o índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM). 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/1438>. Acesso em: 23 maio 2019.

DAUPHINÉ, A. **Fractal Geography**. Primeira edição. Wiley-ISTE, 2012. EBook Kindle.

DAVENPORT, T. H. **Big Data no Trabalho derrubando mitos e descobrindo oportunidades**. Rio de Janeiro: Alta Books.

DIAS, S. R. **Gestão de Marketing**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

ENGELS, F. **A Situação da Classe Trabalhadora na Inglaterra**. São Paulo: Boitempo, 2017.

GRASER, A. **Learning QGIS** — Use QGIS to create great maps and perform all the geoprocessing tasks you need. Packt Publishing, 2014. EBook Kindle.

IBGE — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão regional do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 7 jan. 2022.

IBGE — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal**. 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 17 dez. 2021.

IBGE/CENSO — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios, resultados do universo. 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_do_micilios.pdf. Acesso em: 1 fev. 2019.

INCRA — INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Instrução Especial/Incrá/nº 05-a**. 1973. Disponível em: <https://antigo.incra.gov.br/pt/instrucao-especial>.

INCRA/SNCR — INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Consulta Pública do Sistema Nacional de Castro Rural (SNCR)**. 2022. Disponível em: <https://sncr.serpro.gov.br/sncr-web/consultaPublica.jsf;jsessionid=7n0i1krY6an-5hDhVr3kpAgx.sncr-web2?windowId=905>. Acesso em: 1 set. 2019.

INCRA — INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA **Módulo Fiscal** 2013. Disponível em: <https://antigo.incra.gov.br/pt/modulo-fiscal.html>. Acesso em: 1 set. 2019.

JACQUES, V. Blockchain-based land registry: panacea, illusion, or something in between?

Dubai: **ELRA — European Land Registry Association**, p. 1-26, 2016. Disponível em: <https://www.elra.eu/wp-content/uploads/2017/02/10.-Jacques-Vos-Blockchain-based-Land-Registry.pdf>. Acesso em: 14 out. 2020.

JOHNSON, S. **Emergência: A Dinâmica de Rede em Formigas, Cérebros, Cidades e Software**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar editor, 2003.

KITCHIN, R. Big Data, new epistemologies and paradigm shifts. **Big Data & Society**, p. 1–12, 2014a. DOI: 10.1177/2053951714528481.

KITCHIN, R. Big data and human geography, opportunities, challenges, and risks. **Dialogues in Human Geography**, v. 3, n. 3, p. 262-267, 2014b.

LANDAU, E. C.; CRUZ, R. K.; HIRSCH, A.; PIMENTA, F. M.; GUIMARAES, D. P. **Variação geográfica do tamanho dos módulos fiscais no Brasil**. Minas Gerais: Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas, documentos 146, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/949260/variacao-geografica-do-tamanho-dos-modulos-fiscais-no-brasil>. Acesso em: 5 jan. 2022.

LAURENCE, T. **Blockchain para Leigos**. Segunda edição. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

LOUVEIRO, V.; MEDEIROS, V.; GUERREIRO, R. A lógica socioespacial da favela: padrões da informalidade auto-organizada. **Revista de Morfologia Urbana**, v. 7, n. 1, p. 1-20, 2019. Disponível em: <https://revistademorfologiaurbana.org/index.php/rmu/article/view/77/41>. Acesso em: 0 jun. 2021.

OLIVEIRA, A. L.; COELHO JÚNIOR, M. G.; BARROS, D. A.; RESENDE, A. S.; SANSEVERO, J. B. B.; BORGES, L. A. C.; BASSO, V. M.; FARIAS, S. M. Revisiting the concept of ‘fiscal modules: implications for restoration and conservation programs in Brazil. **Land Use Policy**, v. 99, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837719300523>. DOI:10.1016/j.landusepol.2020.104978. Acesso em: 7 jan. 2022.

WEST, G. **Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies**. Weidenfeld & Nicolson, 2018. EBook Kindle.

