

Elaboração do Plano e Projetos de Macro drenagem Petrolina/PE

PRODUTO P4 – RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL III Volume I

DIAGNÓSTICO

Consolidação de Informações Iniciais Tomo II



Petrolina/PE

Maio, 2023



PREFEITURA DE PETROLINA
Secretaria Municipal de Infraestrutura e Mobilidade

Contrato Nº 252/2021

**Elaboração do Plano e Projetos de
Macro drenagem do Município de Petrolina**

PRODUTO P4 – RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL III
Volume I

DIAGNÓSTICO

Consolidação de Informações Iniciais
Tomo II



Petrolina/PE

Maio, 2023

APRESENTAÇÃO

A PDCA Engenharia, estabelecida na Rua Guimarães Peixoto, nº. 75, sala 1604, no Bairro de Casa Amarela, Recife/PE, email: pdca@pdca.eng.br, CNPJ MF 11.019.554/0001-57, apresenta o seguinte documento, que compõe o Produto P4 – Relatório Técnico Parcial III, quarto relatório decorrente do Contrato de Ordem de Serviços nº 252/2021, celebrado entre a Prefeitura Municipal de Petrolina (PE) e a PDCA Engenharia, tendo como objeto a prestação de serviços técnicos de elaboração de Plano Diretor e Projetos de Macrodrenagem da área urbana do Município de Petrolina/PE, e apoio técnico à audiências públicas, de forma a possibilitar a criação de mecanismos de gestão pública de infraestrutura do município de Petrolina/PE relacionados ao manejo de águas pluviais.

O Plano Diretor de Macrodrenagem de Petrolina/PE é o documento que consolida o planejamento do setor de drenagem urbana e manejo de águas pluviais no município, conduzindo as medidas que serão efetivadas pela Prefeitura Municipal, objetivando diminuir os prejuízos causados por inundações urbanas. Este plano será integrado aos demais planos setoriais componentes do Plano Municipal de Saneamento Básico, e tem interface importante com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, quanto ao uso do solo e regramento de ocupação em áreas de risco de inundação.

O Relatório Técnico Parcial III, referente ao Produto P4, está apresentado em 3 volumes, são eles:

- Volume I – DIAGNÓSTICO;
 - a) Tomo I – Ocupação urbana, hidrografia e estudos topográficos;
 - b) Tomo II – Consolidação de informações iniciais;**
 - c) Tomo III – Diagnóstico das áreas de risco do município de Petrolina/PE.
- Volume II – SITUAÇÃO ATUAL E ESTUDOS HIDRODINÂMICOS;
- Volume III – PEÇAS GRÁFICAS – Formato A3.

O **Volume I - Tomo II** abrange a consolidação das informações iniciais básicas, ambientais e dados socioeconômicos. As informações apresentadas neste Tomo serviram como base para o diagnóstico do sistema de macrodrenagem do município, para o desenvolvimento do plano, de propostas e projetos para o adequado manejo de águas pluviais.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dimensionais da rede de drenagem da bacia do Rio Pontal	26
Tabela 2 – Evolução da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos	37
Tabela 3 – Estações de Tratamento de Esgoto existentes na sede de Petrolina	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Petrolina com mancha urbana.....	3
Figura 2 – Mapa com localização de Petrolina.....	4
Figura 3 – Mapa geotectônico esquemático do Cráton do São Francisco.....	6
Figura 4 – Mapa geotectônico esquemático da faixa riacho do Pontal.....	8
Figura 5 – Carta geológica de Petrolina.....	11
Figura 6 - Tipos de solos na área de estudo de acordo com o SiBCS	13
Figura 7 – Mapa das fontes de abastecimento por água subterrânea em Petrolina/PE	17
Figura 8 – Classificação de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas do Rio Pontal e do Grupo de Rios Interiores - GI8.....	20
Figura 9 – Uso e ocupação no município de Petrolina/PE em 2017.....	22
Figura 10 – Classificação das ruas de Petrolina/PE por tipo de revestimento de pavimento	24
Figura 11 – Mapa de uso e cobertura das terras do perímetro urbano de Petrolina/PE	25
Figura 12 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Riacho do Pontal – PE.....	27
Figura 13 – Mapa da declividade da bacia hidrográfica do Rio Pontal	27
Figura 14 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Pontal.....	28
Figura 15 – Distribuição da população de Petrolina por faixa etária e gênero.....	32
Figura 16 – Situação da disposição final no Lixão Raso da Catarina em 2006	38
Figura 17 – Atividades desenvolvidas na área como remediação ambiental.....	38
Figura 18 – Localização da área de recuperação ambiental	39
Figura 19 – Localização da área da nova CTR	39
Figura 20 – Áreas de disposição irregular de RCC's em Petrolina.....	44
Figura 21 – Unidade de Beneficiamento de Entulho da CTR Petrolina	45
Figura 22 – Indicadores de Desempenho Relacionados aos Resíduos da Construção Civil	45
Figura 23 – Regra para avaliação da degradação, utilizando imagens Landsat-8.....	51
Figura 24 – Evolução temporal e espacial do NDVI no Município de Petrolina/PE.....	52
Figura 25 – Evolução temporal e espacial do albedo da superfície em Petrolina/PE	52
Figura 26 – Área em hectares (%) das classes da degradação no Município de Petrolina e adjacência nos períodos de 2013, 2014 e 2015. Ar = Acurácia e Kp = Índice Kappa.....	53
Figura 27 – Evolução temporal e espacial da degradação do Município de Petrolina-PE	54
Figura 28 – Evolução temporal e espacial da magnitude da mudança do Município de Petrolina/PE.....	56
Figura 29 – Mapa temático da detecção de mudança do Município de Petrolina-PE	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	SERVIÇOS DE COLETA DE DADOS, DE ESTUDOS E PROJETOS EXISTENTES... 2	2
2.1	ASPECTOS GEOGRÁFICOS.....	2
2.2	GEOMORFOLOGIA	5
2.3	GEOLOGIA REGIONAL	6
2.4	ESTRATIGRAFIA	9
2.5	TIPOS DE SOLOS E DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO.....	12
2.6	HIDROGRAFIA.....	14
2.7	RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS	15
2.8	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	18
2.9	MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL.....	25
2.10	ESTUDOS E PROJETOS EXISTENTES - ANÁLISE DAS OBRAS EM CURSO E PROGRAMADAS	28
3	LEVANTAMENTO DE DADOS SOCIOECONÔMICOS	31
3.1	ÁREA E LOCALIZAÇÃO.....	31
3.2	POPULAÇÃO	32
3.3	TRABALHO E RENDIMENTO	33
3.4	EDUCAÇÃO	33
3.5	ECONOMIA.....	34
3.6	SAÚDE	34
3.7	TERRITÓRIO E AMBIENTE	34
4	LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS BÁSICAS.....	36
4.1	DESPEJO INADEQUADO DE RESÍDUOS.....	36
4.1.1	Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	36
4.2	PERDA DA BIODIVERSIDADE E COBERTURA VEGETAL	50
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Com o Relatório Técnico Parcial III, pretende-se consolidar as informações levantadas nos relatórios anteriores e fornecer um quadro geral da situação dos macrodrenos naturais e artificiais de Petrolina/PE, com base nos critérios básicos de dimensionamento e na aplicação de simulações hidráulico-hidrológicas do sistema de macrodrenagem do município.

O **Tomo II – Consolidação de Informações Iniciais** faz parte do Volume I do terceiro relatório de cunho executivo, objetivando a elaboração do Plano e Projetos de Macro drenagem do Município de Petrolina/PE. Este relatório compreende a consolidação das informações iniciais apresentadas nos relatórios técnicos anteriores, que serviram como subsídio às informações consolidadas nos demais volumes do Relatório Técnico Parcial III.

O levantamento de informações iniciais básicas consiste nos serviços de coleta de dados a partir de estudos já existentes, obtendo-se dados cartográficos, hidrográficos, geológicos, de uso e ocupação do solo, e hidrometeorológicos de Petrolina, e no levantamento de dados socioeconômicos, informações que caracterizam o município.

O levantamento de informações ambientais básicas consiste no levantamento de dados relacionados ao despejo inadequado de resíduos sólidos e de efluentes sanitários e industriais, perda da biodiversidade e da cobertura vegetal, a partir de estudos planos existentes no município. Os aspectos socioeconômicos e ambientais se relacionam ao impacto da urbanização sobre o regime de cheias e o risco de inundações no município de Petrolina/PE.

2 SERVIÇOS DE COLETA DE DADOS, DE ESTUDOS E PROJETOS EXISTENTES

Este capítulo consiste na consolidação das informações iniciais básicas levantadas do município de Petrolina. Por meio de estudos existentes, foram coletados dados cartográficos, hidrográficos, geológicos, de uso e ocupação do solo e hidrometeorológicos, informações que caracterizam o município, além de dados socioeconômicos. Além disso, estão consolidados os estudos e projetos existentes referentes à drenagem no município de Petrolina/PE, que foram analisados pela equipe técnica da PDCA Engenharia.

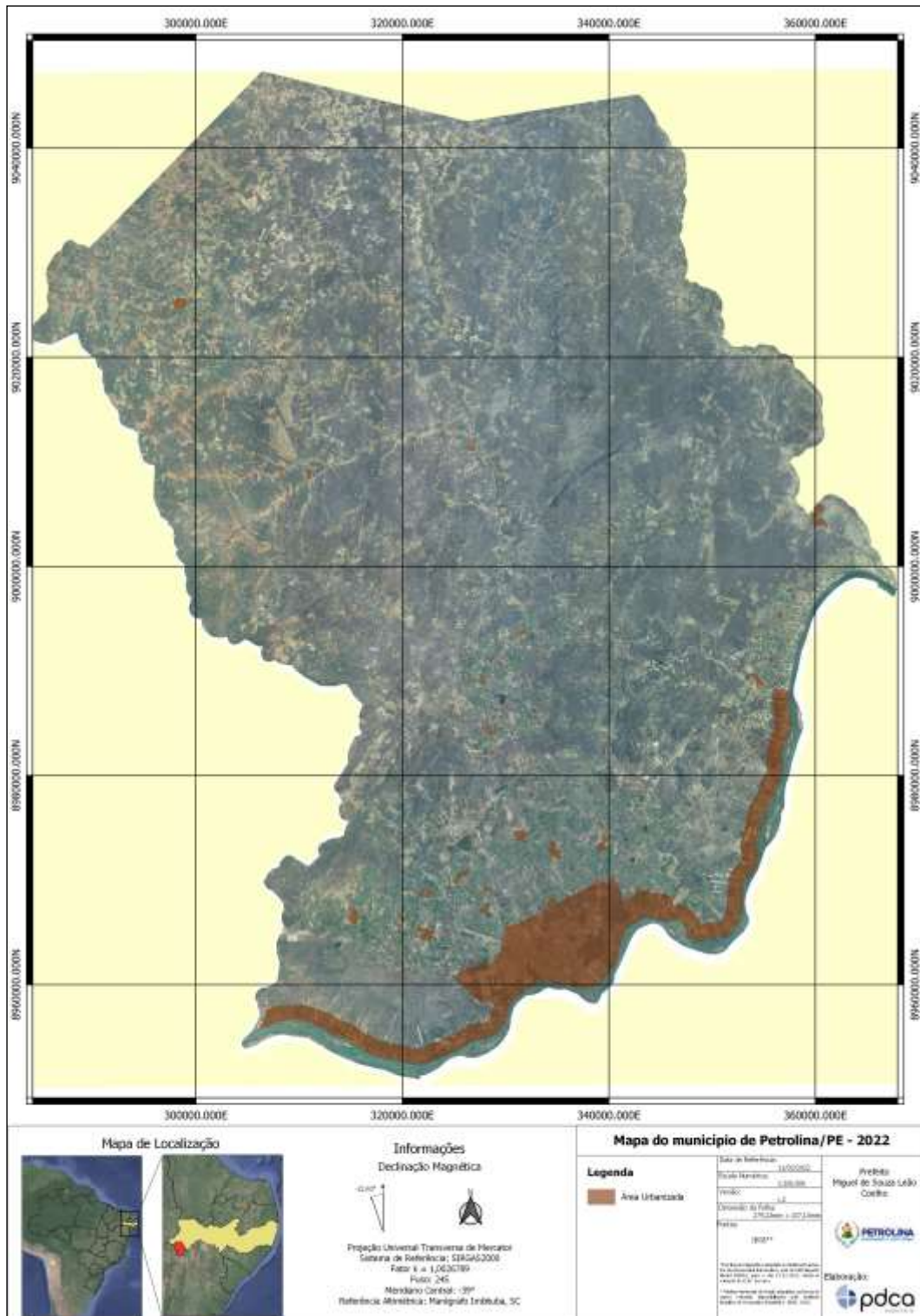
2.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

O município de Petrolina possui uma área de 4.561,87 km², situando-se a 09° 23' 55" de latitude sul e 40° 30' 03" de longitude oeste, estando a 712 km a oeste da capital estadual. A Figura 1 mostra uma imagem de satélite de Petrolina com sua área urbanizada. De forma geral, o município se encontra na microbacia menor do Riacho do Pontal, que por sua vez está contida na macrobacia hidrográfica do Rio São Francisco. É percebido que seus cursos d'água, exceto o do Rio São Francisco, são intermitentes, e possuem o dendrítico como padrão de drenagem.

Petrolina está localizada na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, com formações características do semiárido nordestino, cujo relevo possui superfície de pediplanação monótona, predominantemente suave-ondulado, sendo atravessado por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Na linha do horizonte, também pontuam elevações residuais, cristas com e/ou sem outeiros.

A vegetação do município de Petrolina é a típica caatinga xerofílica dos sertões do Nordeste brasileiro. Trata-se de uma formação vegetal heterogênea, exclusiva de clima semiárido quente, com período seco prolongado. Por vezes, nos terrenos aplainados, próximos das margens do rio São Francisco, desenvolve-se uma vegetação graminosa, com árvores de porte arbustivo, espaçadamente distribuídas, e núcleos isolados com palmeiras, principalmente a carnaubeira. Nas partes mais povoadas, a caatinga, devido à ação do homem, vem tornando-se rarefeita ou mesmo totalmente destruída.

Figura 1 – Mapa de Petrolina com mancha urbana



Fonte: IBGE (2021).

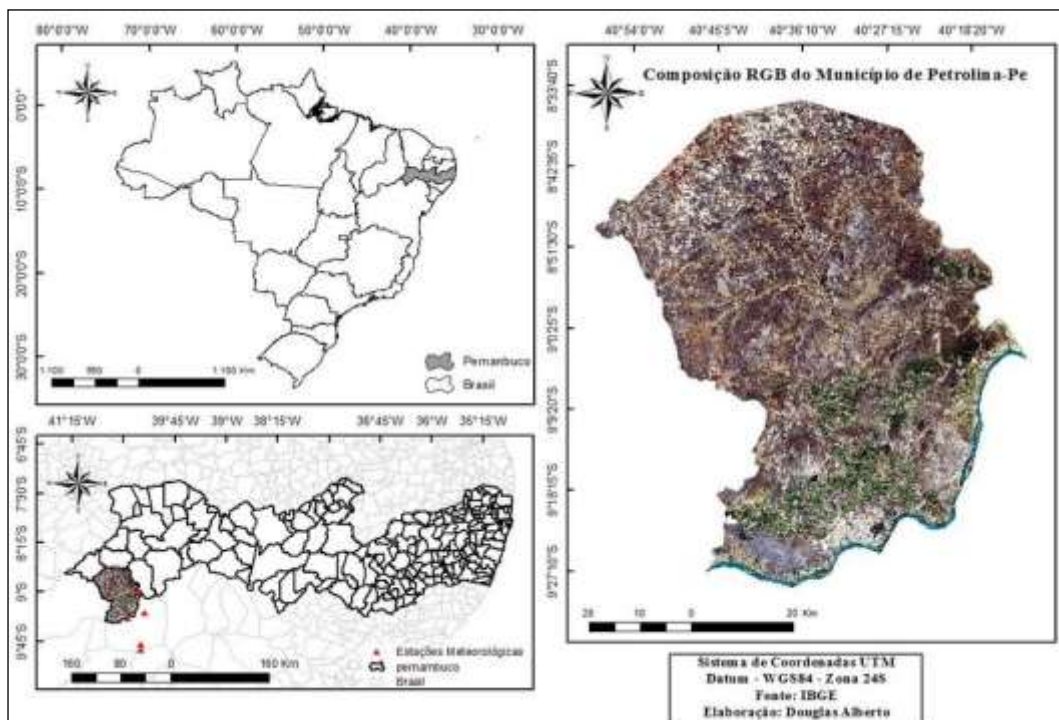
A área estudada está integralmente localizada no domínio da Bacia do Rio São Francisco, que a corta no sentido Leste-Oeste. O Rio São Francisco é, sem dúvida, o mais importante de todo o Nordeste, pelo seu volume d'água, potencial energético e perenidade.

Essa perenidade, associada a uma eficiente rede de canais, favorece a irrigação e, conseqüentemente, o desenvolvimento cada vez maior de uma agricultura, de importância fundamental para a região.

Quanto ao potencial energético, encontra-se em operação na área a hidrelétrica da barragem de Sobradinho, a cerca de 50 km a montante das cidades de Petrolina/PE e Juazeiro/BA, com um dos maiores reservatórios artificiais de água do mundo, com capacidade de regularização plurianual.

Os demais cursos d'água são intermitentes, mas também tem importância, por permitirem a construção de açudes, imprescindíveis para o abastecimento humano e dos rebanhos durante o período da estiagem. Esses cursos d'água possuem leitos largos e padrão de drenagem predominantemente dendrítico. Entre outros, destacam-se os riachos Sobrado, Vitória, Língua de Vaca, das Porteiras, Terra Nova, Santo Antônio e rio Jardim. A Figura 2 mostra o mapa da cidade, com indicação de sua localização espacial no estado de Pernambuco, e de estações meteorológicas.

Figura 2 – Mapa com localização de Petrolina



Fonte: PDCA (2022).

2.2 GEOMORFOLOGIA

Com relação à geomorfologia da cidade, segundo Kreysing *et. al.* (1973), a parte da área em que dominam os micaxistos é ocupada por solos síltico-argilosos, espessos, castanho-amarelados a avermelhados, relativamente ricos em substâncias nutritivas. Sua permeabilidade é reduzida e geralmente são capeados por seixos e blocos de quartzo pouco arredondados a angulosos. Na região dos gnaisses, migmatitos e granitóides, os solos são pouco espessos, constituídos por areias médias a grosseiras, brancas a acinzentadas e com boa porosidade (regossolos e regolatossolos). Ao longo dos rios e riachos, ocorrem solos espessos, amarronzados, síltico-argilosos, parcialmente salinizados, onde se concentram mais as atividades agrícolas.

