



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM
ÁREA DO BIOMA CAATINGA**

Ana Catarina das Neves Alves

INPE
São José dos Campos
2023



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM
ÁREA DO BIOMA CAATINGA**

Ana Catarina das Neves Alves

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr.
Gustavo Felipe Balué Arcoverde e
Me. Jocilene Dantas Barros.

INPE
São José dos Campos
2023

RESUMO

A Caatinga é um bioma brasileiro caracterizado pelo clima semiárido e vegetação adaptada à escassez de água. A degradação da terra tornou-se um desafio significativo nesta região, prejudicando a subsistência da população e impactando os ecossistemas. O objetivo geral é analisar espacialmente a degradação da terra em áreas de pastagem e sua relação com o uso e cobertura da terra e pressões antrópicas indiretas. A metodologia foi baseada na comparação de dados secundários e interpretação de paisagens por meio de fotografias, com dados de carbono orgânico e nitrogênio de solos coletados em áreas degradadas e não degradadas em municípios da região de Petrolina/PE e Queimadas/PB. Também foram elaborados mapas e feitos cálculos de média e teste t entre as variáveis. Os resultados mostram as avaliações feitas pelo cruzamento de dados entre os aspectos selecionados e valores de Carbono Orgânico (CO), Nitrogênio (N) e Proporção CO/N para a região de Queimadas/PB e o Uso e cobertura da região de Petrolina. Com relação às categorias para a região de Queimadas, os valores de CO e N do aspecto “Classes” foram maiores para “Vegetação arbustiva/arbórea” e “Pastagem de uso intensivo/agricultura” e os valores de CO de “Pastagem de uso extensivo” e “Vegetação arbustiva/arbórea” mostraram-se significativamente diferentes pelo teste t. Ao cruzar o “Uso e Cobertura” do Mapbiomas com dados de solo, a categoria “Formação Savânica” apresentando médias mais altas, seguida por “Pastagem”. No aspecto de “Predomínio de espécie” (Sim ou Não), houveram médias significativamente diferentes entre CO e Proporção CO/N. Sobre o “Predomínio de Porte”, a vegetação arbórea apresenta valores mais altos e o teste t mostrou diferença significativa entre “Arbustivo” e “Herbáceo” nos valores de CO e CO/N. No caso de “Presença de herbáceas” (Sim ou Não), a proporção CO/N é maior nas áreas que não têm cobertura vegetal do tipo herbácea e apresentou valores estatisticamente diferentes de CO/N. O aspecto “Vulnerabilidade de solos” agrupa os tipos de solo das regiões em “Unidades de Paisagem Natural Intermediárias” e “Unidades de Paisagem Natural Vulneráveis” e as médias foram maiores no segundo caso. Ao cruzar os aspectos “Pastagens Severamente Degradadas” e “Áreas Fortemente Degradadas” (Sim ou Não) com dados de solo, as amostras que não estavam dentro destas apresentaram maiores valores. O teste t mostrou valores significativamente diferentes para CO no caso de “Pastagens Severamente Degradadas” e N e CO para “Áreas Fortemente Degradadas”. Para a região de Petrolina, ao cruzar o “Uso e Cobertura” do Mapbiomas com dados de solo, as categorias “Pastagem”, “Mosaico de Usos” e “Formação Campestre” tem valores próximos de CO e N e “Formação Savânica” um valor maior de CO. O teste t mostrou que há diferença estatística entre os valores de “Formação Campestre” x “Formação Savânica” e “Formação Campestre” x “Pastagem” na variável Proporção CO/N. Conclui-se que há solos com mais nutrientes para a flora em áreas com vegetação natural do que aqueles com maior grau de presença humana, sobretudo pastagem.

Palavras-chave: Degradação da terra, Caatinga, Carbono Orgânico, Nitrogênio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da região de Queimadas	10
Figura 2 - Mapa de localização da região de Petrolina	11
Figura 3 - Aspecto Classes e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	15
Figura 4 - Aspecto Tipo de Cobertura e valores de Carbono e Nitrogênio	17
Figura 5 - Aspecto Predomínio de Espécie e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	20
Figura 6 - Aspecto Predomínio de Porte e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	22
Figura 7 - Aspecto Predomínio de herbácea e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	24
Figura 8 - Aspecto Vulnerabilidade de Solos e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	26
Figura 9 - Aspecto Uso e Cobertura e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	28
Figura 10 - Aspecto Pontos que cruzam Pastagem Degradada e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	30
Figura 11 - Aspecto Pontos que cruzam Áreas Fortemente Degradadas e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	32
Figura 12 - Aspecto Uso e Cobertura e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio das Classes.	16
Tabela 2 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Tipo de Cobertura.	18
Tabela 3 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio de Predomínio de Espécie.	19
Tabela 4 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Predomínio de Porte.	21
Tabela 5 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio de Presença de Herbácea.	23
Tabela 6 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Tipo de Solo.	25
Tabela 7 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Uso e Cobertura.	27
Tabela 8 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio dos Pontos que cruzam Pastagem Degradada.	29
Tabela 9 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio dos Pontos que cruzam com Áreas Fortemente Degradadas.	31
Tabela 10 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio de Uso e Cobertura.	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Objetivos	5
1.1.1. Objetivo geral	5
1.1.2. Objetivos específicos	6
2. DESENVOLVIMENTO	6
2.1. Revisão Bibliográfica	6
2.1.1. Degradação do solo	6
2.1.2. Nitrogênio e Carbono	7
2.1.3. Bioma e Caatinga	8
2.2. Caracterização da Área	9
2.3. Procedimentos metodológicos	11
2.3.1. Seleção de locais e coleta de solo	11
2.3.2. Espacialização dos dados	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
3.1. Queimadas e região	14
3.2. Petrolina e região	33
4. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga é um dos principais biomas do Brasil, caracterizado por um clima semiárido e uma vegetação adaptada à escassez de água. Nas últimas décadas, a degradação da terra tem se tornado um desafio significativo nesta região, prejudicando a subsistência da população.

A degradação da terra é um processo complexo que envolve a perda de produtividade e a degradação dos recursos naturais, como o solo e a vegetação. As consequências são a perda da fertilidade do solo, abandono de terras, diminuição da qualidade e quantidade da água e perda da biodiversidade, prejudicando a segurança alimentar e hídrica da população (IPBES, 2018).

A análise espacial sobre a degradação da terra na região é importante para entender a complexidade desse fenômeno, já que pode resultar em análises que procuram combater a desertificação (UNCCD, 1994). A análise dos solos pode ser complexa por conta de suas variadas funções, de modo que os indicadores necessários precisam abranger e sintetizar suas características para um melhor resultado descritivo. Destacam-se como elementos para representar a qualidade do solo o Carbono Orgânico e o Nitrogênio (WIESMEIER et al, 2019; DE KLEIN et al, 2017).

A partir de variados estudos, os tomadores de decisão podem adotar estratégias que favoreçam a sustentabilidade, com manejo correto das terras e restauração de áreas degradadas (JUNIOR, 2020). É importante ressaltar que, para sucesso dessa decisão, é preciso desenvolver e aplicar políticas públicas para favorecer o desenvolvimento da população sem prejudicar o meio ambiente (GUILHERMINO et al., 2019).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Analisar espacialmente a degradação da terra em áreas de pastagem e sua relação com o uso e cobertura da terra e pressões antrópicas indiretas.

1.1.2. Objetivos específicos

Analisar espacialmente os dados químicos de solos em áreas de pastagem;

Comparar indicadores socioeconômicos, políticos e ambientais com dados de solo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Revisão Bibliográfica

2.1.1. Degradação do solo

O solo é uma das partes constituintes de um bioma, o que permite a vida terrestre, desde micro até escalas macro. Sua qualidade é essencial para o melhor desenvolvimento da fauna e flora, assim, o uso do solo é de extrema importância e a sua degradação é cada vez mais preocupante. Segundo Gaitán et al. (2018) e Wang e Yan (2017), 65% das áreas áridas são ocupadas por pastagem e até 20% dessas áreas apresentam degradação.

Há bastante divergências sobre os parâmetros para avaliar a qualidade do solo entre os autores, porém a maior parte considera que a qualidade está relacionada ao seu uso, ou seja, à relação homem-natureza ou da biosfera no geral (ARAÚJO et al, 2012).

A degradação do solo é um processo complexo e prejudicial que tem consequência a desestabilização do sistema solo e pode ser causada por vários fatores, como práticas agrícolas inadequadas, desmatamento, pressão urbana, poluição no geral, alterações climáticas e uso intensivo de recursos naturais (LANGE et al., 2019). Esse fenômeno pode se expressar fisicamente com a erosão, salinização, compactação, acidificação e possibilita a contaminação do solo; num aspecto macro, perda da fertilidade do solo, abandono de terras, diminuição da qualidade e quantidade da água e perda da biodiversidade (IPBES, 2018).

As alterações no ecossistemas podem ocorrer de forma suave, com pequenas mudanças, porém contínuas, causando o desequilíbrio ecológico (ANTONGIOVANNI, et al., 2020). A dependência dos recursos naturais disponíveis no local acaba aplicando uma grande pressão, aumentando a desertificação. A desertificação é basicamente a degradação da terra aplicada a locais com clima árido, semiárido ou subúmido seco

(UNCCD, 1994), levando a perda de produtividade do solo e, conseqüentemente, atingindo a segurança alimentar e hídrica para a população (IPBES, 2018).

2.1.2. Nitrogênio e Carbono

Usualmente, os indicadores químicos mais usados para degradação da terra são: acidez do solo, conteúdo de nutrientes (Carbono e Nitrogênio), elementos fitotóxicos, alumínio, entre outros (DROBNIK et al., 2018). O Nitrogênio (N) acaba sendo mais utilizado por ter uma resposta mais rápida e ser mais sensível às mudanças ambientais do que a Matéria Orgânica, demonstrando a qualidade do solo (MATOSO et al., 2012). Além de ser usado pelas plantas, a fração microbiana funciona como um reservatório de N, o que diminui a perda para fora do ecossistema (BARRETO et al., 2008). Já o Carbono é uma parte importante do solo pois também indica com mais precisão as mudanças do solo, porém relacionado a saúde da vegetação (OLIVEIRA FILHO et al., 2019).

Esses indicadores podem ser utilizados para comparar temporalmente a composição química do solo de uma mesma área, como é visto em Carvalho et al., (2015), no qual é usado dados de uma vegetação natural de Mata Atlântica transformada para pasto e, posteriormente, para cultivo de eucalipto; e, como é o caso deste trabalho, comparar espacialmente os teores de Carbono e Nitrogênio de acordo com a área coletada.

A preocupação com o Carbono (C) também é estudada para além da constituição do solo. Caso o solo não apresente bons números de estoque de C, este mesmo está sendo liberado na atmosfera na forma de CO₂ (MAKHALANYANE. et al., 2015). O nitrogênio é dependente do Carbono e vice-versa, pois é essa interação que garante a qualidade e quantidade de C na matéria orgânica (KNICKER, 2011). Por consequência, a falta destes nutrientes impactam negativamente na vegetação e reduzem a eficiência da atividade microbiana no solo (BINGHAM; COTRUFO, 2016). Além desses fatores, as quantidades de C e N - e, conseqüentemente, sua proporção - constituem a matéria orgânica do solo, no qual determina a fertilidade do solo, estrutura do solo e capacidade de retenção da água (PIÑEIRO et al., 2010). No caso do Carbono Orgânico, é importante destacar a atividade enzimática presente no solo, sendo observada em maior

número em solos sem pastagem e Caatinga natural, como comentado em Oliveira et al. (2021).