RASHID, M. **The Geometry of Urban Layouts**. A Global Comparative Study. Springer, 2017. Ebook.

SABBATO, A. D. **Módulo e agricultura familiar: Proposta de Metodologia para Cálculo do Módulo Fiscal Municipal**. Projeto de Cooperação Técnica INCRA/FAO/UTF/BRA/051/BRA, 1999.

SCHNEIDER, S.; CASSOL, A. Diversidade e heterogeneidade da agricultura familiar no Brasil e algumas implicações para políticas públicas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 31, n. 2, p. 227-263, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2014.v31.20857>

TEODORO, L. T. C.; UBERTI, M. S.; ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P. Avaliação em massa de imóveis rurais através da regressão clássica e da geoestatística. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 2, p. 459-485, 2019. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/47458>. DOI: 10.14393/rbcv71n2-47458. Acesso em: 26 jun. 2020.

TORUN, A. Hierarchical Blockchain Architecture For Relaxed Hegemony On Cadastre Data Management And Update: A Case Study For Turkey. *In: UCTEA International Geography*

Information Systems Congress, 2017, Adana, Turkey, p. 1-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321485252_Hierarchical_Blockchain_Architecture_for_a_Relaxed_Hegemony_on_Cadastre_Data_Management_and_Update_A_Case_Study_for_Turkey. Acesso em: 13 ago. 2021.

VILCHES-BLÁZQUES, L. M.; SAAVEDRA, J. A graph-based representation of knowledge for managing land administration data from distributed agencies – A case study of Colombia. **Geospatial Information Science**, p. 1-19, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epub/10.1080/10095020.2021.2015250?needAccess=true>. Acesso em: 4 jan. 2022.

WICKHAM, H.; AVERICK, M.; BRYAN, J.; CHANG, W.; MCGOWAN, L. A.; FRANÇOIS, R.; GROLEMUND, G.; HAYES A.; HENRY, L.; HESTER, J.; KUHN, M.; PEDERSEN, T. L.; MILLER, E.; BACHE, S. M.; MÜLLER, K.; OOMS, J.; ROBINSON, D.; SEIDEL, D. P.; SPINU, V.; TAKAHASHI, K.; VAUGHAN, D.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.. Welcome to the tidyverse. **The Journal of Open Source Software**, v.4, n. 43, 1686, p. 01-06, 2019. Disponível em: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.01686>. Acesso em: 5 jan. 2022.

WICKHAM, H.; GROLEMUND, G. **R for Data Science** — Import, Tidy, Transform, Visualize and Model Data. O’Reilly, 2017.

CAPÍTULO

VI. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma abordagem inovadora acerca dos trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais, por meio de modelagem matemática, ciência de dados e análise de rede para construir uma perspectiva diferente das possibilidades de aplicação da Lei 10.267/2001; principalmente para os imóveis rurais com área abaixo de 4 MF (pertencentes à agricultura familiar), que são isentos de custos financeiros relativos aos serviços de georreferenciamento. Foram usados dados do SNCR e do SIGEF, estes obtidos diretamente do Acervo Fundiário do Incra.

No capítulo 2, foi realizado o diagnóstico da Lei 10.267/01, com base em seus artigos e parágrafos — no período de 2013 a 2020, a respeito da atuação dos profissionais credenciados e da influência dos municípios visitados, por meio da análise de rede e agrupamento (cluster). Chegou-se à conclusão que existe deficiência na aplicação da referida lei (dentro deste período), pois menos de 10% dos imóveis (em termos de número de imóveis) foram georreferenciados.

O capítulo 3 mostrou que é possível modelar uma função matemática para estimar o número de profissionais credenciados, necessários para atuar em uma determinada região, por meio da análise de rede e regressão para dados de contagem e utilizando modelos Poisson e Poisson-Gama — para 1 e 3 anos, com dois recortes temporais, 2017 e 2017-2020, para todo o Brasil. Dessa forma, foi possível estimar o número de 190 profissionais para realizar o georreferenciamento de todos os imóveis da agricultura familiar (≤ 4 MF) do estado do Paraná, em 3 anos. Propõe-se, como sugestão, a criação de 10 grades territoriais para a alocação da mão de obra (distribuição dos profissionais credenciados) e reorganização dos trabalhos de campo.