A paisagem geomorfológica é dominada por um vasto pediplano, com uma série de elevações residuais. Esta paisagem é limitada pelos relevos tabulares elevados da Chapada Diamantina, a sul, pela depressão da Bacia do Parnaíba, a noroeste, e pela Chapada do Araripe, a norte, todos situados fora dos limites da área de estudo (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Regionalmente, esse pediplano apresenta cotas variando de 370 a 550m, com extensas coberturas detríticas arenosas e mostrando relevos dissecados, onde se distinguem formas ora de topos aplainados, ora colinosas, ora aguçadas. Na área, o aplainamento apresenta altitudes variando de 370 a 390 m na parte sul da área, nas proximidades do rio São Francisco, elevando-se no sentido norte para altitudes que variam de 460 a 470 m. O aplainamento tem seu destaque de maior altitude na serra Curral Queimado, na parte central da área, com 624 m (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Os destaques topográficos que ocorrem na área aplainada são representados por *inselbergs* suportados por granitos e migmatitos, serras e cristas constituídas por veios de quartzo e quartzitos, que formam os principais acidentes geográficos da área. Ao longo do rio São Francisco e nos baixos cursos de seus principais afluentes, ocorrem os principais depósitos aluvionares. As elevações residuais estão mais concentradas nas partes sudoeste e central da área. Na parte sudoeste, destacam-se as serras do Olho d'água, São Gonçalo, Redonda, do Agreste, Atravessada e Esperança e, na parte central, a serra do Curral Queimado e os morros Pelado e Gentil (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

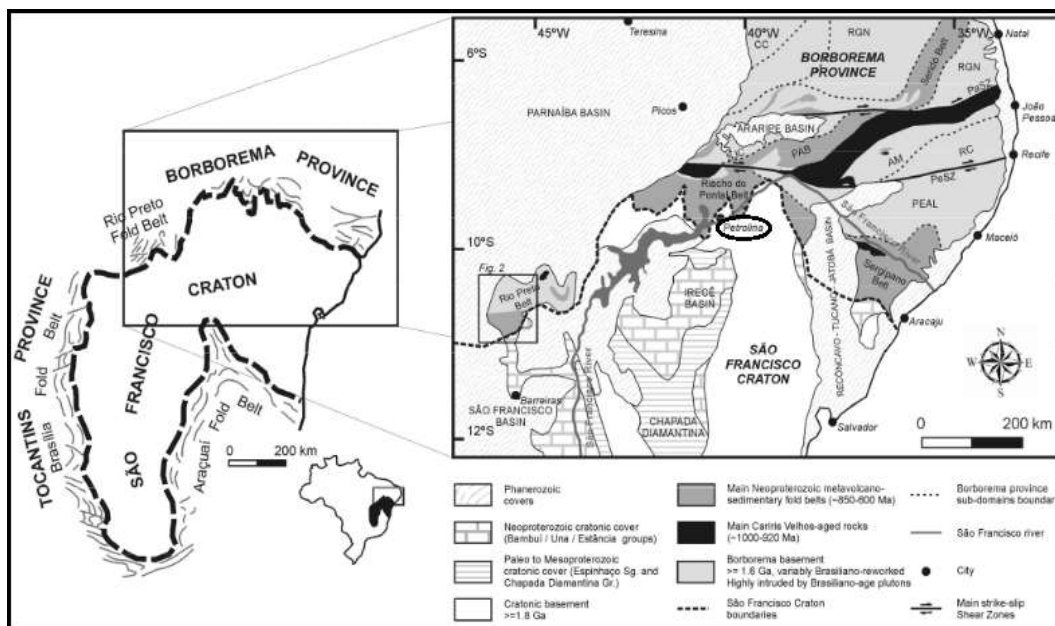
2.3 GEOLOGIA REGIONAL

A área de Petrolina compreende duas grandes entidades geotectônicas: de um lado, o Cráton do São Francisco, com vários compartimentos, e o Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, de outro, limite noroeste do primeiro (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

2.3.1 O Cráton do São Francisco

Almeida (1967) definiu a plataforma do São Francisco como sendo uma área consolidada antes do Ciclo Brasileiro durante o qual não sofreu dobramentos de tipo alpino. Posteriormente, Almeida (1977) lançou o conceito de cráton com o mesmo sentido de plataforma, entendendo como cráton uma plataforma cujo embasamento consolidou-se em tempos pré-brasileiros. A Figura 3 mostra o mapa geotectônico esquemático do Cráton do São Francisco, bem como a localização do município de Petrolina.

Figura 3 – Mapa geotectônico esquemático do Cráton do São Francisco



Fonte: Caxito (2013).

Os estágios de seu desenvolvimento são representados por diversas associações biológicas. Desse modo, são reconhecidas, no Arqueano: sequências do tipo greenstone-belts, cinturões granulíticos e terrenos migmatíticos com relíquias de rochas básicas anfibolitizadas e outras supracrustais (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Os cinturões granulíticos são entidades complexas, onde é notório o retrabalhamento de sequências mais antigas, inclusive dos greenstones e de outras sequências

vulcanossedimentares metamorfizadas. Por outro lado, esses cinturões se apresentam sob dois aspectos deformacionais distintos; ou formando faixas lineares em geral de composição quartzofeldspática, ou como faixas apresentando múltiplos padrões de interferência de deformação (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

2.3.2 O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal

O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal foi definido por Brito Neves (1967) para congregiar metassedimentos que limitam o Cráton do São Francisco na porção ocidental de Pernambuco, noroeste da Bahia e sudeste do Piauí. As supracrustais desse sistema entram em contato com aquelas do Sistema de Dobramentos Piancó-Alto Brigida, através do Lineamento Pernambuco, o que induz à suposição de que ambos constituíram uma única entidade geotectônica, com os metassedimentos mencionados sendo cronocorrelatos (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Pode ser visto na Figura 4 o mapa geológico regional da faixa riacho do Pontal e limites do Cráton São Francisco, com indicação da localização do município de Petrolina. A localização dos mapas da faixa riacho do Pontal é indicada pelos quadros traço-pontilhados.

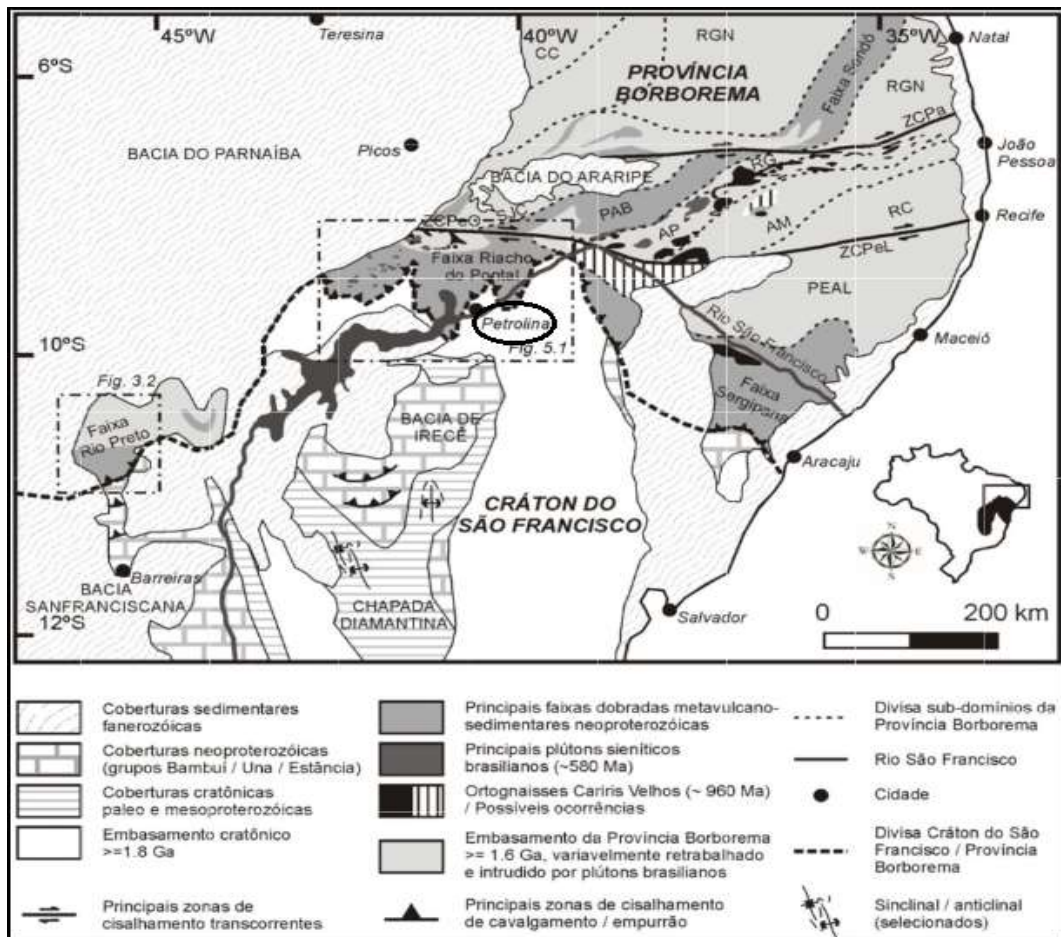
Sua compartimentação considerou os seus metassedimentos como uma facies pelito-psamítica da Serie Bambuí. Santos e Brito Neves (1984), individualizaram três compartimentos: o do sul, que margeia o cráton, está metamorfizado na facies anfibolito e apresenta estruturação de dobras na direção norte-sul, observando-se ampla projeção do embasamento no anticlinório de Ponta da Serra: um compartimento nordeste, com estruturação leste-oeste aproximada, com frentes de empurrão, facies xisto-verde, amplas exposições da infraestrutura gnáissico-migmatítica, e, finalmente, um compartimento noroeste com orientação nordeste-sudoeste, atravessado por numerosos stocks graníticos e metamorfizados na facies xisto-verde.

2.3.3 O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal

Petrolina situa-se no limite entre um cinturão granulítico e um complexo migmatítico, cujas relações eram pouco compreendidas. A leste da área estudada, no vale do Curaçá, no cinturão granulítico, ocorre uma sequência de rochas supracrustais, que afloram de modo esparso, atravessadas por rochas plutônicas gnaissificadas e migmatizadas. As supracrustais afloram de modo mais contínuo, anotando-se xistos com cordierita e

sillimanita, quartzitos, calcissilicatadas, formações ferríferas e metavulcânicas ácidas e básicas (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Figura 4 – Mapa geotectônico esquemático da faixa riacho do Pontal



Fonte: Caxito (2013).

Do exposto, verifica-se a presença na área de estudo de três seqüências fundamentais: o embasamento do cráton, suas coberturas antigas com os ortognaisses intrusivos e os componentes sedimentares e ígneos da faixa dobrada. Os contatos entre as seqüências do cráton e da faixa dobrada são, em sua maioria, tectônicos, representados por zonas de cisalhamento, associadas à cinemática tangencial (rampas frontais, laterais, fatias de empurrão etc.), ou transcorrente. Os contatos internos, restritos à faixa dobrada, apresentam esse mesmo comportamento (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

2.4 ESTRATIGRAFIA

A área que corresponde à Petrolina situa-se na margem setentrional do Cráton do São Francisco (ALMEIDA *et. al.*, 1977), abrangendo litótipos do Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, com partes retrabalhadas no Ciclo Brasileiro.

Sua coluna estratigráfica tem suas rochas mais antigas colocadas no Arqueano Inferior - no Complexo Caraíba, constituídas por gnaisses bandados e ortognaisses migmatizados, com deformação polifásica e bandas palcosomáticas tonalíticas a granodioríticas alternando-se com faixas félsicas, neossomáticas, de composição leucogranítica; localmente esses gnaisses têm neossoma de natureza trondhjemítica. Cortando essas rochas, observam-se diques básicos dobrados retrometamorfizados. Ainda no Arqueano, ocorrem sequências vulcanossedimentares, que constituem os complexos Rio Salitre e complexo Tanque Novo (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

O Complexo Rio Salitre está subdividido em Unidade Inferior (Arsui), constituída por vulcanitos básico-ultrabásicos, quartzitos, quartzo-feldspato-gnaisses, metavulcânicas félsicas etc, e uma Unidade Superior (Arsus), constituída por uma sequência metassedimentar indivisa de filitos e subordinadamente xistos e ardósias, com alternância de níveis de metagrauvacas e metarcóseos.

O Complexo Tanque Novo (Atn), que junto com o Complexo Rio Salitre apresenta deformação polifásica, é constituído por xistos e paragnaisses eventualmente migmatizados com intercalações individualizáveis ou não de metabasitos (Atnmtb), quartzitos (Atnqt), metaultrabásicas (Atnub), formação ferrífera e metachert (Atnche), calcissilicáticas (Atncs), metavulcânicas ácidas (Atnmtv), e talco xistos (Atnlxt). Ortognaisses, introduzidos nessas sequências, ocorrem associados à deformação tangencial D_n/D_{n+1} . Trata-se de gnaisses trondhjemíticos/tonalíticos ($Ay_{1,2tdi}$), e ortognaisses tonalíticos/granodioríticos ($Ay_{1,2B}$), ambos contêm xenólitos de supracrustais do Complexo Tanque Novo e de ortognaisses do embasamento (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

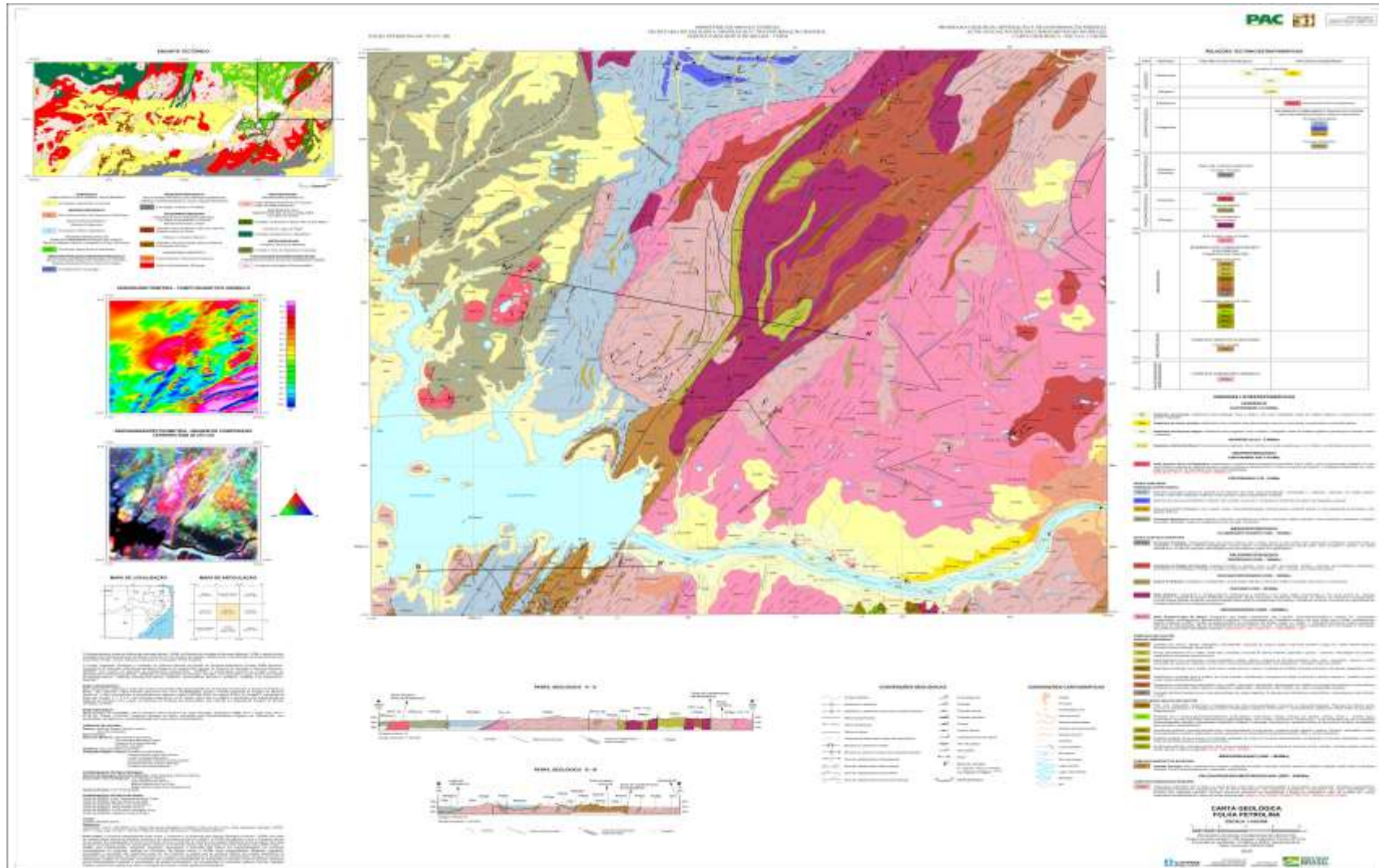
Posteriormente, ocorrem granitóides desenvolvidos na fase de deformação transcorrente sin a tardi D_{n+2} já do Proterozóico Inferior. Estes são representados por biotita-monzogranito (Ay_{3a}), ortognaisse granítico-leucocrático (Ay_{3c}), leucogranito pegmatóide (Ay_{3d}) e álcali-feldspato granito com ferro-hastingsita (Ay_{3e}). Também do Proterozóico Inferior é o Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, representado pelo Complexo Casa Nova, onde foram distinguidos os domínios marinho plataformais e marinho profundo.

O primeiro é representado pela Unidade Barra Bonita, constituído por uma sequência metapsamítica, composta de quartzo xistos algo feldspáticos, localmente granádíferos (Plbb), quartzitos micáceos um pouco feldspáticos (Plbbqt) e lentes de calcário cristalino fino de cor cinza (Plbbcc). O domínio marinho profundo é representado pela Unidade Mandacaru, constituída por uma sequência metaturbidítica, composta por xistos a duas miras, granádíferos, podendo conter feldspato e cordicrita e com intercalações métricas de metagrauvasas homogêneas (Plme). Cortando o Complexo Casa Nova ocorrem granitóides sindeformação tangencial F_1/F_2 , tipo Rajada (Pl_{viA}) e sindeformação transcorrente (Pl_{y2}) (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

O Proterozóico Médio é representado por um pequeno testemunho de quartzito, subhorizontalizado, da Formação Tombador (PMt). Posteriormente, ocorrem no espaço do Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, os granitóides tardi a pós-transcorrência, do Proterozóico Superior, representados por hedembergita-quartzo-monzonito, leucocrático, fino, com foliação incipiente, (PS_{y3A}), álcali-sienito com aegirina, fino, cinza e com foliação tênue (PS_{y3B}), e álcali-sienito grosseiro com aegirina, róseo, com fraca orientação (PS_{y3C}). Por fim, ocorrem coberturas fanerozóicas, do Terciário e Quaternário, representadas por depósitos detríticos-lateríticos (TQd/ltr), detríticos (TQd), sedimentos eólicos (Qe), aluviões (Qa) e tálus (Qt) (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Pode ser visto na Figura 5 a carta geológica de Petrolina, com base planimétrica elaborada a partir dos arquivos fornecidos pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais do Estado da Bahia - SEI, referente a folha Petrolina (SC.24-V-C-III), 1977, SUDENE/DSG, com escala 1:100.000 ajustados às imagens do Mosaico GeoCover - 2.000, ortorretificado e georreferenciado segundo o datum SIRGAS 2000 (LOUREIRO E MACÊDO, 2019). Esta base foi editada e atualizada pela Superintendência Regional de Salvador, com o apoio da Gerência de Infraestrutura Geocientífica, para atender ao mapeamento temático do Serviço Geológico do Brasil.

Figura 5 – Carta geológica de Petrolina



Fonte: Loureiro e Macêdo (2019).

2.5 TIPOS DE SOLOS E DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) apresenta aspectos da formação do solo, dos atributos do solo e das diferentes classes de solo encontradas no território brasileiro. O SiBCS é um sistema taxonômico de solos, hierárquico, multicategórico e aberto, com a finalidade de classificar todos os solos existentes no Brasil. Sua chave é composta por 6 níveis categóricos de classificação: Ordem, Subordem, Grande Grupo, Subgrupo, Família e Série (EMBRAPA, 2008). A base de dados de solos utilizada neste trabalho refere-se à Pedologia, na Escala 1:250.000, que se encontra disponível no portal de geociência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

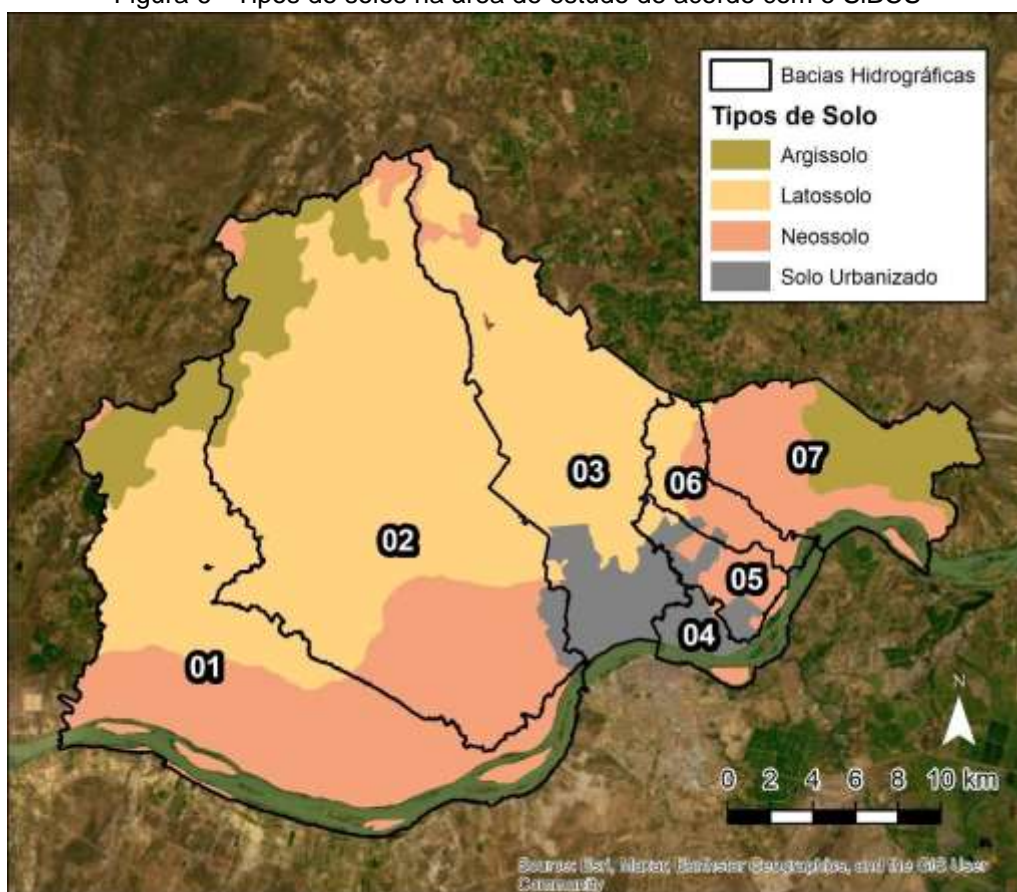
Ao analisar a área estudada e a classificação de primeiro nível dos solos, referente à Ordem, foram identificados Argissolos, Neossolos e Latossolos. Uma breve descrição destes solos é apresentada a seguir:

- **Argissolos** compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. O horizonte B textural (Bt) se encontra imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para ser enquadrado nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos. Os Argissolos são de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas;
- **Neossolos** compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. De modo geral, os neossolos apresentam menor velocidade de infiltração, e assim, contribuem diretamente para a formação de escoamentos superficiais;
- **Latossolos** são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos

são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e têm capacidade de troca de cátions da fração argila baixa. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que têm cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, o que é indicativo de formação em condições atuais ou pretéritas com um certo grau de gleização. São normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a 1 m.