2.1.3. Bioma e Caatinga

O bioma desempenha um papel fundamental nesta pesquisa, uma vez que é de extrema importância compreender a região em questão. De acordo com o IBGE (2021), um bioma é definido como “uma área na qual o clima, a fisionomia da vegetação, o solo e a altitude apresentam semelhanças”. Coutinho (2016) oferece uma descrição mais detalhada, explicando que um bioma é um espaço geográfico com características semelhantes em termos de macroclima, vegetação ou formação fitofisionômica, fauna e fatores físicos (como altitude e solo); quando reunidos, esses atributos conferem uma ecologia única a cada bioma.

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, localizado na região Nordeste do país, abrangendo partes dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais. É o único bioma exclusivamente brasileiro que ocupa uma área de aproximadamente 844.453 km², correspondendo a cerca de 11% do território nacional (LEAL, 2003).

O bioma citado tem boa parte de sua área suscetível ao processo de degradação da terra (CGEE, 2016). No Brasil, aproximadamente 20% do território apresenta áreas degradadas, com a maior concentração desses locais na região semiárida nordestina. Essa região abrange uma extensão de 1.143.491 km² com diversos graus de suscetibilidade à degradação (BEZERRA et al., 2020). Tavares (2018) mostra a preocupação dos agricultores com a degradação no município de Queimadas (PB), enquanto Pinheiro (2020) expõe as consequências da degradação, como na climatologia do local.

2.1.4. Pastagem

A pastagem é uma área de terra coberta por gramíneas, leguminosas e outras plantas herbáceas, que são cultivadas para alimentar o gado e outros animais de criação (PINHEIRO et al., 2010). Segundo levantado por Oliveira Filho et al. (2019), aproximadamente 65% das terras localizadas no semiárido mundial estão ocupadas por animais e 10 a 20% sofrem com algum grau de degradação.

No Brasil, a técnica utilizada para criação de gado é predominantemente extensiva, ou seja, deixando o gado numa área livre, ocupando 20% da área territorial do país (PARENTE et al., 2019). Quando a produtividade da terra é perdida, há uma procura por outras áreas melhores e o abandono das já utilizadas. Por conta disto, não é feito o manejo correto desses locais e, nem sempre, esse método é eficiente (SANTOS et al., 2022).

O uso da terra pela pastagem se apresenta pelo consumo das plantas presentes - de origem natural ou não -, o pisoteio recorrente do gado e a exploração extensiva da área, além do uso de recursos naturais como água (PARENTE; PARENTE, 2010). Schulz et al (2016) relaciona o uso indiscriminado da terra com a diminuição de estoque de Carbono Orgânico, pois afeta os sistemas de sequestros de Carbono, como comentado anteriormente.

No trabalho de Derner et al (2006), é possível relacionar que a presença de gado nos locais para pastagem altera a abundância de espécies disponíveis, provavelmente pelo pisoteio frequente dos animais presentes.

As tendências observadas nos efeitos do pastejo nos estoques de Carbono orgânico do solo (SOC) geralmente incluem um aumento no teor de raízes em locais de pastejo em condições extremamente secas ou úmidas, mas uma redução no teor de raízes em locais com precipitação intermediária (aproximadamente 400-850 mm); e (2) um aumento na densidade aparente do solo em locais com atividade de pastoreio (PIÑEIRO et al., 2010).

A recuperação de áreas com pastagem sugerem cessão dessas atividades por pelo menos 60 anos para a recuperação natural com qualidade parecida com paisagens inalteradas (DE ARAUJO FILHO et al, 2018). Para Antongiovanni et al (2020) o uso destas áreas também altera a Caatinga e precisa ser discutido seu planejamento, manejo correto e reforçar o monitoramento na região.

2.2. Caracterização da Área

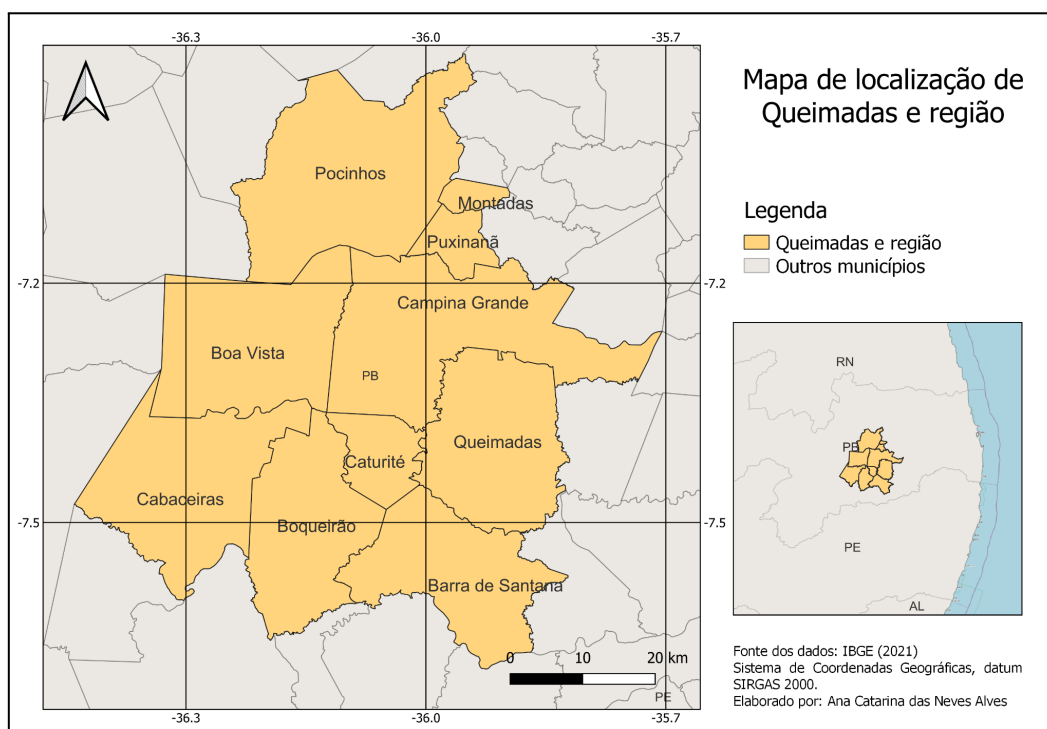
A área de estudo está totalmente inserida no semiárido brasileiro e no bioma Caatinga, que lida com secas frequentes e vem sofrendo severa degradação, principalmente pela superexploração de recursos (ANTONGIOVANNI et al., 2020).

Para contornar estas situações, políticas públicas incentivaram a construção de açudes, a perfuração de poços artesianos, a dessalinização com aproveitamento da água salobra, entre outros (ZANELLA, 2014).

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro e é caracterizado por um clima semiárido, com altas temperaturas e baixos índices pluviométricos. É encontrado principalmente na região nordeste do Brasil, ocupando cerca de 11% do território nacional. A vegetação presente na Caatinga apresenta plantas de pequeno a médio porte com grande adaptação a escassez de chuvas, sendo esses cactos, bromélias, xerófitas e árvores com folhas caducas. Geralmente as espécies exibem uma morfologia tortuosa com galhos grossos (COUTINHO, 2016).

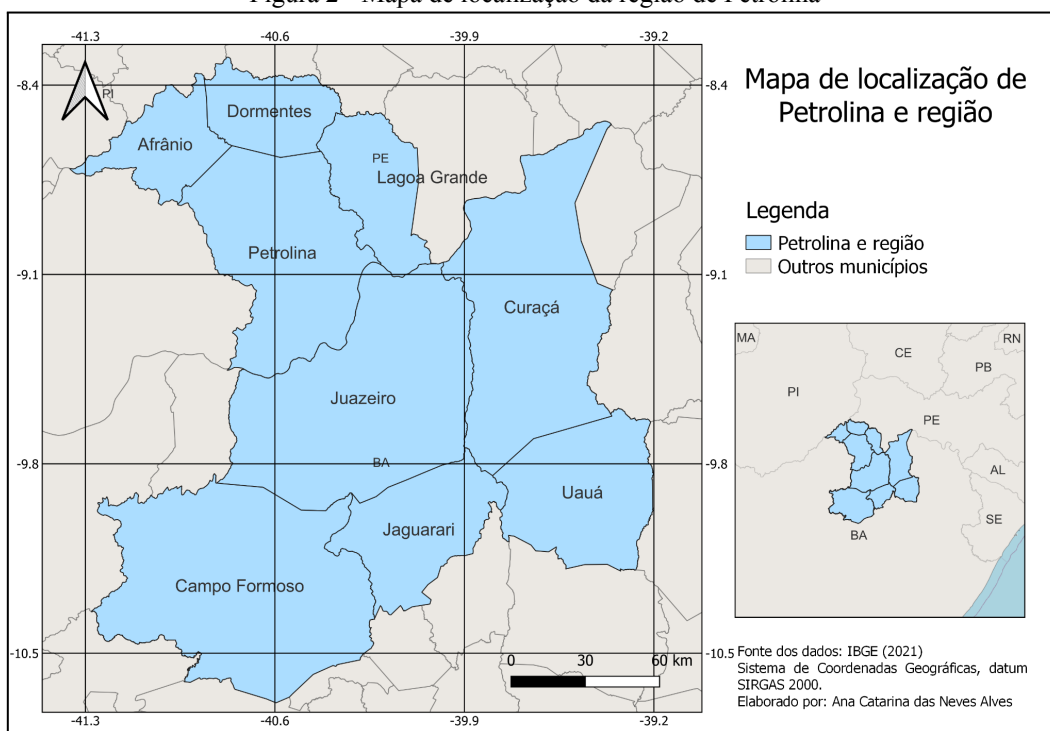
Este trabalho buscou estudar duas áreas da Caatinga, com foco em dois municípios principais e seus adjacentes. Os municípios de Queimadas e região (Figura 1) foram: Queimadas, Campina Grande, Boa Vista, Puxinanã, Caturité, Cabaceiras, Montadas, Boqueirão, Barra de Santana e Pocinhos. No caso de Petrolina (Figura 2): Petrolina, Afrânio, Lagoa Grande, Juazeiro, Curaçá, Uauá, Campo Formosos, Jaguarari e Domênico. Abaixo há mapas de localização para cada região.

Figura 1 - Mapa de localização da região de Queimadas



Fonte: elaboração própria.

Figura 2 - Mapa de localização da região de Petrolina



Fonte: elaboração própria.

As regiões de Petrolina e Queimadas localizam-se na região semiárida brasileira e no bioma Caatinga, em áreas suscetíveis ao processo de desertificação (CGEE, 2016). Elas também possuem municípios de grande importância socioeconômica para as suas regiões, sendo Petrolina a terceira cidade mais populosa de Pernambuco, e Campina Grande, na região de Queimadas, a segunda cidade mais populosa da Paraíba (IBGE, 2022). Estes mesmos municípios também são objetos de pesquisas vinculadas ao projeto de pesquisa NEXUS do INPE (NEXUS CCST, 2017).