O capítulo 4 focou na dinâmica territorial do estado do Paraná, com base, novamente, nos imóveis rurais abaixo de 4 MF, mas fatiando a distribuição dos imóveis, camada por camada (entre 1 e 4 MF). O resultado mostrou que a maioria dos imóveis estão na camada de 1 MF, portanto, classificados, teoricamente, como minifúndios. A soma de todas as camadas mostra um padrão espacial diferente do macrozoneamento atual, conhecido como Zonas Típicas de Módulo (ZTM), o que indica que novas iniciativas de cadastrar e diferenciar os imóveis rurais do estado do Paraná podem ampliar as possibilidades de classificação-utilização dos imóveis no estado, onde a fronteira urbana entrelaçou com a fronteira agrícola e criou a perspectiva para uma revisão generalizada dos MF de todos os municípios brasileiros.

O capítulo 5 discutiu, novamente, a questão da classificação das propriedades familiares no estado do Paraná, e apresentou uma nova forma de cálculo para os Módulos Rural (MR) e Fiscal (MF), com base na lei de escala e geometria fractal. No caso de Curitiba e Centenário do

Sul, foi considerado como positiva a indicação do aumento no tamanho dos MF. Entretanto, no caso de Cascavel, embora o impacto, aparentemente, seja negativo, o estudo mostra que uma redução de 8,7% no número de imóveis corresponde a uma redução de 24,5% na área das propriedades familiares do município, indicando que existe concentração de área/terra em poucos imóveis.

Os resultados observados demonstram que, realmente, existem desajustes na aplicação/implementação das políticas da Lei 10.267/2001, o que provoca impactos negativos na distribuição dos profissionais credenciados, e, principalmente, criam incertezas na quantidade de imóveis, abaixo de 4 MF, que, de fato, estão isentos dos custos financeiros referentes aos serviços de georreferenciamento. Isso se deve à falta de uma Revisão Geral de Cadastro (RGC) que possa melhorar o entendimento acerca das pequenas propriedades e dos imóveis da agricultura familiar. Dessa forma, embora os processos fundiários analisados sejam dinâmicos, com base nos padrões encontrados, provavelmente, não haverá avanço na política de georreferenciamento nos próximos anos; a não ser que sejam realizados ajustes na política fundiária, que se arrasta desde 2001.

Assim, este trabalho contribui para indicar possibilidades de aprimoramento. O cadastro de imóveis, embora seja uma área muito antiga, atualmente, encontra, nas novas tecnologias como blockchain, uma excelente fronteira de aprimoramento, que pode ser aproveitada para consolidar o desenvolvimento territorial brasileiro. Além disso, existem numerosas possibilidades para o avanço da cultura cadastral brasileira, passando pelo aperfeiçoamento do georreferenciamento dos imóveis rurais, a inclusão dos imóveis urbanos e a ampliação das perspectivas ambientais e multifinalitárias. No caso específico da blockchain, blocos de informação podem ser criados com regularidade, com publicações diárias ou mensais, por exemplo, o que agrega, aos estudos cadastrais (com maior facilidade), a possibilidade do elemento temporal, que compõe a dinâmica territorial, considerando as mudanças espaço-tempo-territoriais.

No caso específico desta pesquisa, a rede gerada por estado, por exemplo, no capítulo 3, pode ser transformada em polinômio, e criar, assim, a possibilidade de modelar o número ótimo de profissionais que deve compor cada rede. Além disso, o modelo proposto, baseado em regressão para dados de contagem, pode ser comparado com outros modelos de aprendizagem de máquina, como Radial Based Function (RBF), por exemplo. Finalmente, toda a fronteira da ciência de dados está aberta para os estudos cadastrais, seja testando novos métodos de agrupamento, de regressão etc., ou simplesmente usando, adequadamente, o pensamento analítico para a tomada de decisão.