Sendo assim, os tipos de solo de cada bacia hidrográfica, adotados nas simulações, são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Tipos de solos na área de estudo de acordo com o SiBCS



Fonte: PDCA (2023).

Por causa, provavelmente, das condições intrínsecas do ambiente como material de origem, clima, posição na paisagem, profundidade do lençol freático etc., aliada a um provável histórico de uso intensivo com culturas irrigadas, estes solos se encontram, em sua maioria, salinizados. As características dos solos que aí ocorrem, combinadas com a baixa capacidade adsorptiva, faz com que sejam inadequados para receber efluentes que contenham produtos prejudiciais às plantas, aos animais e ao homem. Estas áreas são, em

muitas vezes, inaptas para aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos correlatos, por causa da facilidade de contaminação dos aquíferos (EMBRAPA, 2010).

2.6 HIDROGRAFIA

O município de Petrolina está inserido na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, do Rio Pontal e do grupo de bacias de pequenos rios Interiores de Cristália, Nova Descoberta, Tapera, Izacolândia, Pedrinhas, Uruás, Lagoa dos Carneiros e Caatinginha. Chamada de "Passagem de Juazeiro", Petrolina era caminho para a vizinha cidade de Juazeiro, na margem oposta do Rio São Francisco no Estado da Bahia. (APAC, 2013).

2.6.1 Bacia hidrográfica do Rio Pontal

A bacia hidrográfica do Rio Pontal, localizada entre 08° 19' 00" e 09° 13' 24" de latitude Sul, e 40° 11' 42" e 41° 20' 39" de longitude Oeste, está representada por uma área de 6.015,33 km², correspondendo a 6,12% da área total do Estado de Pernambuco.

A área de drenagem do Riacho Pontal envolve quatro municípios, dos quais apenas o município de Afrânio, onde nasce o riacho, está totalmente inserido na bacia. Os municípios de Dormentes e Lagoa Grande têm suas sedes inseridas na bacia, e o de Petrolina está parcialmente inserido na bacia (APAC, 2013).

O Rio Pontal tem como principais afluentes, pela margem direita, os riachos Caieira, Sítio Novo, Terra Nova e Simão. Pela margem esquerda, destacam-se os riachos do Caboclo, Caldeirão, do Dormente, Baixo, do Areia e da Serra Branca, todos intermitentes (APAC, 2013).

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação/PAN – BRASIL, baseado nos estudos de Vasconcelos Sobrinho na Sudene (1982) apontou os municípios de Petrolina e Afrânio, pertencentes à bacia do riacho Pontal, como Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD) (BRASIL, 2004).

2.6.2 Grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 (GI8)

O grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 (GI8), localizado entre 07° 18' 29" e 07° 40' 43" de latitude Sul, e 39° 17' 56" e 39° 44' 01" de longitude Oeste, apresenta uma área de 1.298,22 km², representando um percentual de 1,32% da área total do estado e

abrangendo apenas parte do município de Petrolina, incluindo a sua sede (PERNAMBUCO, 2011).

O grupo GI8 é formado por pequenos riachos intermitentes que deságuam na margem esquerda do rio São Francisco. Destacam-se, dentre eles, os riachos Vitória, das Porteiras, Salina, Bebedouro e Imburana, que drenam a porção sul do município de Petrolina (APAC, 2013).

No GI8, o município de Petrolina, em termos de áreas prioritárias para a conservação da caatinga, é considerado de importância biológica extrema e grau de vulnerabilidade média, sendo recomendado pelo Ministério do Meio Ambiente o uso sustentável dos recursos naturais, na publicação Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. (BRASIL, 2002).

2.7 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS

A cidade de Petrolina está inserida nos domínios da macrobacia do Rio São Francisco, da bacia hidrográfica do Rio Pontal e do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores. O Rio São Francisco banha a cidade e é essencial para a economia e vida da região. Além de ser fonte de energia para população, ainda é uma das poucas fontes de água potável para a população. Assim, o rio São Francisco carrega a responsabilidade de garantir o desenvolvimento econômico da região, como por exemplo, a fruticultura irrigada envolvida no Vale do São Francisco, entre os municípios de Petrolina/PE e Juazeiro/BA, onde há a maior produção de frutas como manga e uva voltadas para exportação.

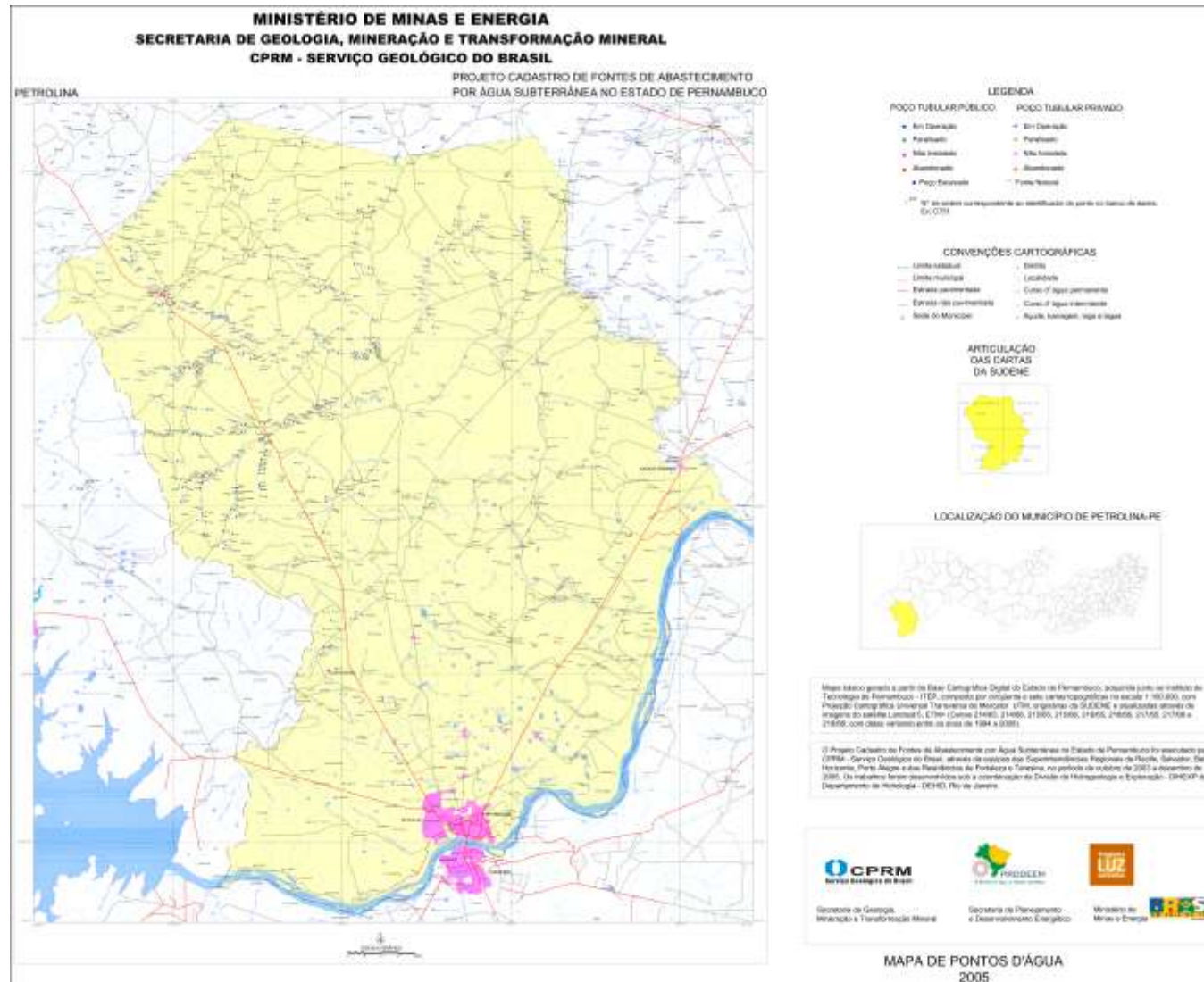
Os principais tributários do município de Petrolina são o Rio Jardim e os riachos Baixa Salina, da Pedra Preta, Baixa do Procópio, Bom Jesus, Terra Nova, da Grota Grande, do Maçarico, Baixa do Coveiro, Baixa do Boi, Goela do Mocó, do Estandarde, da Porca, Baixa do Malaquias, Barreiro, Baixa do Morro Branco, Baixa das Panelinhas, Satisfeito, do Caboclo, Barra da Cabeceira, do Dormente, São Bento, do Encantado, da Caieira, do Pontal, do Tanque Novo, do Tigre, Salina, Santa Fé, Sítio Novo, Baixa do Moronjongo, Baixa do Eugênio, Baixa do Gergelim, Baixa do Quarenta e Nove, do Barreiro, Baixa dos Velhos, Baixa da Vassoura, Baixa do Caldeirão, Baixa da Imburana Grande, do Corredor, Varginha, dos Cachorros, do Simão, Imburana, do Cavalo Morto, Baraúna, Baixa do Santinho, da Cruz, Baixa do Juá, da Salina, Baixa do Serafim, Baixa do Socorro, Baixa do Mulungu, da Formosa, da Areia, da Viração, do Espanto, do Simão, Baixa da Marreca e da Lagoa de

Pedra. Todos os cursos d'água, à exceção do Rio São Francisco, têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (CPRM, 2005).

Os principais corpos de acumulação na cidade são: Açudes - Baixa do Icó, Cacimba Velha, Cruz de Salina, Morros, Pau Ferro, Poço da Onça, Terra Nova, Vira Beiju, Barreira Alegria, Roça, da Consolação, da Comprida e Rajada; e Lagoas - da Marreca, Nova, da Craíba, do Junco, da Areia, do Pajeú, do Capim, da Tapera, das Cabaças, do Caldeirão, do Espinho, Tabuleiro, do Saco, do Peixe, dos Cavalos, do Veado, do Boi, do Curral Velho, do Pau-Ferro, do Muquém, da Boa Vista, do André, do Arroz, do Sovaco, Alagadiço, Redonda, da Formosa, do Barro e do Simão (CPRM, 2005).

Em relação às águas subterrâneas, no município de Petrolina têm sido executados centenas de poços para exploração das águas subterrâneas, tanto em propriedades públicas como em privadas. Em um levantamento realizado em 2005, foram registrados a existência de 752 pontos d'água, sendo 115 poços escavados e 637 poços tubulares (CPRM, 2005). Pode ser visto na Figura 7 o mapa da localização das fontes de abastecimento por água subterrânea em Petrolina/PE

Figura 7 – Mapa das fontes de abastecimento por água subterrânea em Petrolina/PE



2.8 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O Uso e Ocupação do Solo é definido em função das normas relativas a densificação, regime de atividades, dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo, que configuram o regime urbanístico.

A vegetação da bacia hidrográfica do Rio Pontal é basicamente composta por Caatinga hiperxerófila, apresentando flora rica em cactáceas e bromeliáceas no estrato rasteiro. É do tipo “savanícola”, com predominância de plantas espinhosas decíduais, classificada como Savana Estépica Arborizada. No estrato arbóreo, dominam ecótipos endêmicos como Umbuzeiro, Umburana de Cambão, Favela, Pereiro, Jurema, Angico, Aroeira. Ao longo da bacia, há uma variação fitossociológica, em que a densidade, frequência e dominância das espécies são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (APAC, 2013).

No alto Pontal, o uso e ocupação do solo é representado, sobretudo, por grandes extensões de áreas antropizadas com fragmentos de vegetação arbustiva arbórea aberta. A vegetação ciliar dos pequenos riachos intermitentes e dos reservatórios dessa região encontra-se bastante devastada, com suas Áreas de Preservação Permanentes (APP) exploradas pelas atividades agrícolas (feijão e mandioca) e pecuária (ovino-caprinocultura), uma vez que essas áreas dispõem de maior oferta hídrica para subsidiar tais atividades. Destaca-se também a exploração excessiva dos recursos madeireiros e o uso descontrolado do fogo como método de limpeza nas áreas de pastagens (APAC, 2013).

No médio Pontal, há predominância de vegetação arbustiva arbórea aberta. A atuação antrópica também se concentra no entorno dos corpos d’água substituindo as matas ciliares, a exemplo do reservatório de Cruz de Salina, onde a vegetação ripária foi totalmente devastada. Esse antropismo verifica-se, principalmente, nas culturas de mandioca, feijão, mamona, milho e melancia, na fruticultura e na pecuária de ovinos e caprinos (IBGE, 2006).

Semelhante às regiões anteriores, a situação do uso e ocupação do solo do baixo Pontal caracteriza-se, na maior parte, pela vegetação arbustiva arbórea aberta e arbustiva arbórea fechada (APAC, 2013). O antropismo é mais intenso nas regiões ribeirinhas, sendo caracterizado, sobretudo, por fruticultura irrigada e ovino-caprinocultura. O Vira Beiju, maior reservatório da região, tem resquício de vegetação ciliar, e vem a sofrer pressão das culturas agrícolas ali existentes (IBGE, 2006).

Tem havido as ações de perenização de alguns afluentes do Rio Pontal desenvolvidas pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), como também para ações de adução das águas do Rio São Francisco para o Pontal norte e sul (regiões no baixo Pontal) que tem aumentado a oferta hídrica da região, proporcionando aumento das atividades agrícolas nas Áreas de Preservação Permanente (CODEVASF, 2011).

A vegetação da Bacia do Rio Pontal se encontra bem degradada, situação essa que pode vir a gerar um maior problema hídrico para a região, tendo em vista que, com a exposição do solo, há um escoamento superficial rápido e menor infiltração, diminuindo o tempo de concentração da água na bacia, além da aceleração dos processos erosivos. A vegetação ripária do alto curso do Rio Pontal, região das principais nascentes, encontra-se em situação mais crítica; entretanto, também se deve estar atento para a expansão da fruticultura irrigada no baixo curso do riacho e para as ASD apontadas pelo Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (APAC, 2013).

Com vegetação nativa semelhante à da bacia hidrográfica do Rio Pontal, a vegetação do GI8 é basicamente composta por caatinga hiperxerófila, apresentando uma flora rica em cactáceas e bromeliáceas no estrato rasteiro. É do tipo “savanícola”, com predominância de plantas espinhosas decíduais, classificada como Savana estépica arborizada (APAC, 2013). No estrato arbóreo, dominam ecótipos endêmicos como Umbuzeiro, Umburana de Cambão, Favela, Pereiro, Jurema, Angico, Aroeira. Ao longo da bacia, há uma variação fitossociológica, em que a densidade, frequência e dominância das espécies são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (LIMA, 1994; DRUMOND *et. al.*, 2000).

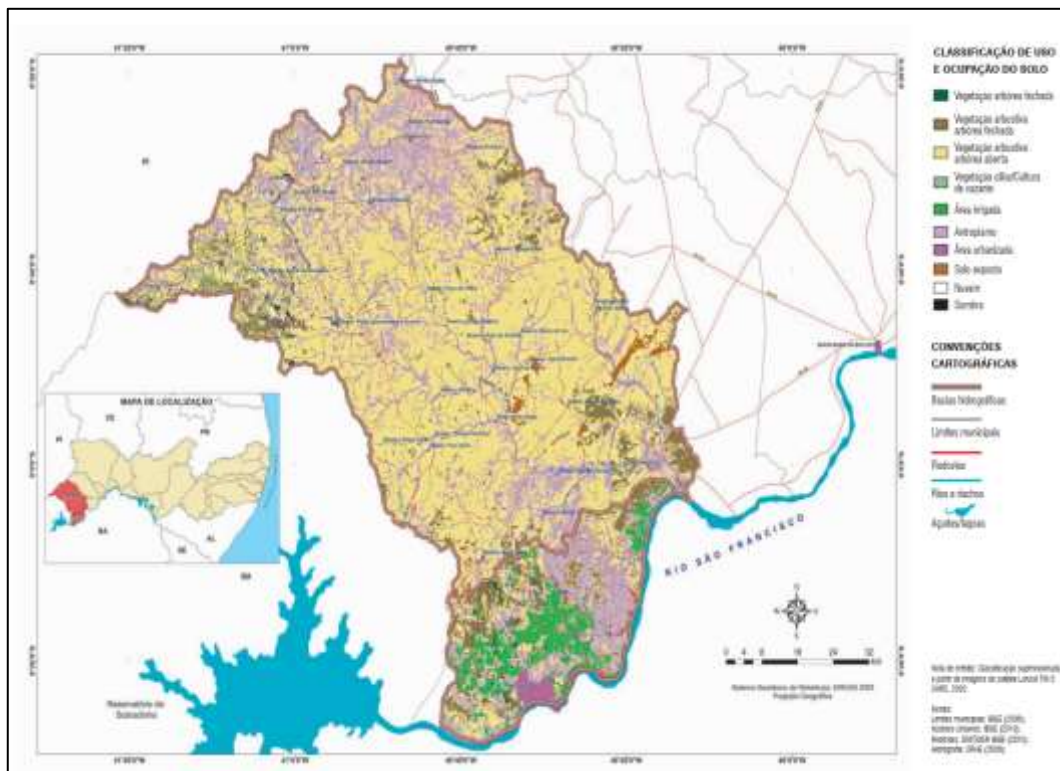
De modo geral, o grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 possui vegetação ciliar parcialmente conservada, mas sob intensa pressão antrópica devido, sobretudo, à fruticultura irrigada, devendo-se atentar para as Áreas Susceptíveis à Desertificação (APAC, 2013).

A situação política e econômica do município de Petrolina modificou completamente a ocupação da terra no grupo de bacias de pequenos rios interiores (GI8), devido à implantação de grandes projetos de irrigação. Os perímetros irrigados da Codevasf substituíram a caatinga por áreas de fruticultura irrigadas. No entanto, apesar da intensa exploração humana nesse grupo de bacias, as APPs dos riachos estão parcialmente conservadas (APAC, 2013).

Salienta-se que o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação/PAN-BRASIL, baseado nos estudos de Vasconcelos Sobrinho na Sudene (1982), apontou o município de Petrolina como ASD – Área Susceptível à Desertificação (BRASIL, 2004). O caso de maior destaque é o do distrito da Tapera, localizado a 35 km da sede de Petrolina (APAC, 2013).

A salinização do solo é um dos fatores que contribuem para o processo de desertificação. Nas áreas de agricultura irrigadas é comum o surgimento de salinidade provocada pela água de irrigação, contendo concentrações elevadas de sais, decorrentes de práticas de manejo que não visam à conservação da capacidade produtiva dos solos, da ausência de sistemas de drenagem, e do uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes (APAC, 2013). A Figura 8 mostra a classificação de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas do Rio Pontal e do Grupo de Rios Interiores - GI8, e sua localização no município de Petrolina/PE.