2.3. Procedimentos metodológicos

2.3.1. Seleção de locais e coleta de solo

O trabalho visa analisar dados de Carbono Orgânico e Nitrogênio coletados na área de estudo por pesquisadores do Projeto NEXUS do INPE, comparando com aspectos de uso da terra, interpretação de paisagens e dados secundários.

Cada coleta foi acompanhada por fotos do local para futura caracterização e descrição da fisionomia da vegetação, bem como presença de animais e uso da terra,

além da sobreposição dos pontos de coletas com fontes de dados secundárias (Quadro 1). No quadro abaixo há a descrição de todos os aspectos analisados a partir das fotos. Vale ressaltar que a análise da Presença de fezes, Presença de cactos e Presença de macambira/caruá só foi possível em Petrolina (Quadro 1), pois na região de Queimadas não houveram anotações e registros fotográficos suficientes para interpretação destes aspectos.

Quadro 1. Aspectos de uso da terra e paisagem observados a partir das fotografias.

Aspecto	Descrição	Opções	Referência
Tipo de cobertura	Tipos de uso e cobertura identificados em campo e por interpretação da paisagem por meio de fotografias	Agricultura, Caatinga Aberta, Caatinga Fechada, Pastagem e agricultura, Pastagem Natural, Pastagem Plantada, Solo Exposto	Pesquisa de campo
Classes	Agrupamento dos tipos de uso e cobertura por tipo de uso da pastagem e vegetação natural	Pastagem de uso extensivo, Pastagem de uso intensivo/agricultura, Vegetação arbustiva/arbórea	Pesquisa de campo
Presença de fezes	Indica a presença animal indireta	Sim ou Não	Pesquisa de campo
Presença de cactos	Indica presença de cactos	Sim + nome popular do cacto ou Não	Pesquisa de campo
Presença de macambira/caruá	Indica presença de macambira ou caruá	Sim + nome popular da planta em questão ou Não	Pesquisa de campo
Predomínio de espécie	Aponta ou não um predomínio de uma espécie (até 3) na área	Sim + nome popular da planta em questão ou Não	Pesquisa de campo
Predomínio de porte	Aponta ou não um predomínio de uma espécie (até 3) na área	Herbáceo, Subarbustivo, Arbustivo e Arbóreo	Pesquisa de campo
Presença de herbáceas	Expressa se há uma camada de herbáceas	Sim ou Não	Pesquisa de campo

	que recobrem o solo, com função de proteção		
Vulnerabilidade de Solos	Classificação dos Solos conforme IBGE	Argissolo Vermelho, Luvisolo Crômico, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico, Planossolo Háptico, Planossolo Nátrico, Vertissolo Háptico	Crepani et al., (2001)
Uso e Cobertura	Dados secundários de uso e cobertura da terra	Classes de uso e cobertura da terra de cada região	MapBiomas - coleção 7.1 (2021)
Pastagens Severamente Degradadas	Classificação da qualidade das pastagens	Sim ou Não	LAPIG (2018)
Áreas Fortemente Degradadas	Classificação de áreas fortemente degradadas	Sim ou Não	CGEE (2016)

Fonte: elaboração própria.

Sobre o aspecto “Classes”, este agrupamento foi realizado a partir dos tipos de uso e cobertura da terra. A pastagem de uso intensivo/agricultura envolve o uso agrícola e o uso para pastagem de animais com manejo frequente, por exemplo, o adubação periódica, nessa classe predominam as plantas de porte herbáceo e arbustivo (no caso da agricultura). A pastagem de uso extensivo envolve áreas de uso para pastagem de animais com manejo pouco frequente ou que estão abandonadas, nessa classe predominam as plantas de porte herbáceo e arbustivo. A vegetação arbustiva/arbórea envolve a vegetação da Caatinga, do tipo aberta ou fechada, podendo haver pastagem de animais, nessa classe predominam as plantas de porte arbustivo e arbóreo.

2.3.2. Espacialização dos dados

Com todos os dados organizados, houve confecções de mapas para análise visual, possibilitando uma inferência. Inicialmente, as avaliações basearam-se no cruzamento de informações retiradas das fotos com os resultados das análises químicas do solo, aproximando todos os pontos para entender as relações entre os determinados grupos de informações.

2.3.3. Teste estatístico

Foram realizados testes-t para avaliar se as médias de Carbono orgânico, nitrogênio e proporção de C/N são significativamente diferentes ou não. Utilizou-se o modo bicaudal e o tipo amostras independentes. O nível de confiabilidade estabelecido foi de 90%, considerando a pouca quantidade de amostras. No caso da região de Queimadas, foram avaliadas as categorias Classes, Tipo de Cobertura, Predomínio de espécie, Predomínio de porte, Presença de herbáceas, Vulnerabilidade de Solos, Uso e Cobertura, Amostras que estão dentro ou fora de Pastagens Severamente Degradadas (LAPIG) e Amostras que estão dentro ou fora de Áreas Fortemente Degradadas (CGEE). Para a região de Petrolina até o momento foi analisado o Uso e Cobertura, mas pretende-se fazer as mesmas análises posteriormente.

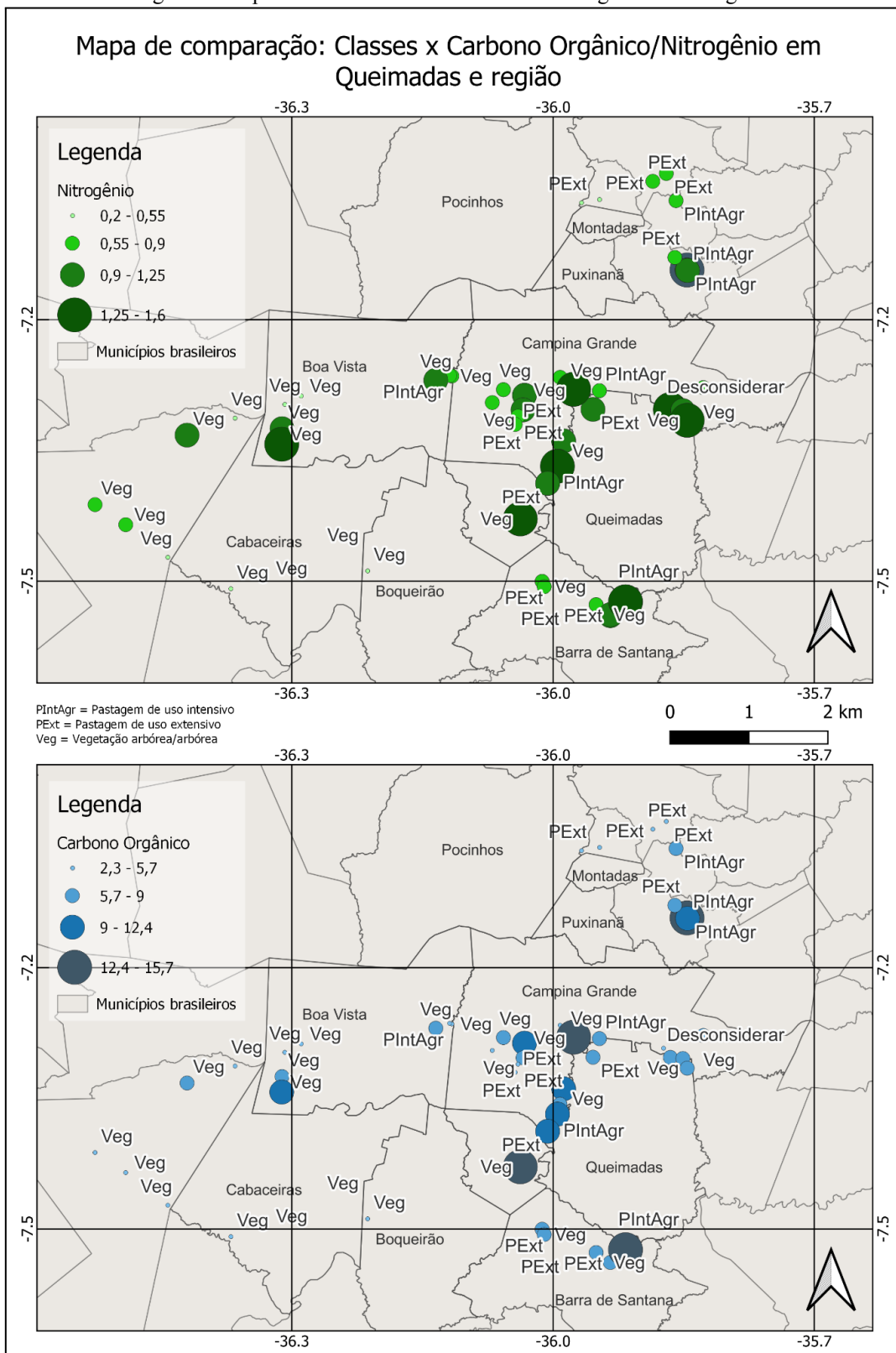
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Queimadas e região

De acordo com as análises para a região de Queimadas, é possível verificar algumas relações que se destacam mais, indicando uma provável relação com a degradação.

A Figura 3 mostra a distribuição dos valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio na região de Queimadas para o aspecto Classes. O teste-t entre as Classes mostrou que a diferença entre as médias é significativa entre Pastagem de uso extensivo x Pastagem de uso intensivo/agricultura para Carbono Orgânico e Nitrogênio, não há para CO/N; Pastagem de uso extensivo x Vegetação arbustiva/arbórea teve médias significativamente diferentes apenas para Carbono; no caso de Pastagem de uso intensivo/agricultura x Vegetação arbustiva/arbórea não há diferença significativa entre as médias em nenhum dos parâmetros colocados.

Figura 3 - Aspecto Classes e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

Neste caso, é possível verificar que há uma relação entre “Vegetação arbustiva/arbórea” e “Pastagem de uso intensivo/agricultura” com altos níveis de Carbono Orgânico e Nitrogênio. Isso pode indicar que as áreas rotuladas com Veg estão com menos interferência humana; por outro lado, por se tratar de uma área economicamente ativa, os cuidados com fertilizantes nas áreas de PIntAgr são maiores, o que sugere maiores valores dos componentes químicos analisados.

Considerando a média dos valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio, observou-se que as classes Pastagem de uso intensivo/agricultura e Vegetação arbustiva/arbórea possuem valores próximos, enquanto a Pastagem de uso extensivo tem um valor menor em relação às demais. Porém, em relação à proporção, acaba sendo mais benéfico para a vegetação a relação apontada em “Vegetação arbustiva”, conforme tabela 1:

Tabela 1 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio das Classes.

Classes	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Pastagem de uso extensivo	5,49	0,73	7,52
Pastagem de uso intensivo/agricultura	7,29	0,98	7,43
Vegetação arbustiva/arbórea	7,22	0,91	7,93

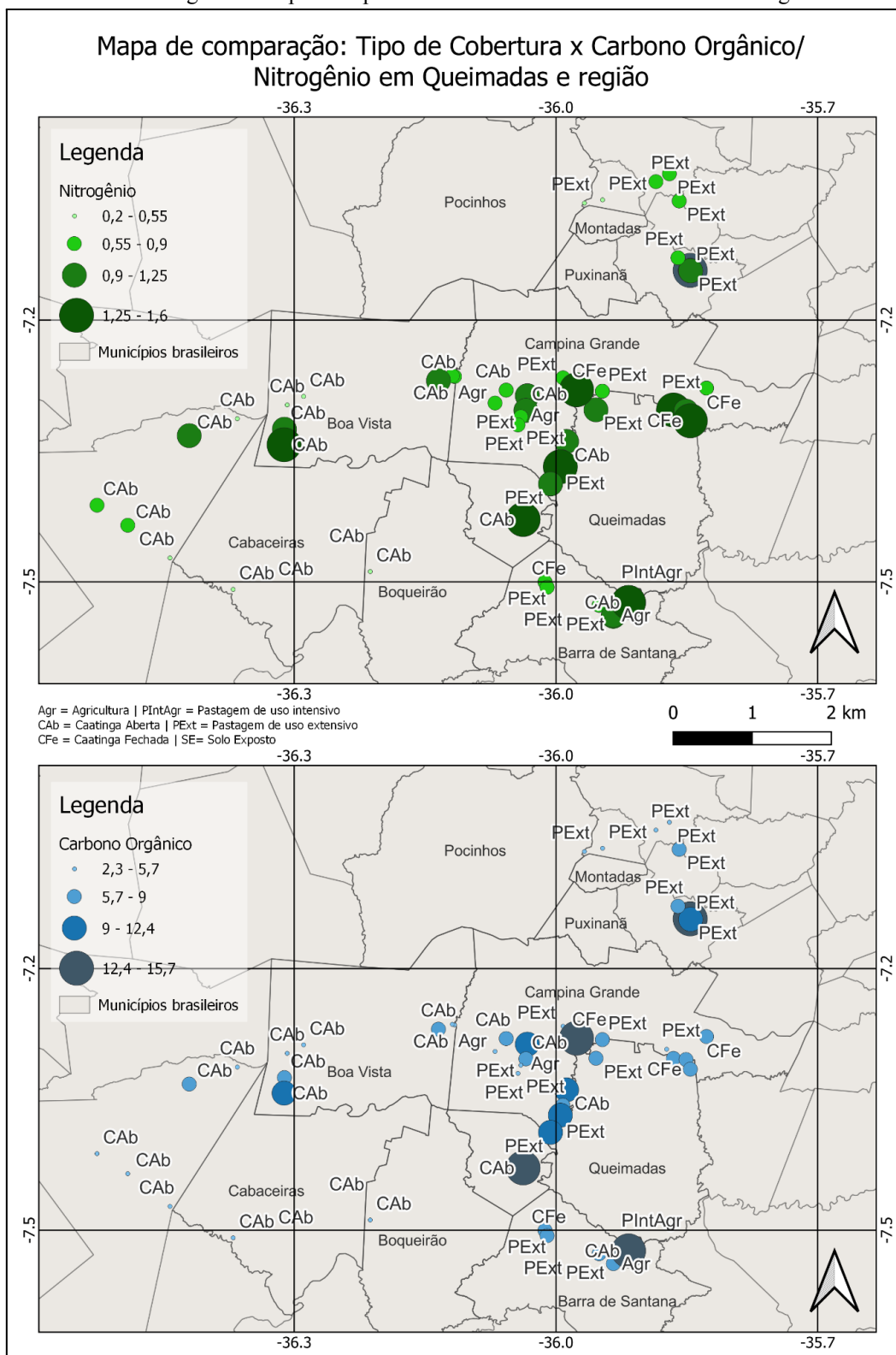
Fonte: elaboração própria.

De acordo com Carvalho et al. (2015), a pastagem extensiva tem grande colaboração para compactação do solo e, conseqüentemente, perda de nutrientes e microrganismos presentes no local. Isto é provocado a partir do pisoteio dos animais que desorganiza a estrutura da biota na área. Este fenômeno pode explicar os valores mais baixos de Carbono Orgânico da Pastagem de uso extensivo.

O aspecto “Tipo de Cobertura” abriga com mais detalhe o uso e cobertura do solo daquela região. Engloba as opções “Agricultura” (Agr), “Caatinga Aberta” (CAb), “Caatinga Fechada” (CFe), “Pastagem de uso extensivo” (PExt), “Pastagem de uso

intensivo” (PIntAgr) e “Solo Exposto” (SoloExp). A Figura 4 mostra o Tipo de Cobertura.

Figura 4 - Aspecto Tipo de Cobertura e valores de Carbono e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

É possível verificar com a imagem acima a relação entre as áreas “Caatinga Fechada”, “Pastagem de uso intensivo/agricultura” e alguns pontos de “Caatinga Aberta” com os valores mais altos de Nitrogênio e Carbono. Como antes afirmado, é possível que haja uma regeneração nas áreas que não sofrem mais alterações do ser humano ou um uso intensivo de fertilizantes nestas áreas.

As informações da tabela 2 abaixo, trazendo as médias de cada categoria, complementam as afirmações acima. Nota-se um aumento expressivo de Carbono e Nitrogênio em “Caatinga Fechada”, assim como em sua proporção. É importante destacar duas observações: o menor valor de Nitrogênio pertence a “Pastagem de uso extensivo”, quase se igualando em qualidade (Proporção C/N) ao “Solo Exposto”; e, apesar de parecidas as proporções de “Agricultura” “Pastagem de uso intensivo” e “Caatinga Aberta”, são por motivos diferentes, sendo os primeiros pelo homem e este último mantido naturalmente pela biosfera.

Tabela 2 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Tipo de Cobertura.

Tipo de Cobertura	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Agricultura	6,78	0,87	7,73
Caatinga Aberta	6,59	0,84	7,54
Caatinga Fechada	10,03	1,23	8,28
Pastagem de uso extensivo	5,54	0,71	8,38
Pastagem de uso intensivo	7,44	1,02	7,46
Solo Exposto	4,65	1,11	4,22

Fonte: elaboração própria.

Após o teste-t foi possível realizar certas relações entre os tópicos dos aspectos citados. Há diferença estatística entre os valores de proporção C/N para “Agricultura” com “Pastagem de uso extensivo”; “Caatinga Fechada” e “Pastagem de uso extensivo” também são diferentes em Nitrogênio, enquanto “Pastagem de uso extensivo” e “Pastagem de uso intensivo” possuem distinção no Carbono Orgânico e Nitrogênio.

Diante do exposto, é possível verificar que há valores mais altos das áreas de Caatinga Fechada, o que mostra menores intervenções humanas do que a Caatinga Aberta. Os outros valores são menores por conta do uso, principalmente nas áreas de pastejo, que tiram a cobertura vegetal do local, como observado na África do Sul por Kotzé et al. (2013) e na China por Zhou et al. (2010). Schulz et al. (2016) trouxe uma abordagem para a Caatinga, afirmando que o pastejo diminuiu os estoques de Carbono Orgânico e Nitrogênio.

No próximo caso, o aspecto Predomínio de espécie é avaliado, como mostra o mapa abaixo (Figura 5). Aqui podemos observar se há uma relação entre pouca diversidade de espécies e a degradação.

Depois de comparações entre as áreas, é possível observar que nas áreas em que o valor de CO é alto, o N também acompanha essa variação, indicando que há uma certa correlação entre esses dois elementos.

A tabela a seguir mostra as médias dos valores e sua proporção C/N. Observando estes resultados, pode-se perceber um certo equilíbrio pela Proporção C/N entre os dois parâmetros, apesar dos valores dos pontos que possuem áreas com predomínio de espécie serem um pouco mais baixas.

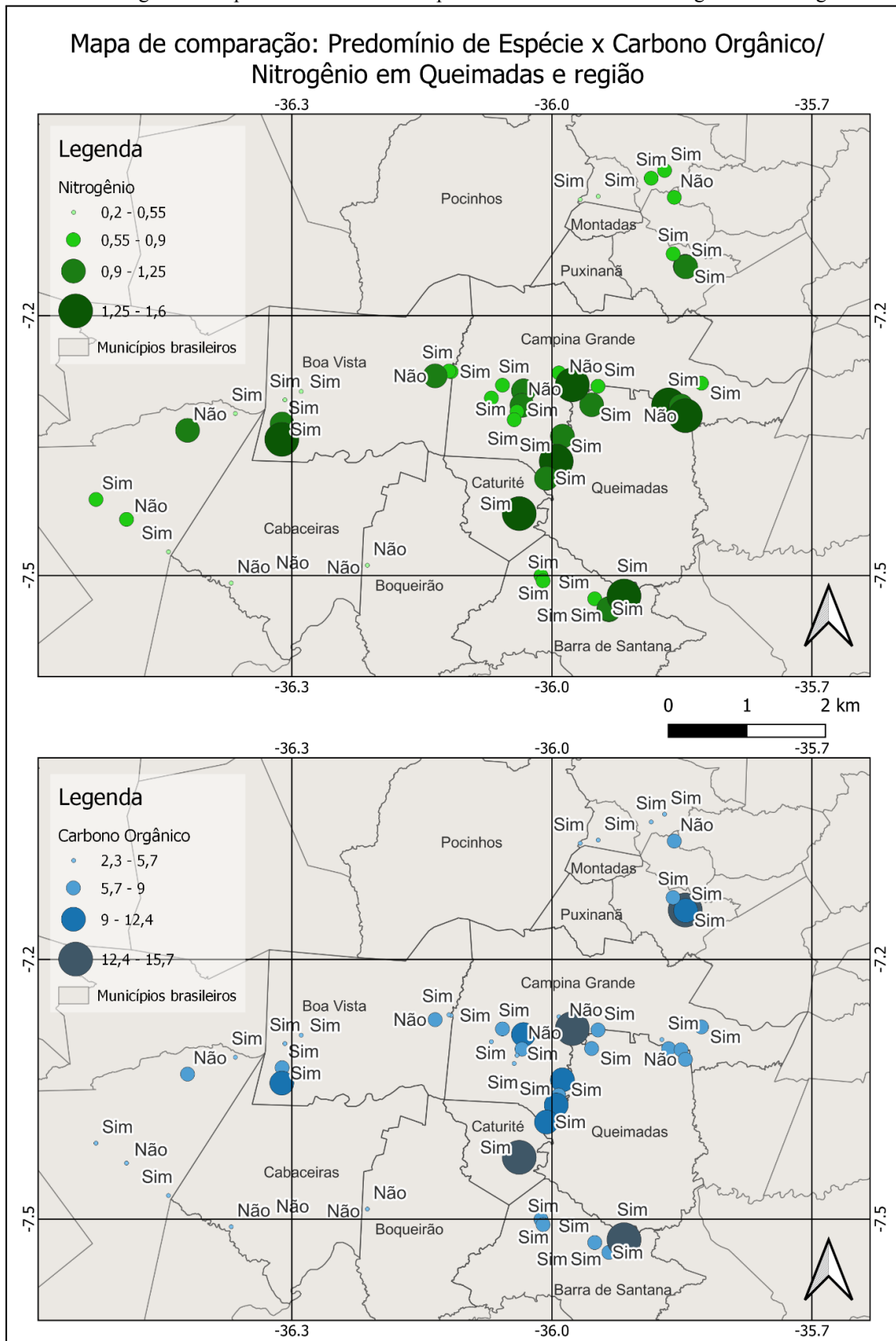
Tabela 3 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio de Predomínio de Espécie.