Figura 8 – Classificação de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas do Rio Pontal e do Grupo de Rios Interiores - GI8



Fonte: APAC (2013).

Em termos de comparação, Folharini e Souza (2019) analisaram as principais formas de uso e ocupação da terra no município de Petrolina (PE), utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) derivado de imagens LANDSAT-8 (OLI). Esse índice é

amplamente utilizado na bibliografia para estudar o comportamento da vegetação. Os dados e aplicação do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) foram integrados e processados no software ENVI 5.5 e o mapeamento final organizado no Sistema de Informação Geográfica ArcGIS™.

Mediante a análise do comportamento espectral dos locais, tornou-se possível observar que a agricultura assume forte relevância espacial e econômica no submédio vale do rio São Francisco. Explica-se tal preponderância pela proximidade da área com os recursos hídricos, utilizados amplamente no desenvolvimento da vinicultura na região e demais cultivos irrigados, que possibilitam a existência de lavouras permanentes em meio ao ambiente semiárido tropical.

Os dados de Produção Agrícola Municipal em relação à área colhida e quantidade produzida indicam um crescimento fundamental para o desenvolvimento da agricultura do município, conseguindo duas vezes mais produção em uma mesma área. Esse dado indica que foram utilizadas medidas tecnológicas para aumentar a produção por área. (IBGE, 2016). No campo da tecnologia, com o desenvolvimento de maneiras de monitoramento das plantações agrícolas, uma alternativa é a utilização do NDVI para gerar classificações derivadas de imagens LANDSAT 8 (OLI), como o apresentado na

Figura 9.

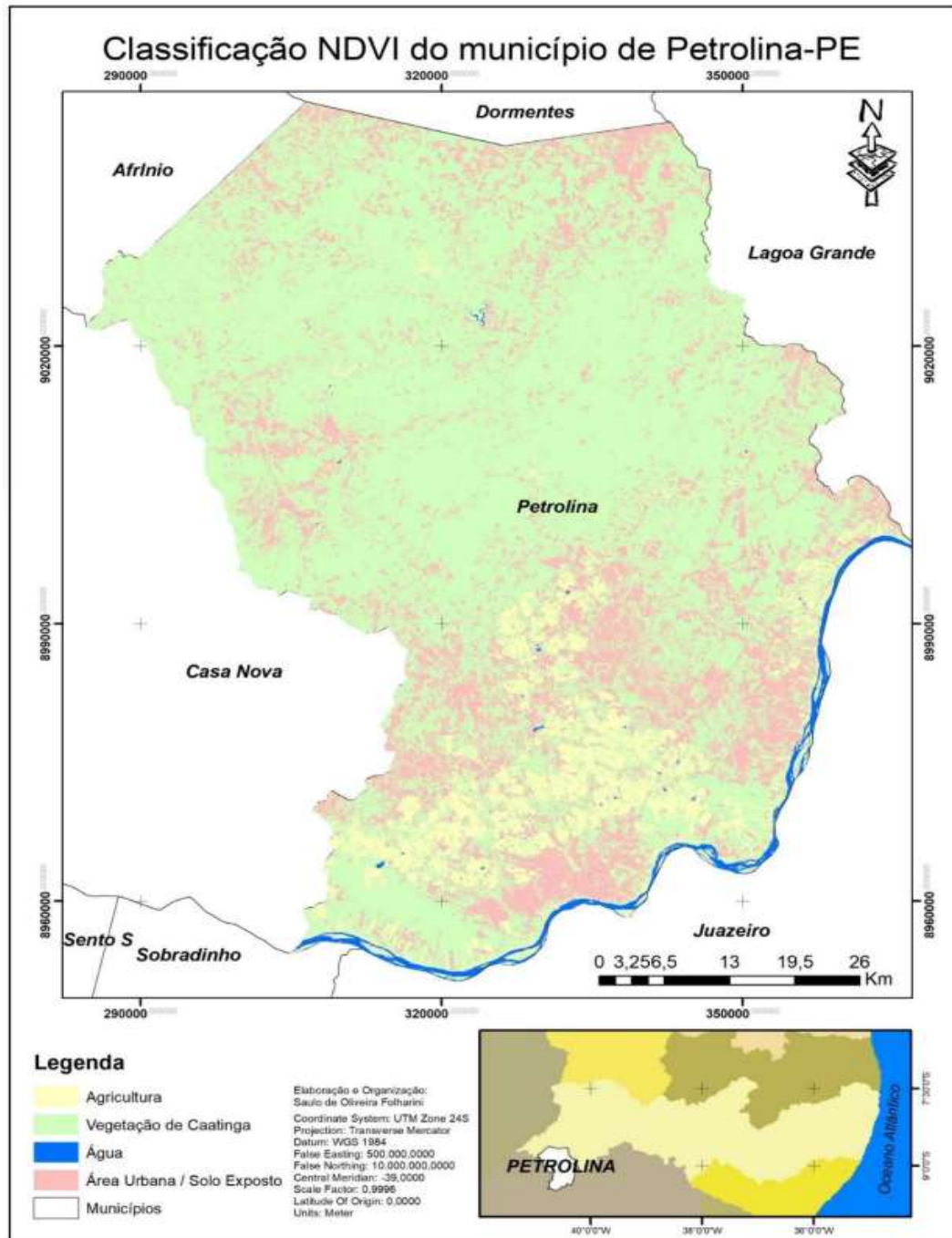
Os resultados obtidos por esse estudo atestam a elevada ocupação da área em estudo pela vegetação de Caatinga, seguidos pelas áreas agrícolas e áreas urbanas próximas ao rio São Francisco.

Com relação à área urbana de Petrolina, Andrade *et. al.* (2021) avaliaram o uso do sensoriamento remoto, a partir de imagens de satélite, para caracterizar os espaços verdes arbóreos de Petrolina. A avaliação foi feita com uso de imagens orbitais, classificadas pela técnica de segmentação e validadas, e, em seguida, foram quantificadas as áreas verdes e calculado o índice de área verde. Nesse cálculo, incluem-se todas as áreas verdes, com plantas nativas ou não, que são consideradas na composição da arborização na cidade de Petrolina para obtenção do lazer, conforto térmico ou arquitetura urbanística.

A imagem foi submetida à técnica de segmentação, com o uso do software ARCGIS 10.2, que consiste em agrupar regiões a partir de pixels individuais, propondo um agrupamento de regiões baseado no conceito de região vizinha mais similar, que acarreta na junção espacial de pares semelhantes, quando são definidos os contornos, fazendo uma

base com propriedades dos níveis de cinza, onde as classificações vêm por valores de similaridade espectral e o tamanho da área. Desta forma, por meio das imagens de satélite, é possível a classificação da vegetação, dos usos do solo, tipos de rochas, dentre outros (ANDRADE *et. al.*, 2021).

Figura 9 – Uso e ocupação no município de Petrolina/PE em 2017



Fonte: Folharini e Souza (2019).

A partir da segmentação, as áreas foram classificadas conforme os tipos de uso e ocupação das terras observadas em campo: áreas de corpo de água foram associadas aos

pontos de rio e lagos; áreas de solo exposto incluíram as áreas onde o solo encontrava-se totalmente descoberto, devido à ausência de cobertura vegetal; as áreas urbanas incluem os locais com casas, prédios ruas e vias pavimentadas; as áreas de vegetação de caatinga compreendem todos os locais com áreas de vegetação nativa que estão preservadas por serem propriedades privadas, reservadas para loteamentos futuros e, finalmente, o espaço verde urbano compreendendo os locais associados à jardins, parques, praças e vias arborizadas.

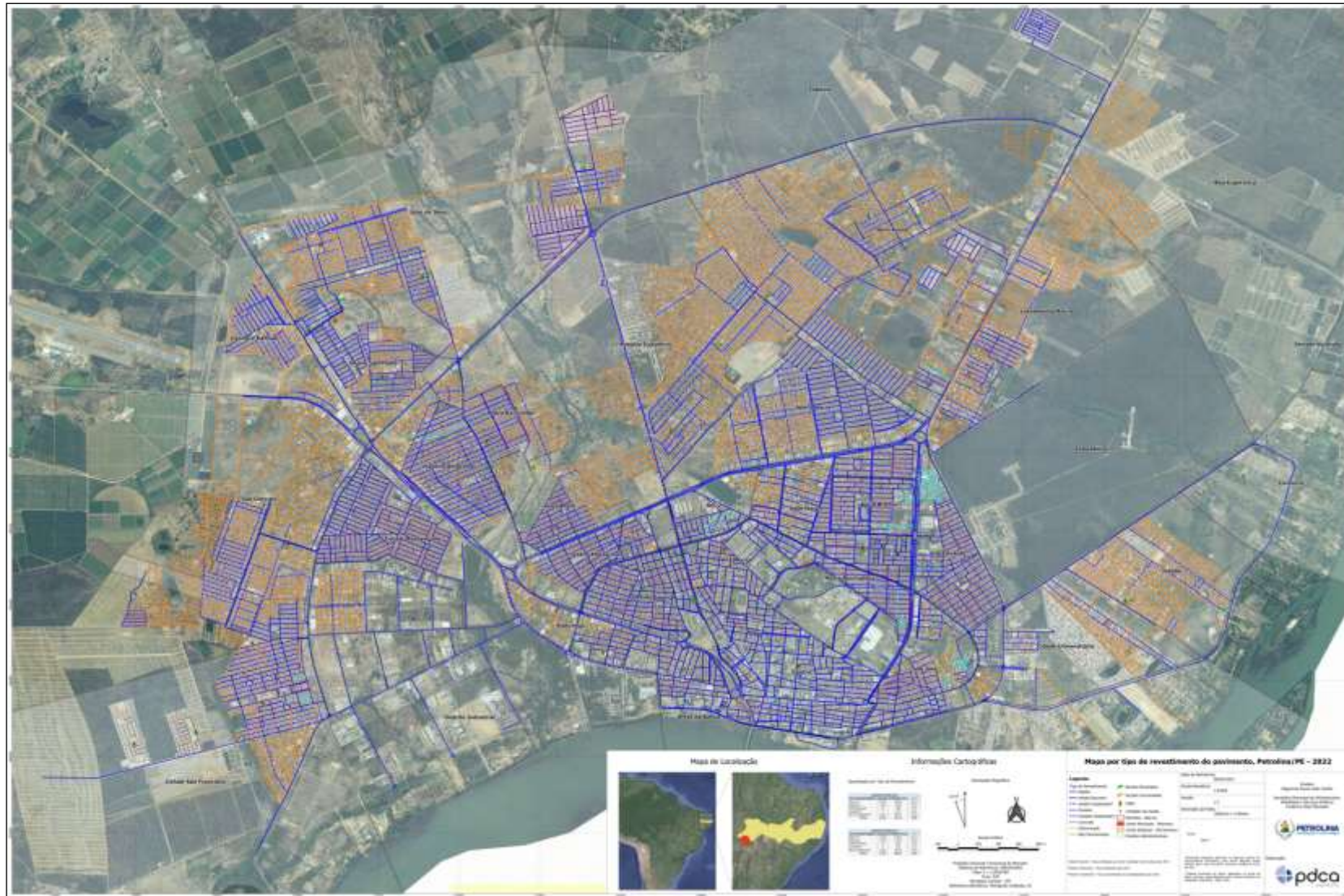
O mapeamento resultante do tratamento e processo de segmentação realizado mostra que a distribuição com maior densidade das classes de área urbana e áreas verdes são concentradas no centro da cidade, nas áreas de caatinga e solo exposto são mais concentrados nos bairros periféricos.

Desta forma, outro aspecto a ser observado é a presença do solo exposto, que corresponde a cerca de 20% da área total delimitada no mapa, por conta da infraestrutura inacabada, pois muitos bairros da cidade estão sendo loteados e outros não possuem pavimentação nas ruas e vias de acesso (ANDRADE *et. al.*, 2021). Consta na Figura 10 o mapa do município de Petrolina/PE com a classificação das ruas por tipo de revestimento de pavimento.

Por ser mais concentrada em locais específicos no centro da cidade, algumas áreas também são consideradas áreas verdes, possuindo espécies nativas incorporadas em avenidas, ruas e até em praças, onde são desenvolvidas práticas esportivas, parques de recreação e ambiente de lazer e convivência durante o cotidiano da população. Há uma dificuldade na diferenciação da área verde urbana em relação à área de caatinga, devido ao fato de possuírem características morfológicas das espécies compartilhadas.

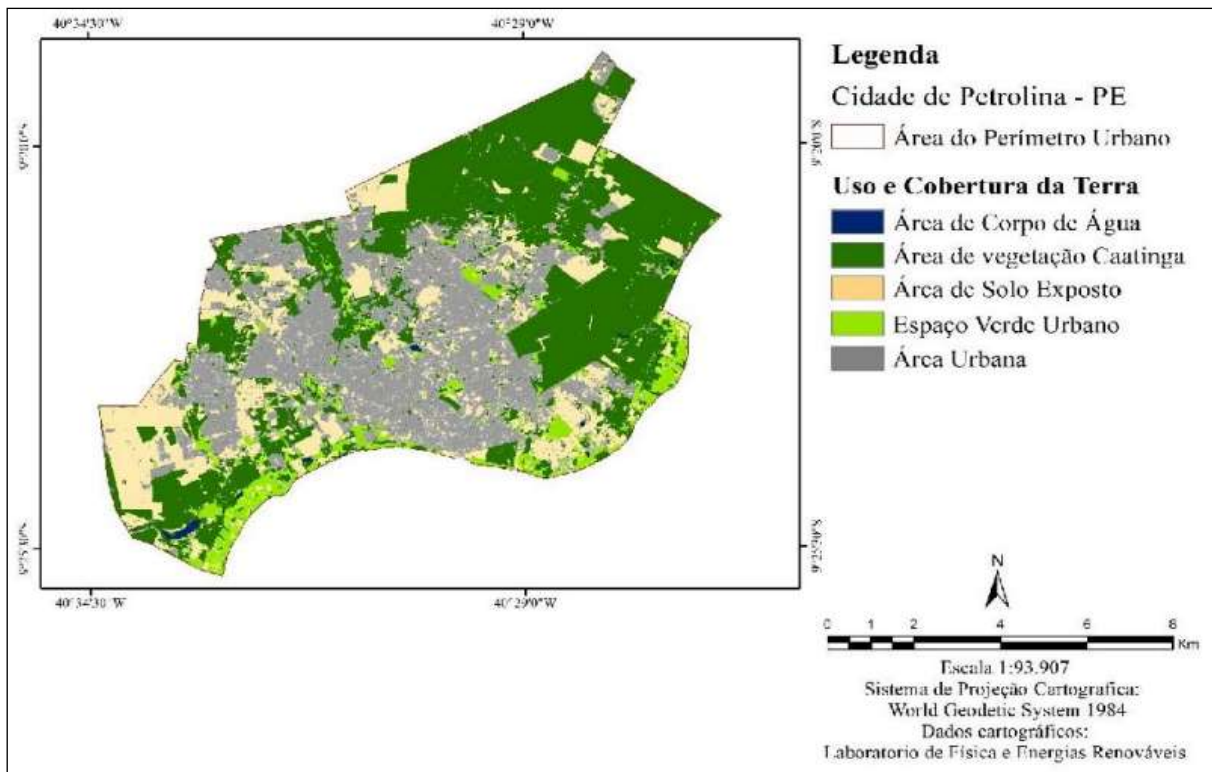
Considerando a distribuição das áreas, por classes de uso e ocupação da terra, as áreas verdes têm mínima porcentagem, cerca de 8%, que se concentra no centro da cidade. O que vem a mostrar que as áreas periféricas ainda não existem trabalhos voltados para a arborização. Seguindo a classificação, vêm as áreas de solo exposto, com 20%, as áreas urbanas, com 30% e as áreas de Caatinga, que ocupa 41% (ANDRADE *et. al.*, 2021). A Figura 11 mostra o mapa de uso e ocupação do solo do perímetro urbano de Petrolina/PE, resultado do estudo apresentado.

Figura 10 – Classificação das ruas de Petrolina/PE por tipo de revestimento de pavimento



Fonte: PDCA (2022).

Figura 11 – Mapa de uso e cobertura das terras do perímetro urbano de Petrolina/PE



Fonte: Andrade *et. al.* (2021).

2.9 MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica constitui-se como um procedimento muito importante, utilizado previamente nas análises hidrológicas e/ou ambientais, tendo como objetivo esclarecer questões sobre o entendimento das dinâmicas, locais e regionais, da infiltração, quantidade de deflúvio, evapotranspiração, e do escoamento superficial e subsuperficial (TEODORO *et. al.*, 2007).

Um estudo realizado por Silva *et. al.* (2012) veio a analisar o risco de degradação presente na bacia hidrográfica do Rio Pontal, partindo de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto da superfície, cujos parâmetros morfométricos da bacia de drenagem foram obtidos pelo MDE (Modelo Digital de Elevação), com utilização de técnicas de geoprocessamento com software ARCGIS 9.3.

A Tabela 1 apresenta algumas características morfométricas avaliadas na bacia de drenagem do Rio Pontal. De acordo com os parâmetros da tabela, a bacia em estudo apresenta densidade de drenagem inferior a 0,4 km/km² assim como baixa densidade hidrográfica. Além disso, a bacia de drenagem do Rio Pontal, em condições normais de

precipitação, isto é, excluindo-se eventos de intensidades anormais, é pouco susceptível a enchentes.

Tabela 1 – Características dimensionais da rede de drenagem da bacia do Rio Pontal

Parâmetros morfométricos analisados	
Área da Bacia	6057,0 km ²
Perímetro da bacia	464,0 km
Comprimento do eixo da bacia	102,0 km
Comprimento do Rio principal	147,6 km
Comprimento da rede de drenagem	2060,0 km
Número de segmentos de rios	730
Densidade de drenagem	0,34 (km/km ²)
Padrão de drenagem	Dendrítico
Densidade hidrográfica	0,12 (canais/km ²)
Razão de textura	1,57 (km)
Fator de forma	0,58 (m ² /m)
Coefficiente de compacidade	1,67 (m/m ²)
Índice de circularidade	0,35

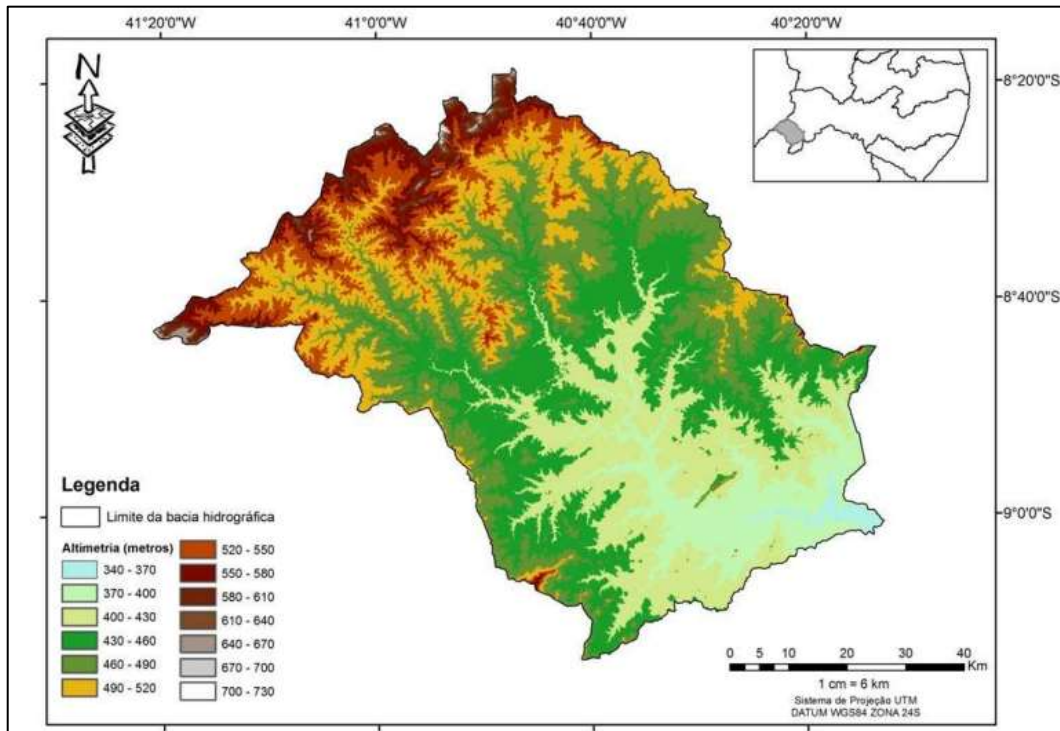
Fonte: Silva *et. al.* (2012).