Predomínio de espécie	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Sim	6,42	0,85	7,74
Não	7,66	0,95	7,88

Fonte: elaboração própria.

Os testes-t indicam uma similaridade entre os valores de Nitrogênio, porém as médias são significativamente diferentes entre Carbono Orgânico e Proporção C/N.

Figura 5 - Aspecto Predomínio de Espécie e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

O aspecto discutido a seguir é o Predomínio de porte. O propósito desta análise é verificar se há alguma relação entre o tamanho da vegetação e a disponibilidade dos elementos considerados. Abaixo há um mapa para visualização espacial dos dados.

Após observações visuais (Figura 6), o Porte acaba variando bastante. Tanto áreas com vegetação herbácea, arbustiva e arbórea possuem valores altos ou baixos de C e N.

Assim, foi feita uma média entre os valores para observar mais a fundo sua distribuição. Com isso, foi possível verificar que os valores da classe “Herbáceo” e “Arbustivo” são parecidos e um pouco baixos se comparados ao “Arbóreo”. Aqui talvez haja uma grande deposição de matéria orgânica no solo.

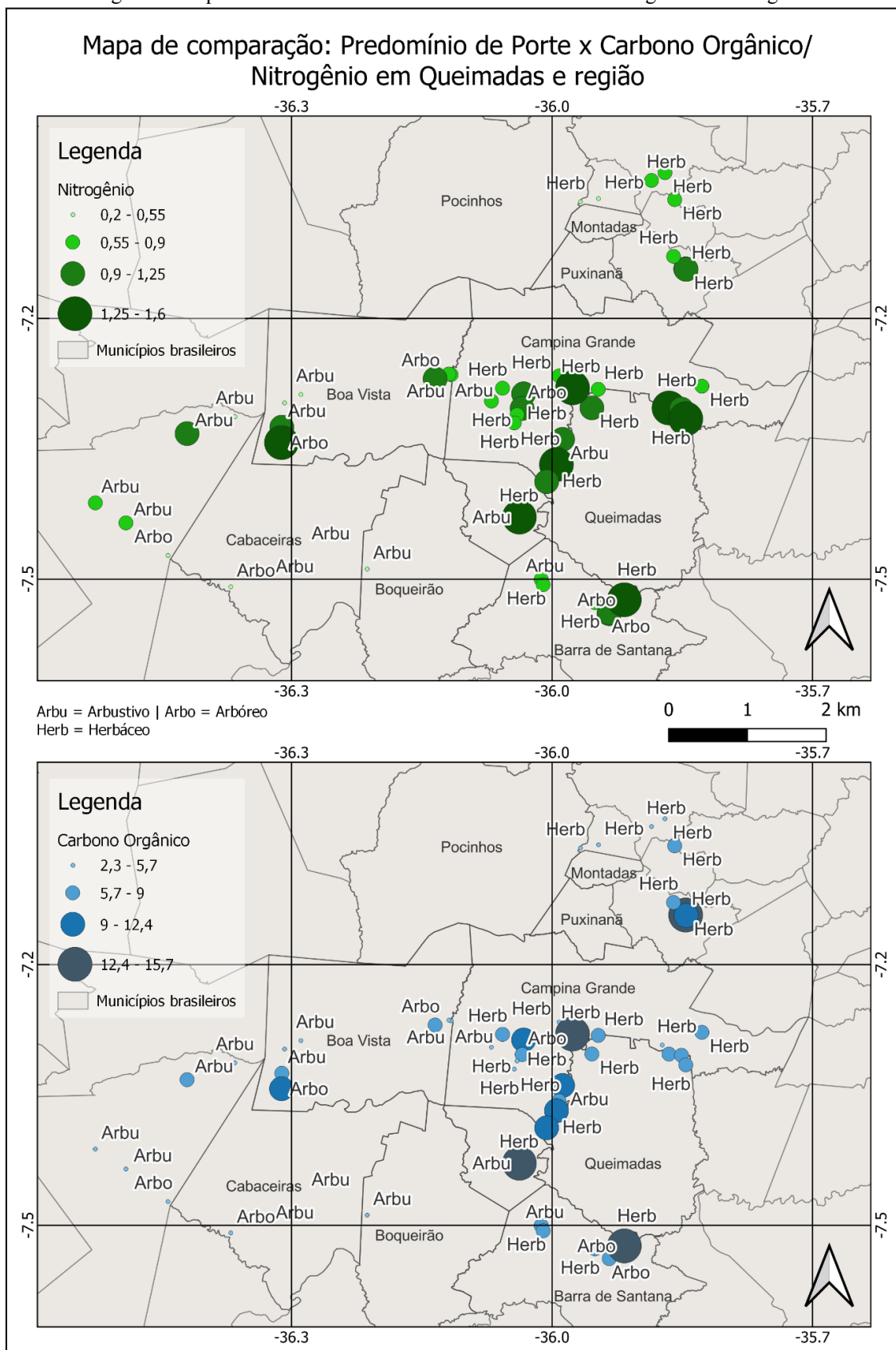
Tabela 4 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Predomínio de Porte.

Predomínio de porte	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Herbáceo	6,31	0,86	7,80
Arbustivo	6,36	0,82	7,47
Arbóreo	8,40	0,98	8,18

Fonte: elaboração própria.

Por fim, os testes-t mostraram diferença significativa entre "Arbustivo" e “Herbáceo” nos valores de C Orgânico e C/N, e não para N. As outras comparações não citadas não obtiveram significância.

Figura 6 - Aspecto Predomínio de Porte e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

O aspecto “Presença de herbáceas” aborda a predominância de plantas do tipo herbáceo recobrando o solo ou não, para verificar se a proteção do solo está sendo efetiva para manter os valores de CO e N mais elevados. Assim, na Figura 7 temos o mapa representando a distribuição espacial dos dados coletados.

Neste caso, a “Presença de herbácea” aparentou estar relacionada tanto a baixa quanto a alta quantidade de Carbono Orgânico e Nitrogênio.

Como nos casos anteriores, a tabela 5 a seguir exhibe as médias dos valores calculados. Nota-se que, surpreendentemente, a proporção C/N é maior nas áreas que não tem cobertura vegetal do tipo herbácea.

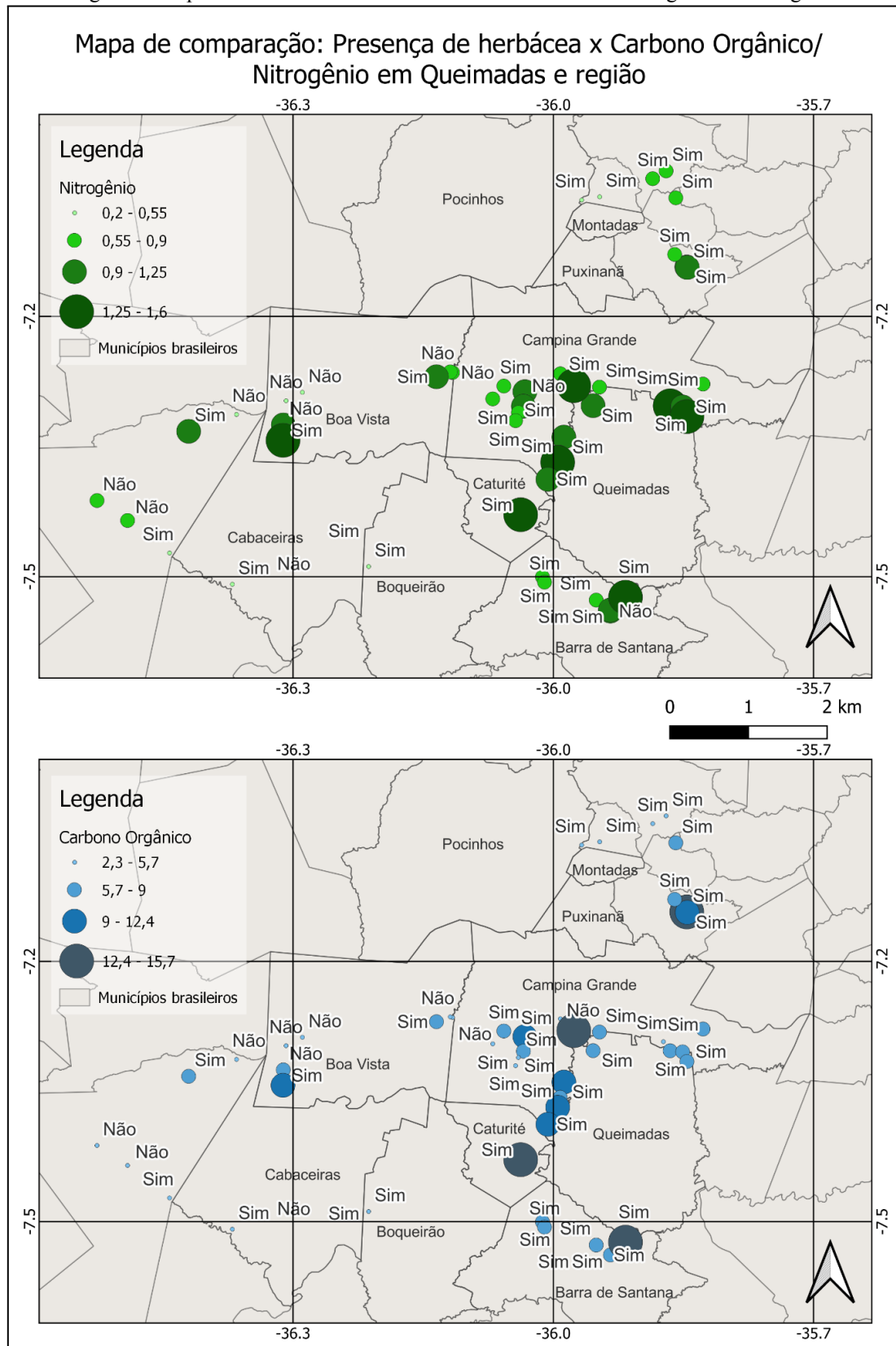
Tabela 5 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio de Presença de Herbácea.

Presença de herbácea	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Sim	6,66	0,9	8,22
Não	6,8	0,79	9,22

Fonte: elaboração própria.

Da mesma forma, o teste-t apontou diferença significativa entre “Proporção C/N” para presença ou não de herbáceas, enquanto outros resultados são similares estatisticamente.

Figura 7 - Aspecto Predomínio de herbácea e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

Abaixo é possível ver o mapa (Figura 8) com aspecto Vulnerabilidade do Solo, que indica as classes de vulnerabilidade natural à perda de solo conforme Crepani et al. (2001), agrupando o solo em três níveis de vulnerabilidade: 1- Unidades De Paisagem Natural Estáveis, 2 - Unidades De Paisagem Natural Intermediárias e 3 - Unidades De Paisagem Natural Vulneráveis. No mapa é possível identificar apenas 2 dessas categorias, sendo essas a 2 e 3.