Os resultados demonstraram que a bacia do Rio Pontal possui uma área total de 6057 km² e perímetro de 464 km. A hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do Rio Pontal é de ordem 5 e o padrão de drenagem predominante nessa bacia é do tipo dendrítico. A bacia apresentou um comprimento total de cursos d'água de 2060 km, com um curso principal de 147,6 km.

A bacia de drenagem do Rio Pontal possui uma altitude mínima de 354 m e máxima de 713 m, apresentando uma altitude média de 464 m e uma amplitude de 359 m, como pode ser visto no seu mapa hipsométrico (Figura 12). Trentin e Robaina (2005) comentam que o mapa hipsométrico tem fundamental importância na análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias à dessecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude.

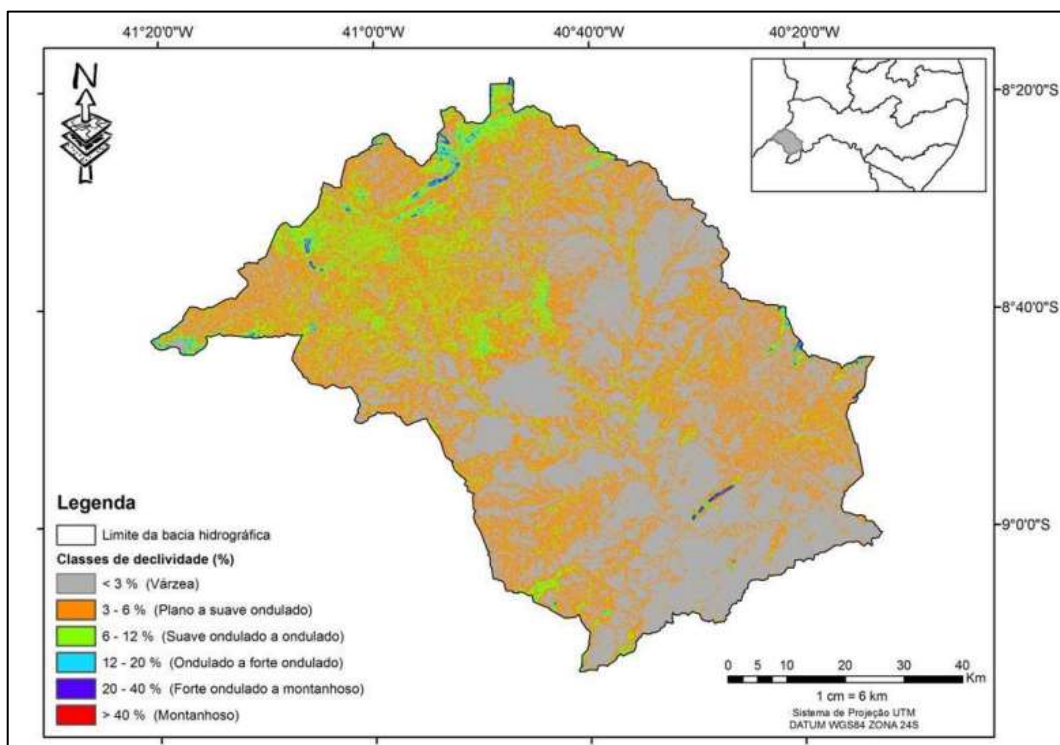
A declividade máxima foi de 48%. Já a declividade média apresentada foi de 3,3%, conforme o mapa de declividade da bacia do Rio Pontal (Figura 13). Mais da metade da área da bacia (88,8%) apresentou declividades menores que 6%, o que corresponde à, segundo classificação de De Biase (1993), um relevo de várzea plano à suave ondulado, correspondendo a mais de 5376,2 km² de extensão.

Figura 12 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Riacho do Pontal – PE



Fonte: Silva *et. al.* (2012).

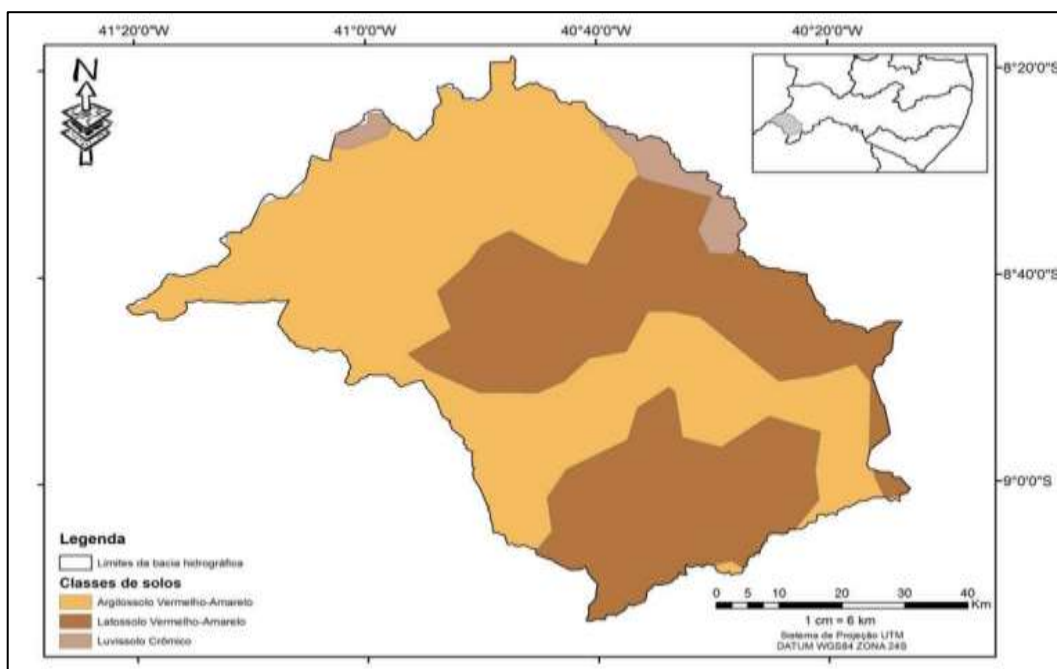
Figura 13 – Mapa da declividade da bacia hidrográfica do Rio Pontal



Fonte: Silva *et. al.* (2012).

A bacia hidrográfica do Rio Pontal apresenta predomínio de três classes de solos, como ser visto na Figura 14, que mostra o mapa de solos da bacia do Rio Pontal, sendo mais de 3200 km² ou 54% do total da área da bacia pertencentes a classe de Argissolo Vermelho-Amarelo. A classe de Latossolo Vermelho-Amarelo representa pouco mais de 2500 km², e a última classe de solo é a do Luvisolo Crômico, apresentando apenas 3,2% da área total. Ressalta-se que a caracterização pedológica é de grande valia, tendo em vista que os diferentes tipos de solo apresentam susceptibilidade diferenciada à erosão, mesmo que sejam consideradas condições similares de declividade, de cobertura vegetal e de práticas de manejo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Figura 14 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Pontal



Fonte: Silva *et. al.* (2012).

2.10 ESTUDOS E PROJETOS EXISTENTES - ANÁLISE DAS OBRAS EM CURSO E PROGRAMADAS

Foram analisados os projetos em curso no município de Petrolina, cuja análise esteve focada nos projetos de drenagem apresentados pela Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade, com influência no Plano de Macrodrenagem do município de Petrolina. São os seguintes, caracterizados a seguir:

- Projeto do Loteamento Areia Branca;
- Projeto do Loteamento Nova York;
- Projeto da Orla III; e

- Projeto da Transnordestina.

2.10.1 Projeto do Loteamento Areia Branca

O referido projeto apresenta algumas inconsistências, tais como: (i) base de dados do estudo pluviométrico contempla até o ano de 2019, sendo considerada desatualizada, uma vez que o projeto foi apresentado no ano de 2022; (ii) há ainda ponto baixo sem coleta, podendo gerar uma futura área de alagamento.

2.10.2 Projeto do Loteamento Nova York

O referido projeto apresenta algumas inconsistências, tais como: (i) base de dados do estudo pluviométrico contempla até o ano de 2019, sendo considerada desatualizada, uma vez que o projeto foi apresentado do ano de 2022; (ii) o desague final no canal do Alto Cheiroso não possui estudo prévio sobre o acréscimo de vazão excedente, podendo não comportar a chegada de uma galeria com $\varnothing=1500\text{mm}$ em sua calha, o que poderá ocasionar um grande impacto para a macrodrenagem, afetando uma avenida de grande importância para o município.

2.10.3 Projeto do Orla III

O referido projeto apresenta sua concepção como uma rodovia vicinal, conforme estabelecido no Termo de Referência de sua contratação estabelecida pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF. No entanto, o local onde será implantado é considerado, conforme o Plano Diretor Municipal (aprovado no ano de 2022), como área residencial urbana. Com isso, o projeto de drenagem desta via apresenta algumas inconsistências, quando considerado em área urbana, tais como: (i) descon sideração das saídas de micro drenagem do bairro; (ii) estudo hidrológico e dimensionamento do sistema de drenagem não mencionam as bacias de contribuição, que devem fornecer as áreas a serem trabalhadas; (iii) possível interferência com o sistema de esgoto sanitário do local; (iv) é preciso ainda avaliar a necessidade de escoramento para as caixas e/ou poços de visita; (v) recomenda-se a utilização do tempo de retorno de 10 anos para os dimensionamentos dos dispositivos de drenagem superficial e profunda.

2.10.4 Projeto da Avenida Transnordestina

Este projeto apresenta sua concepção como uma variante de grande importância e ligação para o município, transpassando o Riacho das Porteiras, o qual, por sua vez, possui uma grande influência de alagamento. A análise foi feita apenas sobre o projeto de drenagem, sendo visualizados grandes impactos na macrodrenagem da bacia do riacho supracitado, da Lagoa São Joaquim e da Lagoa Dom Avelar. Tem-se algumas sugestões: (i) a princípio, vale salientar que projetar pontes nas transposições do Riacho das Porteiras significará dar vazão às águas provenientes dele, o que não está tecnicamente incorreto, mas com essa liberação tem-se problemas à sua jusante, que passa por áreas muito populosas; (ii) os bueiros transversais na bacia do Riacho Pau Ferro não possuem soluções com destino para as águas, apenas transposição de talvegues, podendo ocasionar alagamentos em áreas com urbanização consolidada; (iii) os estudos hidrológicos e dimensionamentos do sistema de drenagem não mencionam as bacias de contribuição que devem fornecer as áreas a serem trabalhadas; (iv) por fim, recomenda-se a utilização do tempo de retorno de 10 anos para os dimensionamentos dos dispositivos de drenagem superficial e profunda.

3 LEVANTAMENTO DE DADOS SOCIOECONÔMICOS

O levantamento de dados socioeconômico do município de Petrolina/PE foi realizado utilizando dados do IBGE (2021), que são disponibilizados conforme cronograma previsto pelo IBGE. Observou-se que algumas informações estão defasadas no tempo, considerando que o último censo realizado pelo IBGE foi em 2010.

3.1 ÁREA E LOCALIZAÇÃO

O município de Petrolina está localizado no estado de Pernambuco, no Nordeste do Brasil, na mesorregião do sertão pernambucano e na microrregião de Petrolina. Com área territorial de 4.562 km², localiza-se na região de desenvolvimento do sertão do São Francisco, e situa-se nas coordenadas 9° 23' 34"S / 40° 30' 28"W. Com relação os municípios limítrofes, Petrolina faz divisa com Dormentes/PE, ao norte, com Juazeiro/BA, ao sul, com Afrânio/PE e Casa Nova/BA, ao oeste, e com Lagoa Grande/PE, ao leste. Além disso, Petrolina localiza-se a cerca de 713 km da capital de Pernambuco, Recife.

A Lei Complementar nº 034/2022, que institui o novo Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina e dá outras providências (PETROLINA, 2022), busca, entre outros objetivos, promover a revisão e atualização da legislação urbanística e da divisão político-administrativa do município. A área urbana de Petrolina é constituída pelos distritos: Sede de Petrolina, Cristália, Curral Queimado e Rajada. Segundo o Art. 27º da Lei Complementar nº 034/2022, o território do Município de Petrolina fica dividido em duas Macrozonas:

- A Macrozona Rural, com área territorial de 4341,23 km², que corresponde à porção do território destinada à implantação de usos e atividades agropecuárias, agroindustriais, de turismo rural, bem como à conservação e recuperação da vegetação existente e dos recursos hídricos; e
- A Macrozona urbana, com área territorial de 220,77 km², que corresponde às porções urbanizadas do território destinadas à implantação de usos e atividades de natureza urbana e compreende a rede urbana de perímetro descontínuo, formada pelos núcleos urbanos já existentes e pelos núcleos urbanos da Macrozona Rural.

A Macrozona Rural compreende três áreas definidas em função das suas características geográficas e de seu aproveitamento econômico, assim denominadas: Áreas Ribeirinhas do Rio São Francisco; Áreas de Sequeiro; e Áreas dos Perímetros Irrigados,

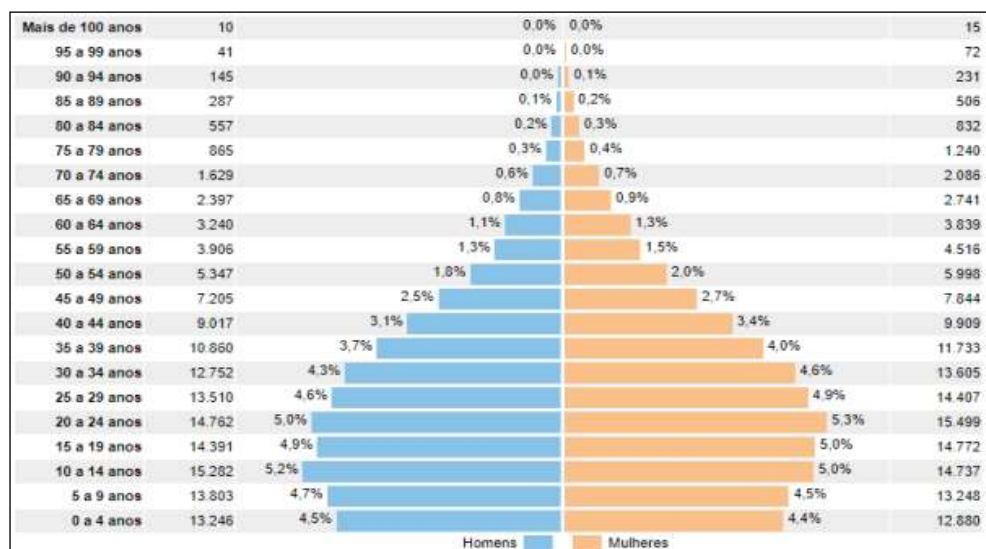
conforme o Art. 28º da Lei Complementar nº 034/2022 (PETROLINA, 2022). Nas áreas rurais de Petrolina/PE, há vários núcleos populacionais urbanizados, chamados de zonas de urbanização em consolidação. Estas regiões estão sendo influenciadas pela irrigação e prática da agricultura, acelerando o processo de urbanização do seu entorno, com a inserção de equipamentos urbanos e o surgimento de agrovilas.

3.2 POPULAÇÃO

A população estimada atual (2021) de Petrolina é de 359.372 habitantes, segundo IBGE (2021). Essa estimativa foi calculada pelo método matemático desenvolvido por João Lira Madeira e Celso Cardoso da Silva Simões, denominado AiBi, que utiliza como insumos básicos as populações obtidas pelas Projeções da População para o Brasil e as Unidades da Federação mais recentes, além do crescimento populacional de cada município na última década. A população do município no censo de 2010 foi de 293.962 habitantes, um aumento de 22,3% no número de habitantes. O município tem extensão territorial de 4.561,87 km². A densidade demográfica, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 64,44 hab/km². Considerando a população atual estimada, a densidade demográfica de Petrolina em 2021 é de 78,78 hab/km².

A Figura 15 mostra a Pirâmide Etária de Petrolina do ano de 2010, de acordo com o último censo do IBGE (2021), que divide a população de acordo com o gênero e faixa etária. Observa-se que a maior porcentagem de homens se concentra na faixa etária de 10 a 14 anos, com 15.282 homens, seguida da faixa etária de 20 a 24 anos, com 14.762 homens.

Figura 15 – Distribuição da população de Petrolina por faixa etária e gênero



Fonte: IBGE (2021).

Com relação às mulheres, a maior porcentagem se concentra na faixa etária de 20 a 24 anos, com 15.499 mulheres, seguida da faixa etária de 15 a 19 anos, com 14.772 mulheres. É importante salientar que essa informação é necessária na elaboração de ações e prestação de serviços de saúde para a população do município.

Com relação ao grau de urbanização de Petrolina, que é o percentual da população urbana em relação à população total do município, a população urbana da cidade no último censo do IBGE de 2010 era de 219.215 habitantes. A população total da cidade era de 293.962. Assim, o grau de urbanização do município é de 74,57%.

3.3 TRABALHO E RENDIMENTO

Com relação ao trabalho e rendimento da população de Petrolina, em 2019, o salário médio mensal era de 2.1 salários-mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 20.3%. Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário-mínimo por pessoa, a cidade tinha 39.8% da população nessas condições segundo o censo do IBGE (2021). O setor que mais emprega em Petrolina é o de serviços, seguido do da agricultura.

3.4 EDUCAÇÃO

Segundo dados de educação de Petrolina, a taxa de escolarização de crianças de 6 a 14 anos de idade, de acordo com o censo de 2010, foi de 97%. Com relação aos dados do Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) de 2019, os alunos dos anos iniciais e finais do ensino fundamental da Rede pública tiveram índice de 6,2 e 5,0, respectivamente. O IDEB é calculado como a média dos resultados padronizados do Saeb de português e matemática multiplicados pela taxa de aprovação do Censo Escolar.

O número de matrículas de alunos no ensino fundamental e no ensino médio em 2020 foi de 59.993 e 16.016 matrículas, respectivamente. O número de estabelecimentos de ensino fundamental e ensino médio em 2020 foi de 179 e 54 escolas, respectivamente. O número de docentes no ensino fundamental e ensino médio foi de 2.246 e 1.001 docentes, respectivamente, em 2020 (IBGE, 2021).

3.5 ECONOMIA

A região de Petrolina é conhecida por ter a fruticultura como uma de suas maiores atividades econômicas, responsável pelo aumento populacional no Vale do São Francisco. No entanto, o desenvolvimento econômico da cidade atrai novos investimentos em diversas áreas, com um crescimento na geração de emprego e renda em outros segmentos do município, como administração pública, construção civil, comércio e serviço.

Segundo dados econômicos de Petrolina fornecidos pelo IBGE (2021), o PIB per capita do município em 2019 foi de R\$ 20.811,26. O PIB de Petrolina é composto em sua maior parte por serviços, seguido pelo setor de indústrias e agropecuária. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de Petrolina, do censo de 2010 do IBGE, foi de 0,697.

3.6 SAÚDE

A taxa de mortalidade infantil média em Petrolina em 2019 foi de 18,07 óbitos para 1.000 nascidos vivos. As internações devido a diarreias, em 2016, são de 0,3 para cada 1.000 habitantes. Segundo o Plano Municipal de Saúde de Petrolina/PE (PMSP, 2017), em 2009, havia 84 estabelecimentos de Saúde (SUS) e 18 estabelecimentos dos prestadores de serviços da Rede Complementar no município.

Atenção Básica (AB) tem um papel importante na estruturação como ordenadora das Redes de Atenção em Saúde (RAS) e coordenadora do cuidado, além de aperfeiçoar o funcionamento político-institucional do Sistema Único de Saúde (SUS). Em Petrolina, a AB é conformada por 44 Unidades Básicas de Saúde (UBS). As ações e os serviços de saúde são ofertados de acordo com as necessidades de saúde da população, considerando a gravidade do risco individual e coletivo (PMSP, 2017).

3.7 TERRITÓRIO E AMBIENTE

Petrolina apresenta 91.9% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 8.7% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio) (IBGE, 2021). O bioma característico do município é a Caatinga. Petrolina é capital regional, sendo município integrante do Arranjo Populacional de Petrolina/PE e Juazeiro/BA.

Com base nos dados fornecidos pelas prestadoras de serviço e também nos resultados gerais do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS, 2016), no que se refere aos dados dos serviços de saneamento básico disponíveis para os domicílios e para a população urbana, cuja responsabilidade é da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), concessionária local prestadora de serviços de abastecimento d'água e de esgotamento sanitário, destacam-se:

- (i) 100% de domicílios são atendidos por rede geral de abastecimento de água;
- (ii) 96,19% dos domicílios contam com rede geral de esgotamento sanitário;
- (iii) 71,73% é o índice de atendimento total de esgoto referido ao município atendido com água.