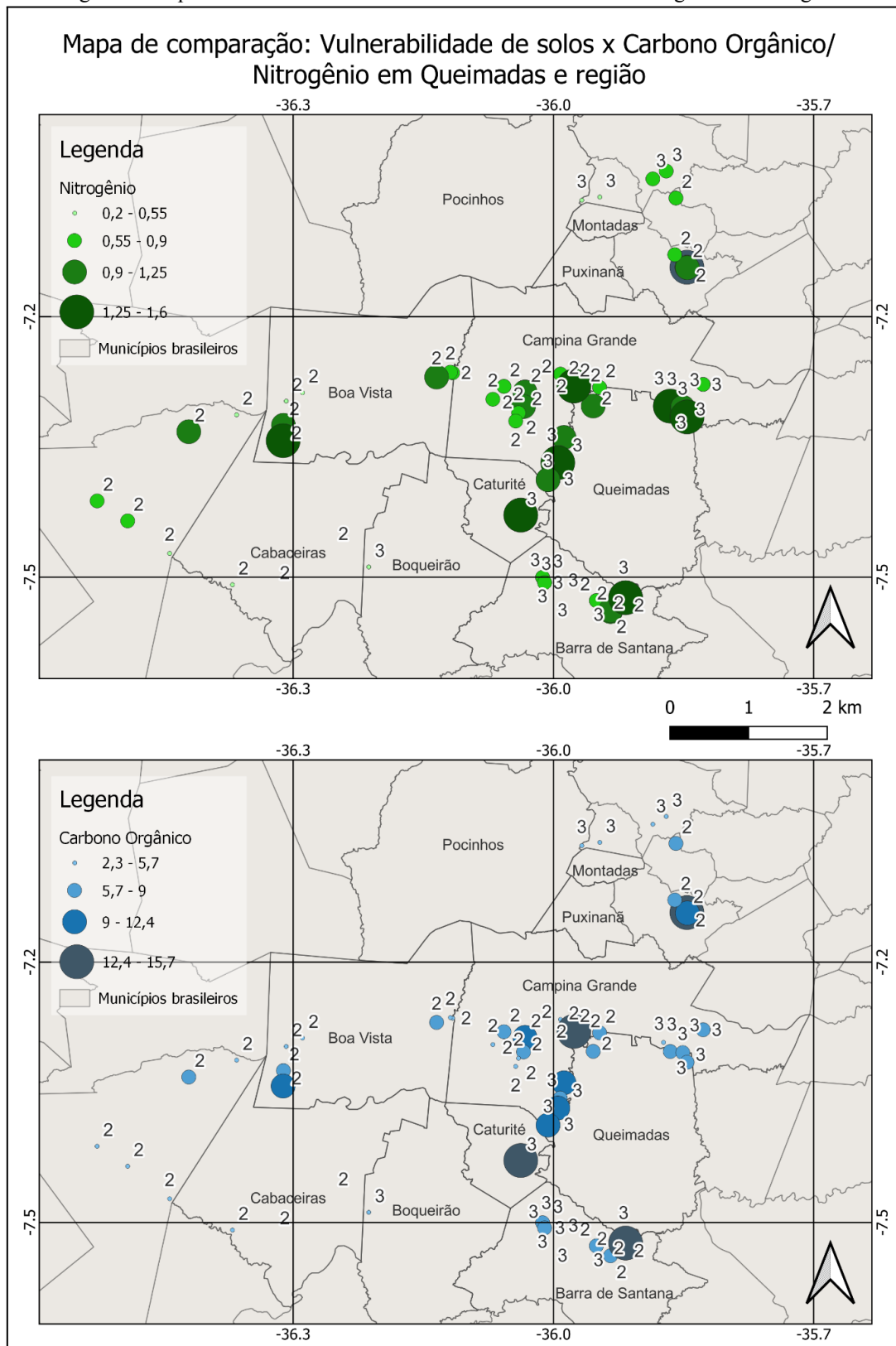
A tabela 6 exhibe as médias de cada variável estudada, verifica-se que as médias da classe “Unidades De Paisagem Natural Vulneráveis” são mais altas do que a outra classe exposta. O teste-t não mostrou diferenças estatísticas entre as duas categorias.

Tabela 6 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Tipo de Solo.

Vulnerabilidade de Solos	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Unidades De Paisagem Natural Intermediárias	6,77	0,88	7,51
Unidades De Paisagem Natural Vulneráveis	8,2	1,13	8,31

Fonte: elaboração própria.

Figura 8 - Aspecto Vulnerabilidade de Solos e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Abaixo, na Figura 9, é mostrado o aspecto “Uso e Cobertura”. Neste aspecto é indicado a classificação de acordo com o MapBiomias (2021) de Uso e Cobertura. Neste caso, o “Uso e Cobertura” mostrou uma concentração maior de Formação Savânica com índices altos de Carbono Orgânico, Nitrogênio e Proporção C/N.

Aparentemente, os valores de Pastagem e Áreas Urbanizadas são parecidos, como mostrado na Tabela 7. Por outro lado, a Formação Savânica tem valores ainda maiores, provavelmente indicando uma manutenção de ecossistema mais consistente, seguida por Pastagem. Por fim, os valores da Proporção CO/N de Outras Áreas não Vegetadas não devem ser levados em consideração pois a média de Nitrogênio é muito baixa, o que acaba aumentando os resultados e aparentando um bom solo. Lima e Coelho (2018) constataram que há baixa diversidade de espécie numa área do Ceará em relação a outras fisionomias.

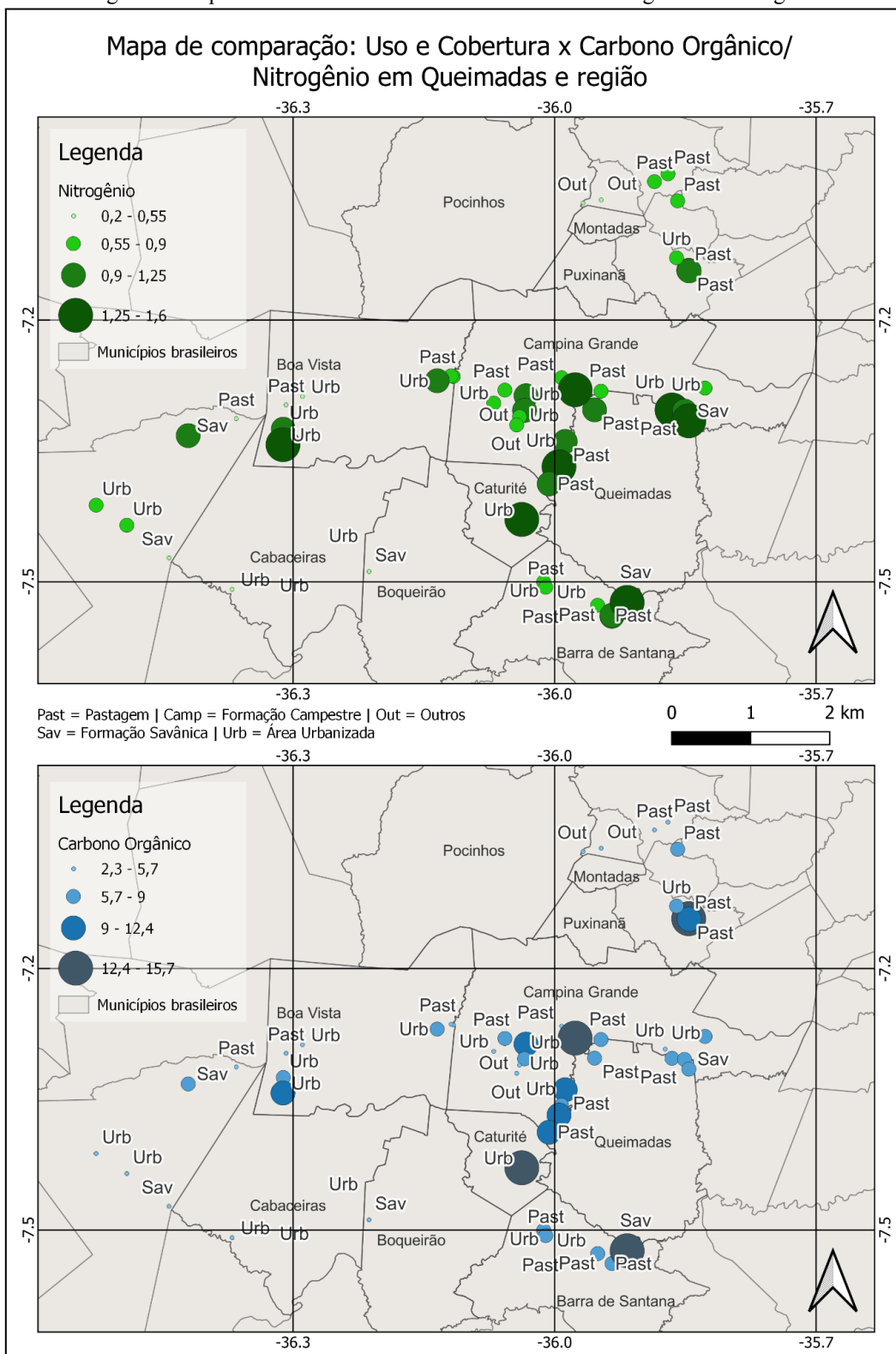
Tabela 7 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio do Uso e Cobertura.

Uso e Cobertura	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Formação Savânica	8,04	0,95	8,63
Pastagem	7,09	0,93	7,56
Áreas Urbanizadas	6,05	0,82	7,49
Outras Áreas não Vegetadas	4,26	0,5	9,45

Fonte: elaboração própria.

Quando realizado o teste-t, é possível verificar diferença estatística entre Outras Áreas não Vegetadas e Pastagem no Carbono Orgânico e Nitrogênio, Áreas Urbanizadas e Outras Áreas Urbanizadas no Nitrogênio e Carbono Orgânico. Os outros resultados não citados possuem relação estatística.

Figura 9 - Aspecto Uso e Cobertura e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

Temos abaixo a Figura 10 com os pontos que cruzam as áreas de Pastagem Degradadas do LAPIG. Esse dado é importante porque as pastagens abrangem uma parte significativa da área, e as pastagens, se não manejadas corretamente, podem contribuir para a degradação do solo (LANGE et al., 2019). No mapa é possível notar que os valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio em relação ao cruzamento de pontos com áreas degradadas não é homogênea, e cada parte degradada ou não pode influenciar o ponto mais próximo positivamente ou negativamente.

A tabela 8 a seguir mostra as médias do aspecto citado, e é possível notar uma grande diferença entre os pontos que não cruzam com as pastagens degradadas com a outra variável, principalmente quando o Carbono Orgânico é destacado. Essa constatação é importante por ajudar a validar o mapeamento de LAPIG (2018).

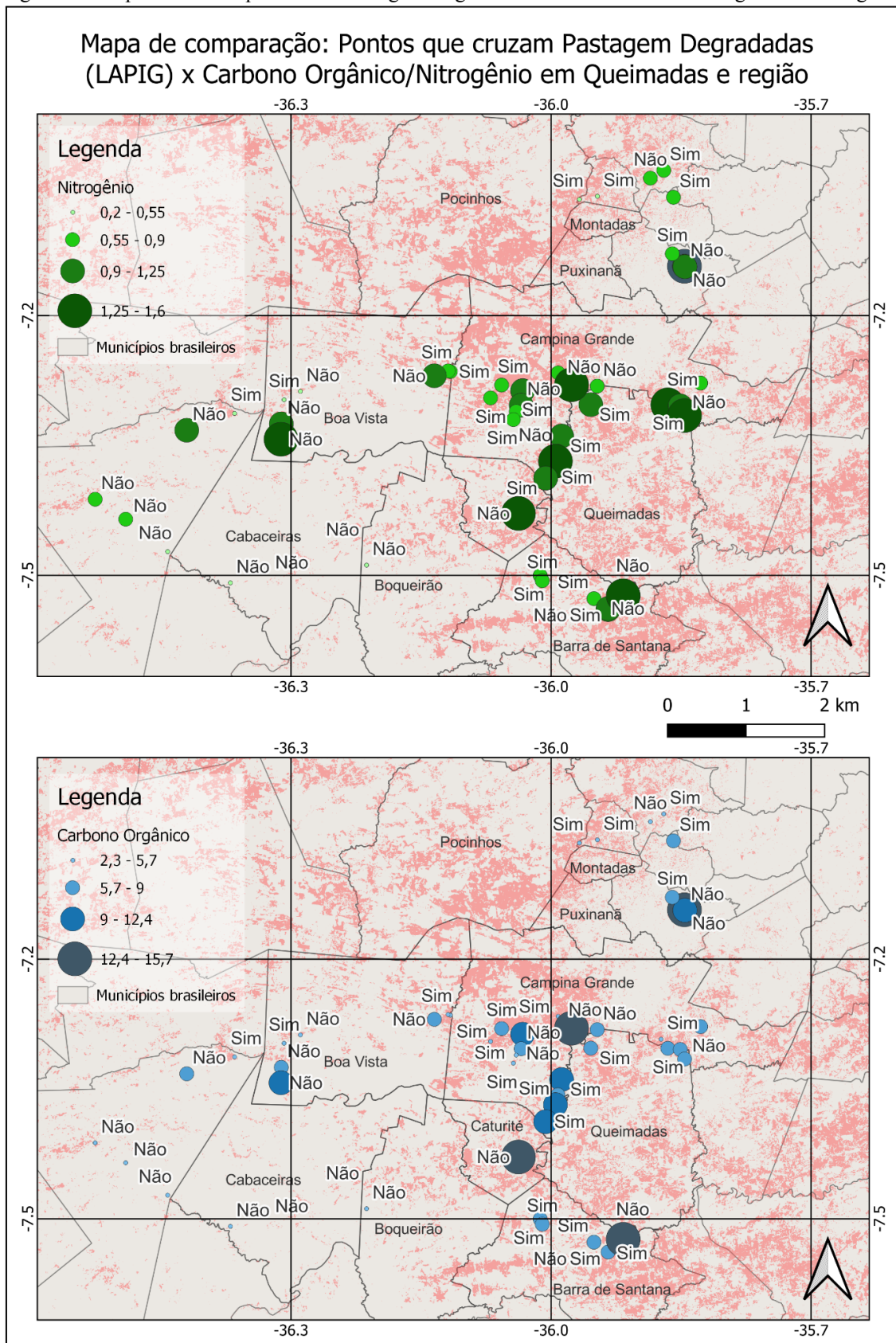
Tabela 8 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio dos Pontos que cruzam Pastagem Degradada.

Pontos que cruzam Pastagem Degradada	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Sim	5,92	0,82	7,22
Não	7,63	0,94	8,12

Fonte: elaboração própria.

O teste-t para Amostras que estão dentro ou fora de Pastagens Severamente Degradadas (LAPIG) mostrou diferença significativa entre as médias apenas para Carbono Orgânico.

Figura 10 - Aspecto Pontos que cruzam Pastagem Degradada e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

Por fim, temos abaixo a Figura 11 com amostras que estão dentro ou fora de Áreas Fortemente Degradadas (CGEE). Este aspecto é importante para avaliar as condições do solo e se solos degradados afetam a qualidade do mesmo. Os valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio se mostraram maiores nas regiões onde não há degradação, porém é importante enfatizar que há pontos muito próximos de locais degradados, o que pode influenciar nos resultados.

É possível observar que as áreas que têm um certo grau de degradação possuem valores baixos de C e N, o que pode denotar um déficit de nutrientes e carência de manutenção dessas áreas. Também ajuda a validar o mapeamento do CGEE (2016).

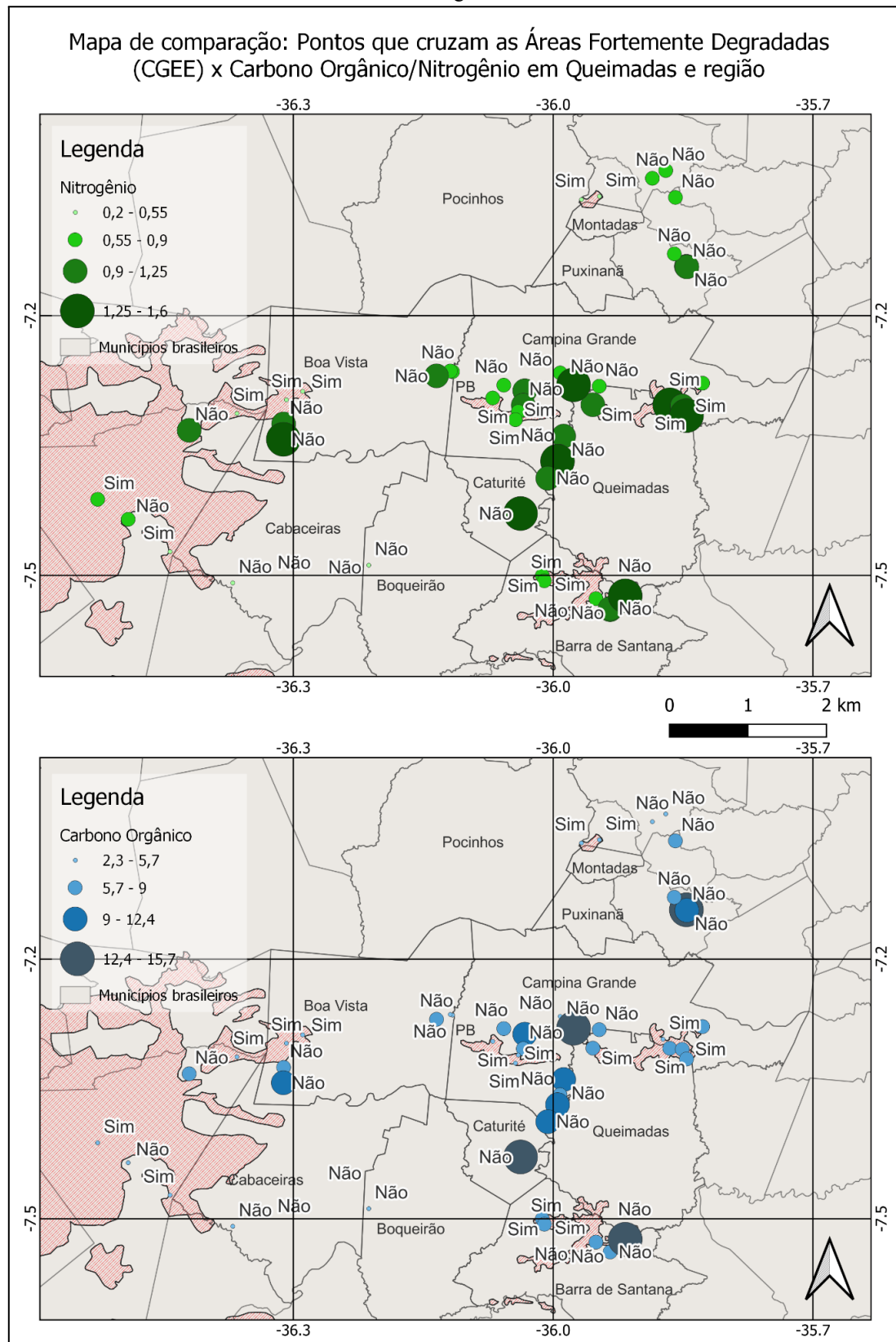
Tabela 9 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio dos Pontos que cruzam com Áreas Fortemente Degradadas.

Pontos que cruzam com Áreas Fortemente Degradadas	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Sim	4,91	0,73	6,73
Não	7,66	0,95	8,06

Fonte: elaboração própria.

As amostras deste aspecto indicaram que as médias são significativamente diferentes para Nitrogênio e Carbono Orgânico, mas não para Proporção de C/N.

Figura 11 - Aspecto Pontos que cruzam Áreas Fortemente Degradadas e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



3.2. Petrolina e região

Quando discutido sobre Petrolina, até o momento só foi possível avaliar os resultados do aspecto “Uso e Cobertura” por conta da exigência de um detalhamento maior da região e validação dos dados pela equipe, que será feito durante a renovação da bolsa de pesquisa.

Abaixo é mostrado o mapa (Figura 12) respectivo ao aspecto mencionado acima, “Uso e Cobertura”. Neste caso, algumas categorias são diferentes das de Queimadas, como “Mosaico de Usos”. Os dados espacializados exibem um padrão, mostrando similaridades quando se compara os valores de áreas de “Pastagem”, “Mosaico de Usos” e “Formação Campestre”. Porém, é importante notar que há várias áreas de pastagem com baixos valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio, indicando que esses locais podem ter sido abandonados enquanto os com maiores valores ainda estão sendo utilizados e cuidados.