A empresa prestadora de serviços de energia em Petrolina (PE) é a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE). Ao consultar as séries históricas da Base de Dados do Estado de Pernambuco, foi possível a obtenção de dados referentes ao número de consumidores e o consumo de energia elétrica (MWh) por classe, no ano de 2017. Estes dados informam que o consumo total de energia elétrica foi de 587.360 MWh, e destes, 82,14% se enquadram nas classes residencial, comercial e rural.

4 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS BÁSICAS

O levantamento de informações ambientais básicas inclui dados sobre: e o despejo inadequado de resíduos sólidos e de efluentes sanitários e industriais, a partir de informações do Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina (PE); e a perda da biodiversidade e cobertura vegetal, a partir de estudos fornecidos pela Agência Municipal de Meio Ambiente (AMMA) de Petrolina.

4.1 DESPEJO INADEQUADO DE RESÍDUOS

Neste tópico, será abordado o despejo inadequado de resíduos e efluentes, entre eles, os resíduos sólidos urbanos, de serviços de limpeza urbana, de grandes geradores comerciais e prestadores de serviços, de construção civil, de saneamento, resíduos sólidos industriais e resíduos agrossilvopastoris. Estes resíduos e efluentes causam impactos ambientais significativos, interferindo diretamente na qualidade da água, do ar e do solo; prejudicam a fauna e flora da cidade, interferem no equilíbrio ecossistêmico, degradam o ambiente e deterioram a sustentabilidade do município de Petrolina.

4.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são compostos pelos Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) e os Resíduos de Limpeza Urbana (RPU), e tem seu manejo sob a responsabilidade do Poder Público. Segundo a Lei Federal nº 12.305/2010, no seu art. 3º, os resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível (PLANALTO, 2010).

Os RSU podem ser classificados, conforme o art. 13º da Lei Federal nº 12.305/2010, quanto à sua origem, como resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas; resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, da limpeza de logradouros e vias públicas e de outros serviços de limpeza urbana; e resíduos sólidos urbanos, englobam as definições anteriores (PLANALTO, 2010).

Segundo o SNIS-RS/2015, a taxa de cobertura do serviço de coleta de resíduos domiciliares em relação a população urbana (IN016) apresenta indicador médio da ordem de 96,9% para a Região Nordeste. No entanto, a gestão municipal indica que há uma cobertura integral da coleta resíduos domiciliares na zona urbana. O estudo elaborado pela ABRELPE, publicado em 2015, indica uma taxa de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) coletados no Estado de Pernambuco de 0,829 Kg/hab.

No entanto, com base nos dados de Petrolina no período de 2011 a 2016, a média da taxa de coleta per capita é de 0,849 Kg/hab.dia para os Resíduos Sólidos Urbanos, como pode ser visto na Tabela 2. Os dados de 2017 são referentes ao primeiro semestre do ano, e as populações são baseadas em projeções a partir do Censo 2010 do IBGE.

Tabela 2 – Evolução da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos

Tipologia do resíduo	Quantidade anual coletada (toneladas)						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Domiciliar (RDO)	54.897	55.915	59.043	64.714	63.615	62.633	36.549
Podação (RPU)	1.196	1.130	763	980	690	682	391
Raspagem (RPU)	11.332	10.851	6.188	6.049	7.510	4.958	3.214
Entulho (RPU)	22.601	22.130	22.268	14.430	26.257	13.498	46.755
Total	67.425	67.896	65.994	71.743	71.815	68.273	86.909
Pop. Urbana (hab)	220.069	220.923	221.777	222.623	223.486	224.340	225.194
Taxa per capita (kg/hab.dia)	0,839	0,842	0,815	0,883	0,880	0,834	0,489

Fonte: CTR Petrolina, adaptado por PMGIRS (2020).

Os resíduos sólidos urbanos de Petrolina tinham sua disposição final no Lixão do Raso da Catarina, como era conhecido até dezembro de 2006, uma área de cerca de 20 hectares, localizada no perímetro urbano do município, no bairro José e Maria. A área era utilizada inicialmente para extração de areia, porém, desde o início dos anos 1990, foi utilizada para disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos de Petrolina (PMGIRS, 2020). Os resíduos eram dispostos de maneira desordenada, sem controle de acesso de pessoas no local, e sem nenhuma técnica de disposição envolvida, expondo a população que habita em seu entorno a poluição e insalubridade, como pode ser visto na Figura 16.

Em 30 de novembro de 2006, foi assinado um contrato entre a Prefeitura de Petrolina e a CTR Petrolina, dando início à primeira concessão do Estado com foco na destinação final de resíduos sólidos durante um período mínimo de 20 anos. A partir de dezembro de 2006, a Empresa CTR Petrolina iniciou um trabalho de recuperação ambiental no local do

antigo lixão, transformando o local em uma Área de Remediação Ambiental (ARA) através da implementação de ações sanitárias específicas (PMGIRS, 2020).

Figura 16 – Situação da disposição final no Lixão Raso da Catarina em 2006



Fonte: PMGIRS (2020).

Como remediação ambiental, se desenvolveram atividades, como mostra a Figura 17, como: compostagem de material orgânico, unidade de beneficiamento de entulho, tratamento de lâmpadas fluorescentes, ações de educação ambiental, viveiro e plantio de mudas para recomposição vegetal da área, dentre outras atividades (PMGIRS, 2020).

Figura 17 – Atividades desenvolvidas na área como remediação ambiental

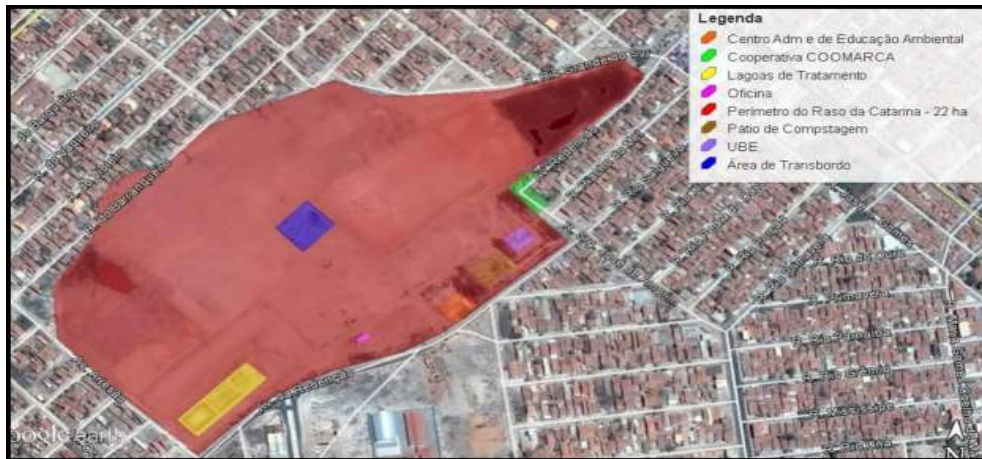


Fonte: PMGIRS (2020).

Esta área manteve-se operando em condições de Aterro Controlado, até que a nova Central de Tratamento de Resíduos estivesse licenciada e pronta para entrar em operação (PMGIRS, 2020). A Figura 18 mostra a localização da área que será recuperada. A

expectativa é que futuramente esta área se torne um parque ambiental urbano, reintegrando-a como uso recreativo e lazer da comunidade do entorno.

Figura 18 – Localização da área de recuperação ambiental



Fonte: Google Earth (2017), adaptado por PMGIRS (2020).

A área selecionada para implantação da nova CTR localiza-se sobre o Km 20 da BR-407 sentido Afrânio, na margem direita da referida Rodovia, em área rural do município, no distrito de Curral Queimado, após o projeto de irrigação Nilo Coelho (Figura 19). A área adquirida pela CTR Petrolina totaliza 74,47 hectares e está a uma distância aproximadamente de 22 km do centro urbano de Petrolina (EMPESA, 2011).

Figura 19 – Localização da área da nova CTR



Fonte: EMPESA (2011).

Além das ações de recuperação ambiental, a nova área da CTR Petrolina vem sendo utilizada como estação de transbordo para concentração e encaminhamento dos resíduos coletados na cidade e direcionamento para a nova área em operação para a destinação final, licenciada e fiscalizada pelos órgãos de fiscalização e controle estadual para a disposição de resíduos Classe I e Classe II-A de forma segregada (PMGIRS, 2020).

O projeto de engenharia da nova área da CTR atende aos requisitos da norma técnica NBR 13.896/1997, considerando o aspecto técnico e operacional, para o qual se recomenda uma vida útil para aterros de no mínimo 10 anos. Assim, devido ao local apresentar declividade e configuração geométrica favorável, as estimativas volumétricas do projeto indicam que o aterro poderá ser operado no local por cerca de 30 anos. A proposta do projeto está de acordo com o planejamento municipal, sem entrar em atrito com outros usos do solo do município, como a expansão urbana e os projetos de agricultura irrigada (PMGIRS, 2020).

Com relação ao aspecto socioambiental, observa-se como pontos positivos o cerceamento dos impactos ambientais adversos diretos sobre a comunidade do entorno da área degradada, melhorando a qualidade de vida da comunidade e mitigando os impactos causados pelo despejo inadequado de resíduos, além da valorização das propriedades e imóveis dos entornos, tendendo ao crescimento com a devolução da área recuperada para uso público por meio de um parque recreativo (PMGIRS, 2020). O ponto negativo observado é referente ao tipo de empreendimento a ser implantado, considerando que a disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário é uma solução que acarreta impactos ambientais adversos.

É evidenciado que, ao longo dos dez anos estudados, há uma evolução positiva no que se refere à destinação final dos resíduos sólidos no município, passando a ter uma situação ambientalmente adequada, de acordo com os padrões técnicos e operacionais estabelecidos para os dias atuais (PMGIRS, 2020).

4.1.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Segundo o art. 12º do Decreto Federal nº 7.217 de 2010 (PLANALTO, 2010a), que regulamenta a Lei Federal nº 11.445/2007, consideram-se serviços públicos de manejo de resíduos sólidos as atividades de coleta e/ou transbordo, transporte e triagem de material, para reutilização ou reciclagem, com tratamento, inclusive compostagem, e a disposição

final dos resíduos que foram originários dos serviços de limpeza pública, sendo eles: varrição, capina, roçada, poda e atividades correlatas em vias e logradouros públicos; asseio de túneis, escadarias, monumentos, abrigos e sanitários públicos; raspagem e remoção de terra, areia e quaisquer materiais que tenham sido depositados pelas águas pluviais nas vias públicas; desobstrução e limpeza de dispositivos de drenagem (bueiros, bocas de lobo e correlatos); e limpeza de áreas e vias públicas onde são realizadas feiras e eventos públicos (PLANALTO, 2022).

Segundo os dados históricos desde 2011 da coleta dos resíduos de raspagem e podação apresentados anteriormente, adentrados ao CTR Petrolina, os RPU representam 12,71% do total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Adotando-se o ano-base de 2017 como referência, com uma taxa de 0,138 kg/hab.dia, resultou numa geração e 47,61 ton/dia (PMGIRS, 2020).

É importante salientar a característica de sazonalidade destes resíduos, pois atuações sob demanda no município como eventos, períodos festivos e mutirões de limpeza refletem a um comportamento não-linear na projeção desta tipologia de resíduos. Observando-se o período de 2011 a 2016, verifica-se uma taxa média de 23,89 ton/dia de resíduos coletados (podação, raspagem e varrição) e destinados ao CTR Petrolina, representando cerca de 50% da estimativa de geração considerada anteriormente (PMGIRS, 2020).

Os serviços de remoção e destinação final de lixo, por fazerem parte do conceito de saneamento básico, são estabelecidos como públicos por definição constitucional e considerados municipais (PMGIRS, 2020). Neste sentido, os serviços de limpeza urbana administrados diretamente pela Secretaria Municipal de Infraestrutura e Mobilidade (SEINFRA), da qual outorga a concessão dos serviços públicos, por meio de processo licitatório e contrato, a uma pessoa jurídica de direito privado.

4.1.3 Resíduos de Grandes Geradores (Comerciais e Prestadores de Serviços)

Segundo o Art. 3º da Lei Federal nº 12.305/2010, os grandes geradores (comerciais e prestadores de serviço) compartilham a responsabilidade pelo ciclo de vida de seus produtos, visando minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental (PLANALTO, 2010).

Conforme a Lei estadual nº 13.047/2006, é disposta a obrigatoriedade, nos condomínios residenciais e comerciais, estabelecimentos comerciais e industriais e órgãos públicos federais, estaduais e municipais, de implantação da coleta seletiva de lixo (ALEPE LEGIS, 2006).

Em Petrolina não foram identificados dados sistematizados referentes à geração de resíduos por grandes equipamentos ou geradores, tendo em vista que a maioria dos resíduos vem a ser coletada pelos serviços de coleta pública domiciliar ou por empresas privadas contratadas, sem que haja um controle diferenciado de pesagem. A fim de se adequar à legislação, torna-se necessário realizar o tratamento e destinação correta dos resíduos, seguindo a hierarquia lógica de gestão da cadeia produtiva. Os tratamentos mais comuns nesta tipologia de resíduos sólidos são a reciclagem e a compostagem (PMGIRS, 2020).

Os resíduos produzidos por estabelecimentos comerciais, que não se enquadram nas soluções anteriores, devem ser encaminhados a um destino final adequado como incineração ou aterros. Ressalta-se que a área da disposição final tem que ser compatível e de acordo com as características do resíduo, com sua localização devidamente aprovada por órgãos responsáveis pelo meio ambiente (PMGIRS, 2020).

Quando considerada a complexidade das etapas do tratamento, como também de destinação dos resíduos, os estabelecimentos comerciais, potenciais geradores, podem contratar empresas terceirizadas especializadas em gestão e tratamento de resíduos, mas que necessariamente devem estar licenciadas para tal atividade (PMGIRS, 2020). Salienta-se que a contratação de terceiros não exime a responsabilidade de seu gerador, em caso de acidentes ou danos ambientais.

A aplicação das medidas tomadas com base no conceito “gerador-pagador” impõe medidas que aliviam os custos do poder público, que até então vem arcando com o gerenciamento dos resíduos sem contrapartida dos geradores. Além deste aspecto, o serviço público de limpeza urbana contará com novas receitas com o estabelecimento de taxas públicas de coleta e destinação, diante da possibilidade de prestação dos serviços de coleta de resíduos sólidos orgânicos e indiferenciados e da disposição final de rejeitos em aterro sanitário oriundos dos grandes geradores (PMGIRS, 2020).

Recomenda-se que a gestão municipal realize inicialmente um cadastro preliminar dos grandes geradores e obtenha linhas de atuação com a cadeia produtiva, para que haja

uma maior interlocução na gestão destes resíduos, principalmente o envolvimento e inserção das cooperativas de catadores de materiais recicláveis neste processo (PMGIRS, 2020).

4.1.4 Resíduos de Construção Civil (RCC)

Segundo o Art. 13º da Lei Federal nº 12.305/2010, os Resíduos da Construção Civil (RCC) são os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, inclusos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis (PLANALTO, 2010).

A resolução CONAMA nº 307/2002 classifica e estabelece os possíveis destinos finais dos RCC e resíduo de demolição, além de atribuir responsabilidades para o poder público municipal e também para os geradores de resíduos no que se refere à sua destinação. Essa resolução exige do poder público a elaboração de leis, decretos, e outros instrumentos legais como parte da construção da política pública que discipline a destinação dos RCC (LEGISWEB, 2002a).

Em relação ao destino final dos RCC, a Resolução CONAMA nº 307/2002 determina no Art. 10º a destinação conforme a Classe, proibindo a disposição em aterros de RSU, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei (LEGISWEB, 2002a). Outra medida importante desta resolução refere-se à necessidade de os municípios elaborarem seus Planos Municipais de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC).

Segundo dados da CTR Petrolina, cerca de 21 mil toneladas por ano de RCC são destinados para a área de remediação do Raso da Catarina desde 2009, porém essa quantidade de resíduo duplicou considerando apenas o primeiro semestre de 2017 em comparação à média anual, chegando a aproximadamente 42 mil toneladas deste resíduo. Com base no histórico de 2010 a 2016, temos uma taxa média de 0,185 kg/hab.dia de RCC públicos coletados em Petrolina (PMGIRS, 2020).

Conforme análise de Pinto (1999), os problemas ambientais causados pela disposição inadequada dos RRC’s são de baixa periculosidade. Entretanto, o grande volume gerado é responsável pelo maior impacto, além do descarte aleatório e ilegal. Assim, os efeitos negativos são evidentes em áreas urbanizadas, com o surgimento de aterros clandestinos, assoreamento de rios, obstrução de sistemas de drenagem, acarretando

enchentes, entre outros problemas, causando prejuízos socioeconômicos para cidades de médio e grande porte. Além disso, a deposição inadequada dos RCC's compromete a paisagem do local, o tráfego de pedestres e de veículos, e servem de pretexto para o depósito irregular de outros resíduos não-inertes, propiciando o aparecimento e a multiplicação de vetores de doenças, arriscando a saúde da população vizinha. Os RCC's ainda podem apresentar materiais indesejáveis em sua composição, como cimento amianto e resíduos químicos, que podem impactar negativamente o meio ambiente se depositados de forma inadequada, causando prejuízos para a sociedade por necessitar de remediações futuras nas áreas degradadas (PMGIRS, 2020). A Figura 20 mostra áreas em Petrolina onde há disposição irregular de RCC's.

Figura 20 – Áreas de disposição irregular de RCC's em Petrolina



Fonte: PMGIRS (2020).

A CTR Petrolina tem em suas instalações uma Usina de Beneficiamento de Entulho (UBE) desde 2008, como pode ser visto na Figura 21, apresentando um maquinário capaz de transformar o resíduo em agregados de quatro tamanhos diferentes. Com o processo concluído, os materiais resultantes são integrados para a fabricação de blocos intertravados, usados em praças e calçadas do município. A Empresa também dispõe de uma área ambientalmente licenciada para a disposição final dos RCC's na nova área de destinação final dos resíduos do município (PMGIRS, 2020).

A cidade de Petrolina dispõe de um sistema de tratamento e disposição final de RCC, porém observam-se ainda descartes irregulares em diversos locais do município, indicando a necessidade de melhoria nas ações de fiscalização, e a viabilidade de locais onde os pequenos geradores de resíduo possam descartá-los em pontos determinados previamente pela administração pública do município. No entanto, o município ainda não possui um Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC), em atendimento à resolução CONAMA n° 307/2002 (PMGIRS, 2020).

Figura 21 – Unidade de Beneficiamento de Entulho da CTR Petrolina



Fonte: PMGIRS (2020).

Porém, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS, 2020) define indicadores de desempenho operacional (Figura 22) e definição de responsabilidades dos geradores de resíduos sólidos referentes aos resíduos de construção civil, onde esses resíduos públicos devem ser geridos pelo órgão municipal competente (autarquia municipal na forma de consórcio público), sendo responsável por acondicionar, coletar, transportar, tratar e destinar tais resíduos.

Figura 22 – Indicadores de Desempenho Relacionados aos Resíduos da Construção Civil

RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	
INDICADOR	OBSERVAÇÕES
Massa de resíduos da construção civil (RCC) coletada per capita (apenas por coletores públicos) em relação à população urbana.	-
Identificação do peso dos resíduos (ton/mês) Indicação do peso anual dos resíduos coletados.	Processo de pesagem ou estimativa do peso dos RCC a ser implantada no município.
Percentual de resíduos beneficiados por meio do processo de reciclagem.	-
Percentual de resíduos encaminhados à unidade de disposição final (classe IIB).	-

Fonte: PMGIRS (2020).

Com relação aos grandes geradores, sugere-se que a gestão municipal realize um levantamento cadastral das empresas e respectivas obras de construção civil e que mantenha o acompanhamento do ciclo de vida destes resíduos, atendendo as recomendações técnicas e referências legais. É fundamental a recomendação de buscas por parcerias com as entidades de classe envolvidas na cadeia produtiva para aperfeiçoamento dos processos e melhoria continuada da gestão (PMGIRS, 2020).