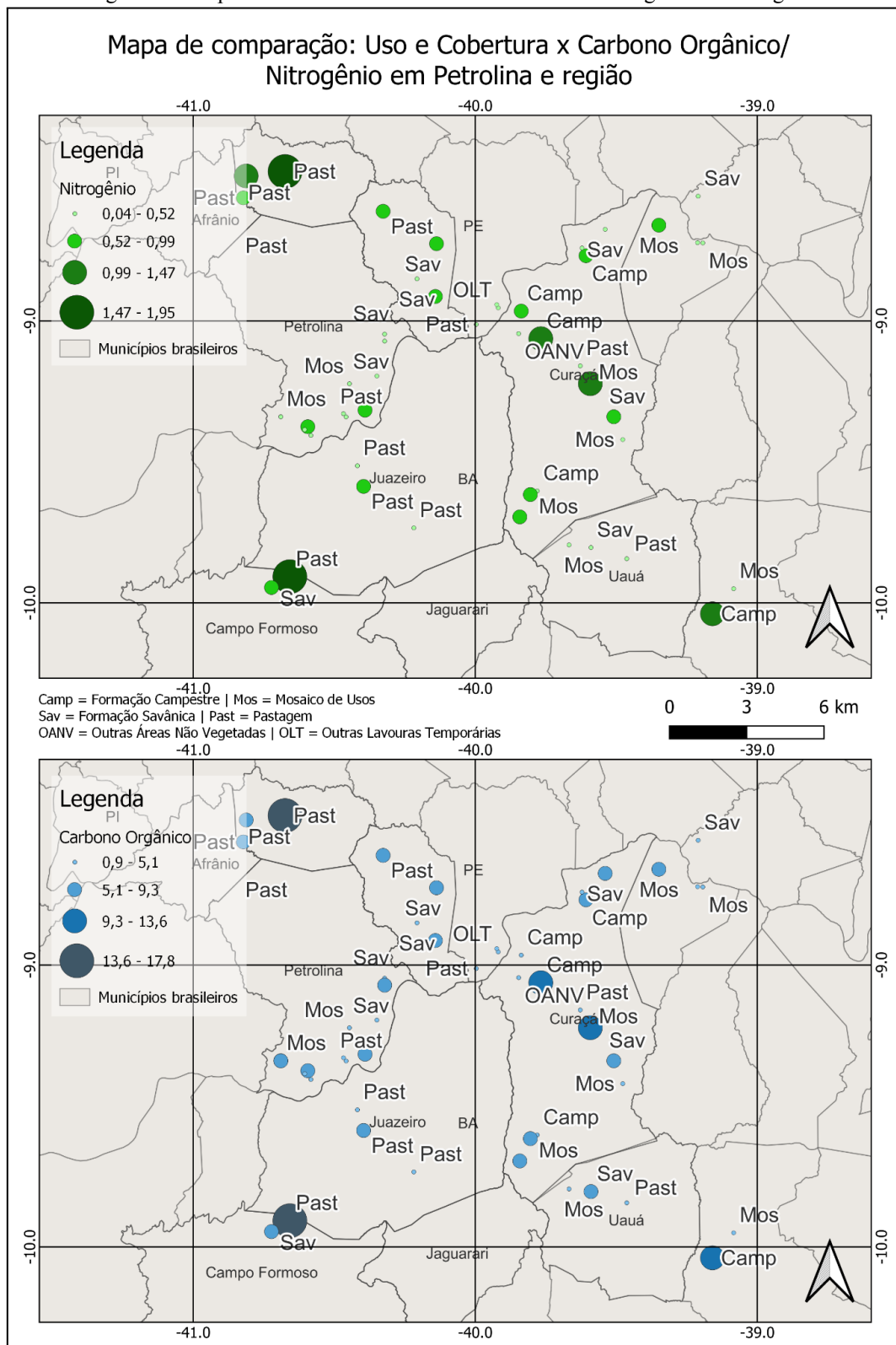
A tabela 10 mostra a relação entre as categorias de forma mais adequada. De acordo com o exibido, os valores mais altos de Proporção C/N estão em “Formação Savânica” e “Pastagem”. As categorias “Pastagem”, “Mosaico de Usos” e “Formação Campestre” tem valores próximos de CO e N e “Formação Savânica” um valor maior de CO. Como discutido anteriormente, a Formação Savânica pode estar em recuperação dos danos causados pela influência humana ou estar preservada, enquanto a Pastagem pode ter uma manutenção da terra para uso que justifique um maior valor.

Tabela 10 - Média de Carbono Orgânico e Nitrogênio de Uso e Cobertura.

Uso e Cobertura	Média Carbono Orgânico	Média Nitrogênio	Proporção C/N
Formação Campestre	5,09	0,56	9,84
Formação Savânica	6,03	0,44	21,44
Mosaicos de Usos	5,56	0,51	13,46
Outras Áreas não Vegetadas	3,56	0,09	39,56*
Outras Lavouras Perenes	7,35	0,62	11,85*
Outras Lavouras Temporárias	0,89	0,13	6,85*
Pastagem	5,83	0,54	15,86

* = desconsiderado na avaliação pois havia somente uma amostra de cada aspecto. Fonte: elaboração própria.

Figura 12 - Aspecto Uso e Cobertura e valores de Carbono Orgânico e Nitrogênio



Fonte: elaboração própria.

Os testes-t mostraram que há diferença estatística entre os valores de “Formação Campestre” x “Formação Savânica” e “Formação Campestre” x “Pastagem” na variável Proporção C/N. Os outros resultados não mostraram diferença significativa. Aquino e Santos (2020) verificaram uma relação entre pastagem submetida ao sobrepastoreio e degradação do solo ao realizarem uma análise temporal de 1987 até 2018 na Caatinga.

4. CONCLUSÕES

Com esta pesquisa foi possível comparar características observadas em campo e por interpretação de fotografias com dados de Carbono Orgânico e Nitrogênio presentes em amostras de solo para a região de Queimadas, além de comparar os resultados destes elementos químicos com fontes secundárias, como uso e cobertura da terra, mapeamentos de áreas degradadas e de pastagem.

O Carbono Orgânico e Nitrogênio demonstraram uma grande relação com a qualidade do solo e a falta dos mesmos pode levar à degradação. Conclui-se que há solos com mais nutrientes para a flora em áreas com vegetação natural do que aqueles com maior grau de presença humana, sobretudo pastagem, mostrando uma relação entre uso da terra e qualidade do solo.

Espera-se que este estudo possa colaborar nas pesquisas sobre degradação da terra, indicando formas de se avaliar a degradação a partir de descrição da paisagem e análise química de amostras de solo. Com a renovação da bolsa de pesquisa, as mesmas comparações poderão ser feitas para a região de Petrolina.

REFERÊNCIAS

ANTONGIOVANNI, Marina et al. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 10, p. 2064-2074, 2020.

AQUINO, José Welton Coelho de; SANTOS, Antônio Marcos dos. Análise da estrutura e distribuição da cobertura vegetal das Caatingas em diferentes áreas de sequeiro no Vale do São Francisco nas últimas três décadas. **Geografia Ensino & Pesquisa**, p. e55-e55, 2020.

ARAÚJO, Edson Alves et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F. da; GAMA-RODRIGUES, A.C. da; BARROS, N.F. de; FONSECA, S. Atividade microbiana, Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em seqüência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 611-619. 2008.

BEZERRA, Francisco Gilney Silva et al. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106579, 2020.

BINGHAM, Andrew H.; COTRUFO, M. Francesca. Organic nitrogen storage in mineral soil: Implications for policy and management. **Science of the Total Environment**, v. 551, p. 116-126, 2016.

CARVALHO, Rafael Pelloso et al. Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 148-159, 2015.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. CGEE: Brasília, 2016.

COUTINHO, Leopoldo Magno. Biomas brasileiros. In: COUTINHO, Leopoldo Magno. **Caracterização dos principais biomas no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. Cap. 3. p. 35-81.

CREPANI, Edison et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

DE KLEIN, Cecile AM et al. Nitrogen performance indicators for dairy production systems. **Soil Research**, v. 55, n. 6, p. 479-488, 2017.

DERNER, Justin D.; BOUTTON, Thomas W.; BRISKE, David D. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains. **Plant and Soil**, v. 280, p. 77-90, 2006.

DROBNIK, Thomas et al. Soil quality indicators—From soil functions to ecosystem services. **Ecological indicators**, v. 94, p. 151-169, 2018.

GAITÁN, Juan J. et al. Aridity and overgrazing have convergent effects on ecosystem structure and functioning in Patagonian rangelands. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 2, p. 210-218, 2018.

GUILHERMINO, Magda Maria et al. Defeso da caatinga: proposta de política pública para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar em bioma caatinga. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 14, n. 2, p. 372-386, 2019.

IBGE. Panorama dos municípios de Petrolina e Campina Grande. **Cidades@**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

IPBES - INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES. **The IPBES assessment report on land degradation and restoration**. MONTANARELLA, L., SCHOLLES, R., AND BRAINICH, A. (Eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 2018. 744 p.

JUNIOR, Alexandre Bernardo Alves et al. Manejo agroecológico na caatinga: o caso do Sítio Jardim de Luz nos sertões de Crateús-CE. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

KNICKER, Heike. Soil organic N-An under-rated player for C sequestration in soils?. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 6, p. 1118-1129, 2011.

KOTZÉ, E. et al. Rangeland management impacts on the properties of clayey soils along grazing gradients in the semi-arid grassland biome of South Africa. **Journal of Arid Environments**, v. 97, p. 220-229, 2013.

LANGE, Anderson et al. Degradação do solo e pecuária extensiva no norte de Mato Grosso. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 642-648, 2019.

LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. UFG. **Atlas das Pastagens**. 2018. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>. Acesso em: 01 maio 2022.

LEAL, Inara Roberta. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária UFPE, 2003.

MAKHALANYANE, Thulani P. et al. Microbial ecology of hot desert edaphic systems. **FEMS microbiology reviews**, v. 39, n. 2, p. 203-221, 2015.

MATOSO, Stella Cristiani Gonçalves et al. Frações de Carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 231-240, 2012.

NEXUS CCST. **Projeto Transição para sustentabilidade e o nexo água-agricultura-energia: explorando uma abordagem integradora com casos de estudo nos biomas Cerrado e Caatinga**. Disponível em: http://nexus.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2019/10/CCST_FAPESP_Projeto_2017_final.pdf. Acesso em: 11 set. 2019.

OLIVEIRA, Andreza de Freitas Nunes et al. Long-term effects of grazing on the biological, chemical, and physical soil properties of the Caatinga biome. **Microbiological Research**, v. 253, p. 126893, 2021.

OLIVEIRA FILHO, José de Souza et al. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **Journal of Arid Environments**, v. 166, p. 1-10, 2019.

- PARENTE, H. N.; PARENTE, M. O. M. Impacto do pastejo no ecossistema caatinga. **Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR**, Umuarama, v. 13, n. 2, p. 115-120, jul./dez. 2010.
- PARENTE, Leandro et al. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. **Remote Sensing of Environment**, v. 232, p. 111301, 2019.
- PIÑEIRO, Gervasio et al. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. **Rangeland Ecology & Management**, v. 63, n. 1, p. 109-119, 2010.
- PINHEIRO, Katarina Romênia et al. Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 2, p. 221-231, 2020.
- SANTOS, Claudinei Oliveira dos et al. Assessing the Wall-to-Wall Spatial and Qualitative Dynamics of the Brazilian Pasturelands 2010–2018, Based on the Analysis of the Landsat Data Archive. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 1024, 2022.
- SCHULZ, Katharina et al. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62-70, 2016.
- TAVARES, Válter Cardoso. A percepção ambiental dos agricultores rurais do município de queimadas/PB sobre a degradação do Bioma Caatinga. **Acta Geográfica**, v. 12, n. 28, p. 74-89, 2018.
- UNCCD. Intergovernmental Negotiating Committee for the elaboration of an International Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. **General Assembly**. Disponível em:
https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/unccd_eng.pdf. Acesso em: 6 jul. 2021.
- WANG, Ye; YAN, Xiaodong. Climate change induced by Southern Hemisphere desertification. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 102, p. 40-47, 2017.
- WIESMEIER, Martin et al. Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, v. 333, p. 149-162, 2019.
- ZANELLA, Maria Elisa. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.
- ZHOU, Z. C. et al. Effects of grazing on soil physical properties and soil erodibility in semiarid grassland of the Northern Loess Plateau (China). **Catena**, v. 82, n. 2, p. 87-91, 2010.