4.1.5 Resíduos Sólidos Industriais (RSI)

Segundo a NBR 10.004/04, os resíduos sólidos industriais (RSI) podem ser classificados em resíduos Classe I (perigosos) ou Classe II-não perigosos não inertes (Classe II-A) ou inertes (Classe II-B) (ABNT, 2004). Segundo o Art. 13º da Lei Federal nº 12.305/2010, resíduos industriais são resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais (PLANALTO, 2010).

De acordo com a resolução CONAMA nº 313/2002 (LEGISWEB, 2002b), resíduos Sólidos Industriais são todos aqueles que resultem de atividades industriais, em estados sólido, semissólido, gasoso (quando contido) e líquido, e que seja inviável, devido às suas particularidades, que os seus lançamentos sejam realizados para a rede pública de esgoto ou para os corpos d'água. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistema de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

Ainda conforme a Resolução, os órgãos estaduais de meio ambiente deveriam, no prazo máximo de dois anos, contados a partir da data de publicação da Resolução, apresentar ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) os dados do Inventário. Com isso, o IBAMA deveria ter elaborado até 2005 os Programas Estaduais de Gerenciamento de Resíduos Industriais e, até 2006, o Plano Nacional para Gerenciamento de Resíduos Industriais. Em Pernambuco o último inventário publicado foi em 2002-2003, elaborado pela Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTMA) (PMGIRS, 2020).

Considerando a inexistência de Inventário Distrital de Resíduos Industriais referente aos Resíduos Sólidos Industriais, e a falta de dados sistematizados nas instituições representativas do setor municipal, não há como estimar a projeção de geração de RSI para o município de Petrolina, não atender a Resolução CONAMA nº 313/2002. Como dado local, destaca-se a disponibilidade na nova área da CTR Petrolina de uma célula específica para a disposição de resíduos Classe I (perigosos), com recebimento de 1.456 toneladas desta tipologia em 2016 (PMGIRS, 2020).

Um dos grandes desafios para o município de Petrolina em relação ao cumprimento das diretrizes previstas na a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) será estimular a mudança de cultura das indústrias com condutas voltadas para responsabilidade ambiental (PMGIRS, 2020).

4.1.6 Resíduos de Saneamento

Os resíduos de serviços públicos de saneamento são gerados em atividades relacionadas ao tratamento da água, provindos de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), ao tratamento do esgoto sanitário, provindos de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e a manutenção dos sistemas de drenagem de águas pluviais, sendo este último retratado no subitem referente à limpeza urbana (PMGIRS, 2020).

Os resíduos de saneamento básico são decorrentes de atividades sujeitas ao Licenciamento Ambiental, conforme o que determina a Resolução CONAMA nº 237/97 (LEGISWEB, 1997). Assim, são obrigatórios os procedimentos de licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental competente, ficando a cargo da Agência Municipal do Meio Ambiente (AMMA), no âmbito municipal. Com isso, a Lei nº 1.035/2003 estabelece sanções administrativas e assegura proteção ao Rios São Francisco, lagoas, açudes e barragens contra despejos de resíduos poluentes (PMGIRS, 2020).

Com relação ao sistema de abastecimento de água de Petrolina, segundo dados do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2019), são três os sistemas produtores do distrito Sede, de responsabilidade da COMPESA, formados pela ETA Centro, ETA 3 e a ETA Vitória, com capacidade de produção somadas de 1.100 L/s. A água bruta é oriunda de duas captações superficiais no Rio São Francisco.

A ETA Centro é do tipo convencional em concreto armado. A captação de água bruta é feita na margem do Rio São Francisco, por um canal de adução do rio com gradeamentos, seguido por uma etapa de bombeamento. Essa captação alimenta tanto a ETA Centro quanto a ETA 3. Essa estação trabalha com pré-cloração e possui uma capacidade de tratamento de 600 L/s, com água tratada atendendo os requisitos da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde. O lodo gerado no processo de tratamento é conduzido para um tanque de equalização e adensador. Sua destinação final é o aterro sanitário do município (PMSB, 2019).

A ETA 3 tem sua unidade localizada na região industrial da cidade, possuindo uma capacidade de tratamento de 100 L/s. A captação de água bruta é a mesma da ETA Centro. O lodo gerado no processo de tratamento é conduzido para leitos de secagem, e sua destinação final é o aterro sanitário do município (PMSB, 2019).

A ETA Vitória é a estação mais nova, localizada próxima da ETA 3, perto da região industrial da cidade, possuindo uma capacidade de tratamento de 400 L/s. A captação de água bruta é feita na margem do Rio São Francisco, no mesmo terreno, por um canal de adução do rio com gradeamentos, seguido por uma etapa de bombeamento. O lodo gerado no processo de tratamento é conduzido para um tanque de equalização e adensador e posteriormente para Bolsas Geotêxtil de desidratação de lodo (*bags*). Sua destinação final é o aterro sanitário do município (PMSB, 2019).

Os distritos e povoados por serem isolados e distantes do núcleo urbano, possuem sistemas independentes de abastecimento ou são abastecidos emergencialmente por carros-pipa (PMGIRS, 2020).

Na Sede de Petrolina, existe implantado o sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, ou seja, tubulações implantadas para transportar apenas o esgoto sanitário, sendo dividida em mais de 12 bacias de esgotamento. Esse sistema possui implantado cerca de 40 elevatórias de esgoto e 9 estações de tratamento em funcionamento, sendo que algumas unidades foram desativadas pela baixa capacidade de tratamento e localização próxima a residências, como pode ser visto na Tabela 3. As estações desativadas são: ETE Manoel do Arroz, ETE Massangano, ETE Corrente e ETE Porto Fluvial (PMSB, 2019).

Tabela 3 – Estações de Tratamento de Esgoto existentes na sede de Petrolina

ETE	Capacidade (L/s)	Tipo de tratamento	Corpo receptor
Antônio Cassimiro	30	UASB, Filtro biológico e decantador. Leitos de secagem	Riacho Mulungú
Centro	350	UASB, Filtro biológico e decantador. Leitos de secagem e centrífuga	Rio São Francisco
COHAB VI	8	UASB, Lagoa facultativa e lagoas de maturação. Leitos de secagem (cobertos)	Rio Tapuio
Dom Avelar	30	Lagoa aerada, lagoa facultativa e lagoa de maturação	Riacho Pau Preto
João de Deus	35,2	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Porteiras
Marcela	2,5	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Pau Preto
Ouro Preto	12,1	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Mulungú
Jd. Petrópolis	-	-	-
Recife	24,3	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Pau Preto

Fonte: PMSB (2019).

Sabe-se que nem todo o esgoto coletado é encaminhado para as estações de tratamento. Esses são passivos ambientais e devem ser monitorados pela Prefeitura até sua completa recuperação ambiental. Algumas moradias, próximas aos córregos e sem rede coletora, possuem fossa séptica, fossa negra ou lançam o esgoto a céu aberto. Algumas dessas regiões, com maior número de pessoas, estão localizadas no lado leste e oeste do distrito Sede. Os demais distritos e localidades possuem, na maioria dos casos, sistemas individuais de tratamento pelas fossas ou lançam diretamente dos córregos e rios. Algumas dessas regiões possuem rede coletora implantada e tratamento (PMSB, 2019).

O licenciamento de áreas para a disposição dos lodos é um grande problema enfrentados pela administração pública. Nota-se que o reaproveitamento agrícola é a melhor opção de seu reuso, refletindo na redução da exploração de recursos naturais para a fabricação de fertilizantes (PMGIRS, 2020).

Portanto, ainda não existe solução única para o destino dos lodos de ETA's e ETE's. O que se deve buscar são soluções múltiplas que suportem em conjunto e com longevidade a destinação final e os usos benéficos de lodos. Mesmo considerando que os aterros sejam uma alternativa de disposição final, ambientalmente segura, não se pode determiná-los como única solução (PMGIRS, 2020).

As ETA's geram quantidades significativas de efluentes nas operações da lavagem de filtros, que quando não tratadas apresentam potencial de geração de impactos ambientais aos corpos hídricos receptores e também devem receber os procedimentos de controle adequados. Além disso, não foi possível identificar os processos de tratamento dos lodos gerados nas ETA's e ETE's do município de Petrolina, bem como a destinação dos mesmos, esta é uma atribuição da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) por meio de sua gerência local (PMGIRS, 2020).

4.1.7 Resíduos Agrossilvopastoris

Segundo a resolução CONAMA nº 458 de 16/07/2013 (LEGISWEB, 2013), as atividades agrossilvopastoris são as ações realizadas em conjunto ou não relativas à agricultura, à aquicultura, à pecuária, à silvicultura e as que contemplem as várias formas de exploração, como também de manejo da fauna e da flora, que são destinadas ao uso econômico, preservação, como também conservação dos recursos naturais renováveis.

O setor agrossilvopastoril traz como problema a geração de resíduos orgânicos, principalmente de criações de animais. O aproveitamento destes, na agricultura, é previsto na Política Nacional Agrícola, que foi instituída pela Lei Federal nº 8.171/1991 (PLANALTO, 1991), na qual o poder público é responsável por coordenar programas de estímulo e de incentivo à preservação das nascentes dos cursos d'água, do meio ambiente, bem como responsável pelo aproveitamento de dejetos animais para conversão em fertilizantes (PMGIRS, 2020).

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2012), os resíduos agrossilvopastoris deveriam ser completamente inventariados até 2015, porém isso não aconteceu. O Plano não esclarece a quem cabe esta responsabilidade, porém está associada a elaboração do Censo Agropecuário, cuja responsabilidade é do Poder público. Diante disto, a maior deficiência é a inexistência de informações sistematizadas sobre a geração e disposição final destes resíduos em nível local, visto que representam uma parcela significativa entre todos os tipos de resíduos gerados em Petrolina (PMGIRS, 2020).

É também inexistente dados sobre a geração de resíduos perigosos na atividade, como por exemplo, a sobra de agrotóxicos impróprios para uso. Com exceção dos resíduos de embalagens vazias de agrotóxicos, não há controle da quantidade gerada das embalagens de fertilizantes, sementes tratadas com agrotóxicos e produtos veterinários, nem mesmo se sabe qual é a destinação final desses resíduos (PMGIRS, 2020).

4.2 PERDA DA BIODIVERSIDADE E COBERTURA VEGETAL

A partir de imagens de satélites, disponibilizadas em diferentes resoluções, é possível monitorar grandes áreas, dos vários biomas existentes. Um estudo realizado por Silva *et. al.* (2019), disponibilizado pela AMMA (Agência Municipal do Meio Ambiente) de Petrolina, objetivou monitorar e analisar a evolução espacial e temporal na ocupação e uso da terra no Município de Petrolina/PE, utilizando-se dados de superfície e imagens do Landsat-8, para os anos de 2013 a 2015.

As imagens do satélite Landsat-8 de sensor OLI (Operational Land Images) transformadas a partir dos seus níveis de cinza em refletâncias, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e albedo da superfície são utilizadas para identificar e avaliar mudanças na estrutura, fisionomia e dinâmica da cobertura vegetal através de diferentes datas (SILVA *et. al.*, 2016).

O NDVI indica o grau de atividade fotossintética da vegetação sadia e a quantidade de vegetação verde, definindo o grau de degradação em escala regional. O MSDI corresponde ao desvio padrão calculado por meio de um filtro de 3x3 aplicado na banda 4 do Landsat-8, usado, principalmente, para distinguir a média e alta degradação. Os conjuntos de regras pré-estabelecidas de indicadores para cada classe de degradação ambiental Município de Petrolina estão listados na Figura 23, conforme Xu *et. al.* (2009).

Figura 23 – Regra para avaliação da degradação, utilizando imagens Landsat-8

Classes de degradação	Índices		
	NDVI	MSDI	Albedo
Inexistente	< 0,25	—	< 0
	< 0,50	—	—
	< 0		
Baixo	< 0,25	—	> 0
Médio	0,32 < e < 0,40	> 3	0,175 < e < 0,19
	0,32 < e < 0,40	< 3	0,175 < e < 0,19
Alto	0,25 < e < 0,32	> 3	0,175 < e < 0,19
	0,25 < e < 0,32	< 3	0,175 < e < 0,19
Severo	< 0,25	—	> 0,22

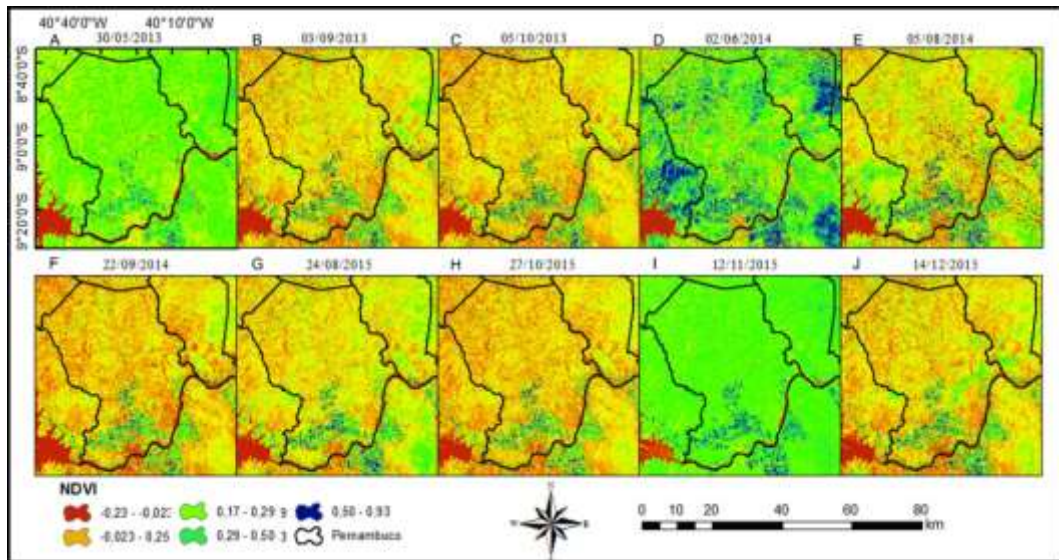
Fonte: Adaptado de Xu *et. al.* (2009).

A intensidade da mudança do uso e ocupação do solo (I) foi calculada a partir dos valores de refletância das bandas 4 e 5 do Landsat-8 no tempo 1 (mês analisado) e tempo 2 (mês posterior ao mês analisado).

A Figura 24 apresenta a evolução temporal e espacial do índice de vegetação NDVI. Observa-se que os mapas temáticos do NDVI da Figura 24A e da Figura 24D, em média, apresentaram os maiores valores de cobertura vegetal, devido a precipitações acumuladas que contribuíram para maior atividade fotossintética da área (SILVA *et. al.*, 2019). A umidade do solo, que veio a ser acumulada anteriormente à passagem do satélite, contribuiu para manter os extratos herbáceos e a presença na vegetação de dossel foliar (ARRAES, ANDRADE e SILVA, 2012). Por outro lado, as baixas precipitações acumuladas três meses antes dos períodos da Figura 24B, C, F, G, H, I e J também induzem as espécies da Caatinga a liberarem suas folhas por serem decíduas.

A Figura 24B (03/09/2013), 24D (02/06/2014) e 24I (12/11/2015) mostram acentuada variabilidade espacial e temporal da cobertura vegetal com valores do NDVI para área irrigada de 0,62, 0,78, 0,57; Caatinga de 0,42, 0,93, 0,44; área de solo exposto de 0,07, 0,098, 0,075; área urbana de 0,014, 0,016 e 0,013, respectivamente.

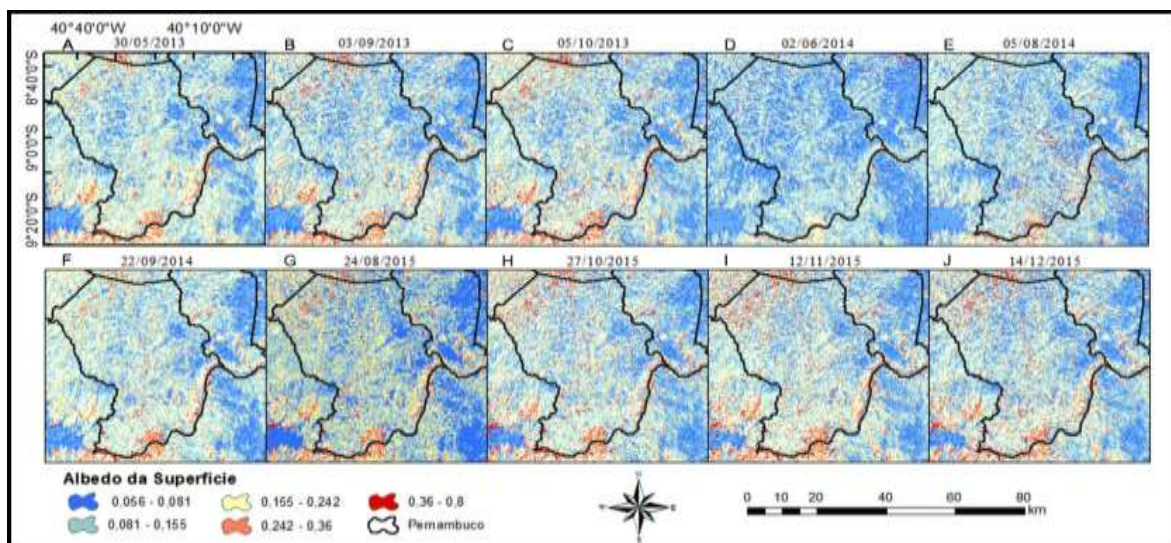
Figura 24 – Evolução temporal e espacial do NDVI no Município de Petrolina/PE



Fonte: Silva *et. al.* (2019).

Na Figura 25 é apresentada a variabilidade espacial, como também temporal, do albedo da superfície (α) diante do uso e ocupação do solo do município. Nas datas das Figura 25B, 25D e 25I, as áreas de pomares irrigados de banana, manga, goiaba e uva apresentam valores próximos de 13%, 9,5% e 18%, respectivamente (SILVA *et. al.*, 2019). Ressalta-se que esta variação é determinada pelo desenvolvimento da cultura, como também pela mudança no ângulo de incidência da luz na superfície da copa da vegetação (LEITÃO, SANTOS E OLIVEIRA, 2002).

Figura 25 – Evolução temporal e espacial do albedo da superfície em Petrolina/PE



Fonte: Silva *et. al.* (2019).

Em áreas com vegetação nativa (Caatinga), os valores médios do α nos anos de 2013 a 2015 são de 27%, 16% e 26%, respectivamente. Há pequena variação de 2013 a 2015, indicando uma baixa ou nenhuma alteração no uso da terra, não havendo retirada da vegetação destas áreas (Figura 25). Em áreas com solo exposto, a variação do α , no mesmo período, foi de 54%, 53% e 64%, e na zona urbana, de 55%, 11% e 22%, respectivamente em ambas, sendo considerada uma variação de amplitude alta nos períodos estudados (SILVA *et. al.*, 2019).

Verifica-se, ainda, que a barragem de Sobradinho, bem como o leito do rio São Francisco, apresenta tonalidade azul, com valor de α de 5% (SILVA *et. al.*, 2019). As áreas urbanas e em áreas de solo com grande exposição, em geral, albedo superior a 25%. No perímetro irrigado São Gonçalo, as parcelas mostraram albedo de 16 a 18%. Em pomares recém-plantados, de baixo índice de vegetação, a exposição maior ao solo causou aumento do albedo (SILVA *et. al.*, 2019).

A Figura 26 mostra as classes de degradação, com as suas devidas áreas, acurácias e índices Kappa (K_p). Os resultados da classificação por AD são satisfatórios com acurácia (Ar) média de 98,49%, com melhores precisões de 99,96%, encontradas no período seco. Para o índice K_p é constatado valor médio de 0,97, com maior valor é de 0,99, sendo o K_p médio considerado excelente para as imagens analisadas (SILVA *et. al.*, 2019).

Figura 26 – Área em hectares (%) das classes da degradação no Município de Petrolina e adjacência nos períodos de 2013, 2014 e 2015. Ar = Acurácia e K_p = Índice Kappa

Data	Inexistente	Baixo	Médio	Alto	Severo	Ar	K_p
30/05/13	156,1(11,1)	862,7(61,5)	11,6(0,8)	193,0(13,8)	178,0(12,7)	99,76	0,99
03/09/13	123,9(8,8)	800,9(56,8)	15,9(1,1)	220,1(15,6)	249,3(17,7)	99,16	0,98
05/10/13	145,6(8,1)	873,9(48,4)	405(22,4)	347,7(19,2)	33,9(1,9)	99,96	0,99
02/06/14	872,4(62,5)	367,2(26,3)	37,4(2,7)	37,2(2,7)	82,3(5,9)	99,96	0,99
05/08/14	301,9(21,5)	818,0(58,3)	8,6(0,6)	158,8(11,3)	115,3(8,2)	99,96	0,99
22/09/14	158,4(11,3)	876,7(62,4)	9,7(0,7)	227,7(16,2)	132,9(9,5)	99,41	0,99
24/08/15	183,2(13)	885,9(62,9)	10,5(0,7)	185,9(13,2)	143,2(10,2)	92,99	0,88
27/10/15	110,9(7,9)	804,5(57,5)	21,8(1,6)	203,8(14,6)	257,1(18,4)	97,67	0,96
12/11/15	121,8(7,7)	877,0(55,8)	28,9(1,8)	189,3(12)	355,9(22,6)	97,07	0,95
14/12/15	157,05(11,2)	819,95(58,3)	23,72(1,7)	167,88(11,9)	238,03(16,9)	98,92	0,98

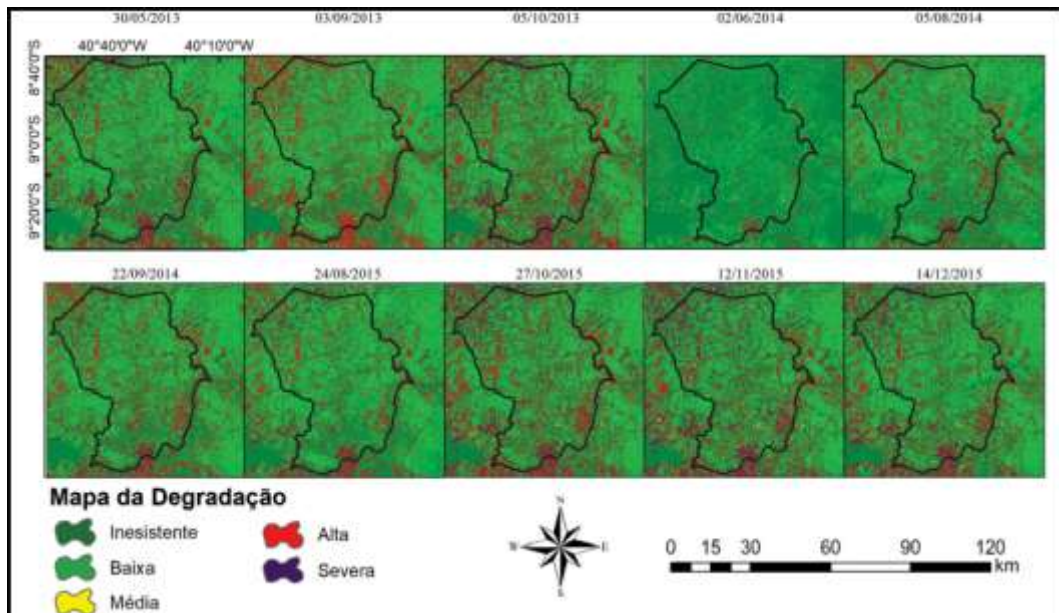
Fonte: Silva *et. al.* (2019).

Das imagens classificadas, os valores de acurácia (Ar) variaram entre 97,07% e 99,96%, denotando-se o classificador AD bastante eficiente (Figura 26). A comparação dos meses de setembro de 2013 e 2014 (Figura 25) mostra que a área de degradação severa regrediu aproximadamente 116 ha (8,2%). Nota-se que essa regressão é associada ao regime de chuvas que foi antecedente às datas dos imageamentos (SILVA *et. al.*, 2019). Vale destacar que entre 2010 e 2015, com exceção de 2014, foram anos muito secos, de

condições meteorológicas diferenciadas, que contribuíram para aumentar o risco de degradação, provocado pelas mudanças das distribuições espacial e temporal de temperatura, precipitação, ventos e insolação ocorrem intensamente durante os períodos de secas severas (VOROVENCII, 2015).

A avaliação da degradação, entre 2013 e 2015, estão expostos na Figura 27, em que se verifica uma tendência de inversão ao se analisar os mapas de degradação, no período de agosto a dezembro de 2015 (Figura 27G, H, I e J). De outubro a novembro houve seu aumento, nota-se para a classe severa. Ao se analisar o mês de dezembro, é observada a reversão da degradação, havendo diminuição, principalmente, quanto às classes alta e severa, e aumento das classes inexistente e baixa.

Figura 27 – Evolução temporal e espacial da degradação do Município de Petrolina-PE



Fonte: Silva *et. al.* (2019).

A intensidade da precipitação pode vir a causar erosão da superficial ou profunda, em que as águas das chuvas podem carregar misturas tóxicas de formas rudimentares do solo (limestone, bauxita, argila, limo, piratas e fosfogídio). Na região, houve aumento da quantidade das chuvas em 2014, associado ao fenômeno La Niña (ALVES *et. al.*, 2016), resultando na perda de cobertura vegetal, e tornando a terra estéril com aumento da refletância e elevação do albedo (VOROVENCII, 2015).

O mapa temático de 02/06/2014 (Figura 27D) apresenta baixa degradação, na maior parte do município, ocupando esta classe 62,47% de área. Infere-se que, na data de imageamento, a área tem menor risco ao processo de degradação, devido à precipitação,

bem como a resiliência, fatores estes que vem a influenciar na formação e na manutenção da Caatinga (SILVA *et. al.*, 2019).

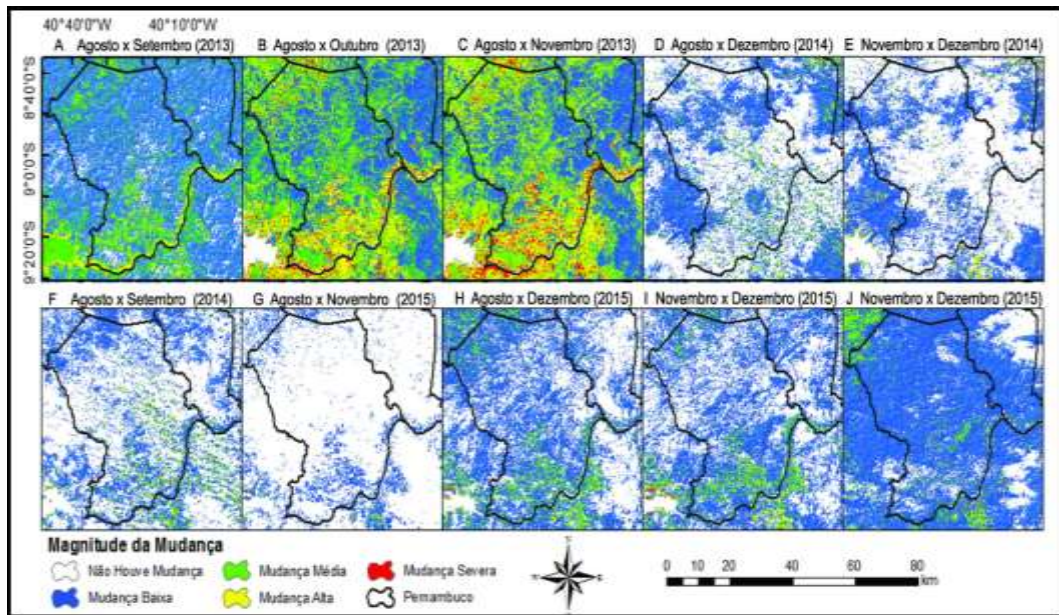
A degradação é notada de forma mais concentrada nas margens do rio São Francisco, suas adjacências, e nas áreas antropizadas, as quais são principalmente encontradas no perímetro irrigado de Petrolina e Juazeiro, onde ocorre a supressão da Caatinga e posterior abandono dessas áreas irrigadas. Constata-se ainda que os mapas temáticos, quanto a degradação, encontram-se em concordância com os mapas do NDVI (Figura 24), não existindo cobertura vegetal nas áreas de classe severa, e com maior susceptibilidade à erosão (SILVA *et. al.*, 2019). Os resultados da avaliação da magnitude da mudança na ocupação e uso do solo dos anos de 2013 a 2015 são apresentados na Figura 28. É observado que o ano de 2013 (Figura 28A, B e C), em comparação aos demais, tem áreas maiores classificadas como mudança severa (tonalidade vermelha), o que é indicativo de grandes mudanças nesse ano, principalmente no que se refere às áreas de Caatinga, impulsionada esta pela ação antrópica das áreas irrigadas que tem seu solo salinizado, ação comum nestas, como também pelos baixos índices pluviométricos (SILVA *et. al.*, 2019).

Ao se comparar os resultados na Figura 28D, E e F, nota-se que, em 2014, há bastante similaridade entre estas imagens obtidas. O que pode ser explicado em parte pelo fato de ser classificado como mais chuvoso quando comparado aos demais anos, 2013 e 2015, sendo esses outros dois anos extremamente secos. Nota-se que a resposta à precipitação vem a ocorrer de forma rápida, suficiente para ocorrer a regeneração da caatinga na área (SILVA *et. al.*, 2019).

São apresentadas na Figura 29 as mudanças ocorridas em 2013 e 2015, que são observadas nas imagens de detecção geradas das imagens NDVI. Nessas imagens são verificadas as áreas com redução da cobertura da Caatinga devido à mudança no uso do solo, e os corpos hídricos, em sua grande maioria, são classificados como mudança severa (SILVA *et. al.*, 2019).

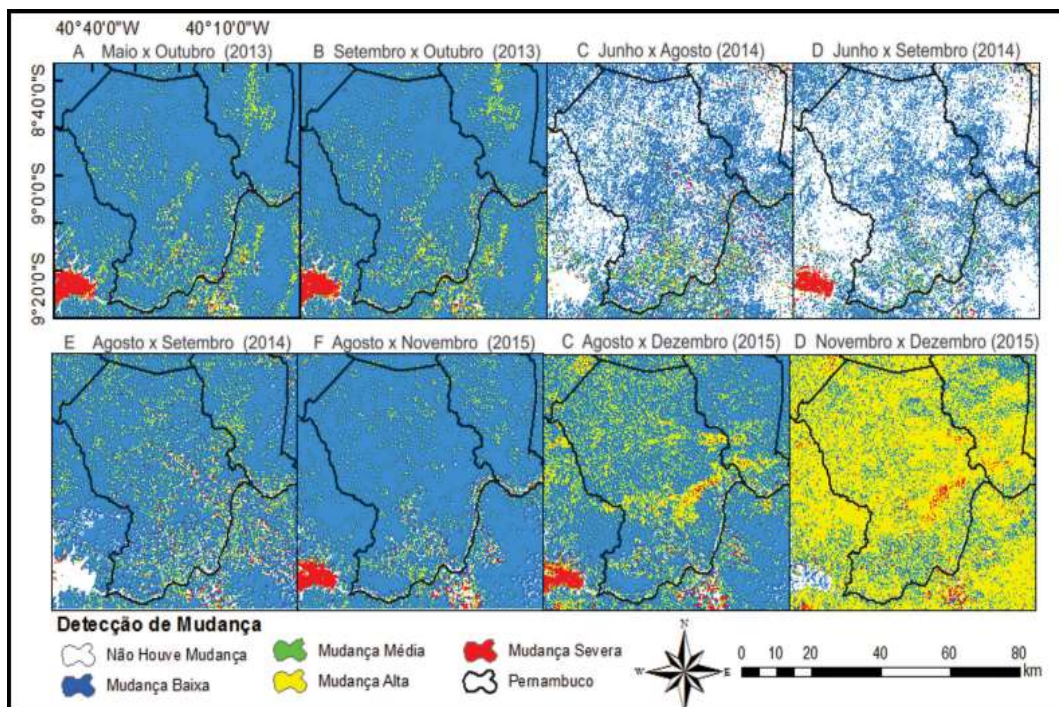
No ano de 2014, nas imagens classificadas (Figura 29C, D e E), quando comparados os meses de junho a setembro, verifica-se que a classe “não houve mudança” (com tonalidade branca) se destaca entre as demais classes. A cobertura vegetal, em junho de 2014, quando comparado ao mês de setembro, não se verifica diferença entre os meses citados que seja suficiente para modificar a paisagem (SILVA *et. al.*, 2019).

Figura 28 – Evolução temporal e espacial da magnitude da mudança do Município de Petrolina/PE



Fonte: Silva *et. al.* (2019).

Figura 29 – Mapa temático da detecção de mudança do Município de Petrolina-PE



Fonte: Silva *et. al.* (2019).

Por fim, o estudo de Silva *et. al.* (2019) possibilitou a identificação das diferentes coberturas com um índice Kappa acima de 90% no período estudado. Com o monitoramento espaço-temporal, verificam-se alterações do uso e ocupação do solo que foram associadas ao aumento do albedo, como também à diminuição do índice de vegetação NDVI.

REFERÊNCIAS

- ALEPE LEGIS. Lei nº 13.047/2006. **Legislação do Estado de Pernambuco**. 2006. Disponível em: <<https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=485&tipo=>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.
- ALMEIDA, F. F. M. de. O Cráton do São Francisco. **R. Brasileira de Geociências**, 7(4):349-364, 1977.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, **DNPM/DGM**. 36P. II. (BOLE-TIM, 241). 1967.
- ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIM - PC1S10 DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7, Campina Grande. Anais do Campina Grande, **Soc. Bras. Geol**, 449p. il. p.363-391. 1977.
- ALVES, J. O.; PEREIRA, P. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S; ARAÚJO JUNIOR, G. N. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco. **Revista Pensar Acadêmico**, v. 14, n. 1, p. 37-47, 2016.
- ANDRADE, A. O. de; LOPES, R. J. de C.; LIMA, R. L. F. A.; MOURA, R. C. G.; LIMA JÚNIOR, C. de. Monitoramento da arborização urbana por sensoriamento remoto em um município inserido no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** – Jandaia-GO, v.18 n.36; p. 242, 2021.
- APAC. Relatório de situação de recursos hídricos do Estado de Pernambuco 2011/2012. **Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC**. Governo do Estado de Pernambuco. Recife, 116p.: il. CDU 556(813.4)(047.3). 2013.
- ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 119-127, 2012.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: **Editora Livroceres**. 392p. 1985.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. Brasília: **MMA**, 2002.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação. Brasília: **MMA**, 2004.
- BRITO NEVES, B. B. de. Geologia das Folhas Upamirim e Morro do Chapéu, Bahia. Recife, **CONESP-SUDENE**. 52p. (Relatório Técnico,17). 1967.
- CAXITO, F. A. Geotectônica e evolução crustal das Faixas Rio Preto e Riacho do Pontal, Estados da Bahia, Pernambuco e Piauí. 2013. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas**, 2013.
- CODEVASF. **Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba**. 2011. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.
- CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Pernambuco. Diagnóstico do Município de Petrolina. **Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Recife. 2005. Disponível em:

<https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16562/1/Rel_Petrolina.pdf>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

DE BIASE, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45- 60. 1993.

DRUMOND, M. A.; KIILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. de; OLIVEIRA, V. R. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; CAVALCANTI, J. Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. Petrolina: **PROBIO**, 2000. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/Caatinga/relatorios/uso_sustentavel.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

EMBRAPA. Solos da Margem Esquerda do Rio São Francisco: Município de Petrolina, Estado de Pernambuco / Tony Jarbas Ferreira Cunha [et. al.]. – **Petrolina: Embrapa Semiárido**, 273 p.: il. (Embrapa Semiárido. Documentos, 236). ISSN 1808-9992. Dezembro, 2010.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE). **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Solos – UEP Recife**. 2001. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4697/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-pernambuco-zape>>. Acesso em: 16 de março de 2022.

EMPESA. RIMA - Implantação de central de tratamento de resíduos sólidos em área rural do município de Petrolina. **RIMA – CTR Petrolina**. 2011.

FIGUEIRÔA, I.; SILVA FILHO, M. A. da. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenético-previsional — Escala 1:100.000 (folha SC.24-V•C•111 Petrolina). **Estados de Pernambuco e Bahia**. Brasília, DNPM/CPRM, 1990.

FOLHARINI, S. O.; SOUZA, S. O. Mapeamento do uso e ocupação da terra do município de Petrolina (PE) – médio vale do rio São Francisco através do NDVI de imagem LANDSAT 8 (OLI). **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 8, Nº 2, p.489 – 502. Piauí. 2019.

IBGE. Censo Agropecuário. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. 2006.

IBGE. Cidades. Panorama Petrolina. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/panorama>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

IBGE. Produção agrícola municipal. **Centro Brasileiro de Estatísticas Agropecuárias**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2016.

KREYSING, K.; LENZ, R.; RIBEIRO, G. F. Salinização das águas subterrâneas do centro do polígono das secas do nordeste brasileiro. Recife, **SUDENE**, 69p. il (Brasil, SUDENE, Hidrogeologia, 46). 1973.

LEGISWEB. Resolução nº 237 de 19/12/1997. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. 1997. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=95982>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

LEGISWEB. Resolução nº 307 de 05/07/2002. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. 2002a. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

LEGISWEB. Resolução nº 313 de 29/10/2002. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. 2002b. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98292>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

LEGISWEB. Resolução nº 458 de 16/07/2013. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=358998>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, G. M. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 256-261, 2002.

LIMA, P. C. F. Comportamento silvicultural de espécies de prosopis, em Petrolina-PE, região semiárida brasileira. **Curitiba: UFPR**, 1994. Disponível em: <<http://dSPACE.c3sl.ufpr.br/dSPACE/bitstream/handle/1884/25339/T%20-%20LIMA,%20PAULO%20CESAR%20FERNANDES.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

LOUREIRO, H.S.C.; MACÊDO, E.P. Projeto Remanso-Sobradinho: Petrolina, Folha SC.24-V-C-III. Carta Geológica. 1 mapa color. Escala 1:100.000. **Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Salvador: CPRM, 2019.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K; CAMARGO, M. N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 201 p. 1992.

PERNAMBUCO. Mapa estadual das Unidades de Conservação. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Recife: **Semas**, 2011. Disponível em: <<http://www2.semas.pe.gov.br/web/sectma>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

PETROLINA. Plano Diretor. Lei Complementar nº 034/2022. **Prefeitura de Petrolina**. 2022.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia da Construção Civil, **Escola Politécnica da USP**, São Paulo, 189p. 1999.

PLANALTO. Decreto nº 7.217/2010. **Presidência da República – Secretaria Geral**. 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm>. Acesso em: 11 de dezembro de 2021.

PLANALTO. Decreto nº 10.936/2022. **Presidência da República – Secretaria Geral**. 2022. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm#art91>. Acesso em: 11 de dezembro de 2021.

PLANALTO. Lei nº 8.171/1991. **Presidência da República – Secretaria Geral**. 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8171.htm>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

PLANALTO. Lei nº 12.305/2010. **Presidência da República – Secretaria Geral**. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

PMGIRS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. **Secretaria Municipal de Infraestrutura, Mobilidade e Serviços Públicos – SEINFRA**. 2020.

PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina (PE). PPSEC Engenharia Ltda. **Prefeitura de Petrolina**. 454p. 2019.

PMSP. Plano Municipal de Saúde de Petrolina/PE. **Prefeitura de Petrolina. Secretaria Municipal de Saúde**. 2017. Disponível em: <<https://saude.petrolina.pe.gov.br/wp-content/uploads/2019/09/PMS-2018-2021-Petrolina.pdf>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

PNRS. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. **Governo Federal. Ministério do Meio Ambiente**. Brasília. 106p. 2012. Disponível em: <https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. E. de. Província Borhorema. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. Coord., O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, **Edgard Blucher**. 378p. il. p.12.3-186. 1984.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. **2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 306 p. il. 2006.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016.

SILVA, D. A. O.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, E. F. F.; SILVA, J. L. B.; BEZERRA, A. C. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, 11 p, 2019.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, S. D. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.3. ISSN:1984-2295. p. 646-660. 2012.

SNIS. Série Histórica 2011-2016. **Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento - SNIS. Ministério das Cidades**. 2016. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica>>. Acesso em: 17 de março de 2022.

SUDENE. Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste (PLIRHINE). **Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste** Recife: SUDENE, 1982.

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, p.137-156, 2007.

VOROVENCII, I. Assessing and Monitoring the risk of Desertification in Dobrogea, Romania, using Landsat data and Decision Tree Classifier. **Journal of Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4, p. 154-220, 2015.

XU, D.; KANG, X.; QIU, D.; ZHUANG, D.; PAN, J. Quantitative Assessment of Desertification Using Landsat Data on a Regional Scale: A Case Study in the Ordos Plateau, China. **Sensors**, v. 9, n. 3, p. 1738-1753, 2009.