



***Campus* Porto Velho Calama**
Coordenação do Curso de Engenharia Civil

VICTÓRIA RÉGIA SOUZA RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PLANOS DIRETORES NA DEGRADAÇÃO
EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA BACIA URBANA
TANCREDO NEVES EM PORTO VELHO - 1985 A 2025**

PORTO VELHO
2025

VICTÓRIA RÉGIA SOUZA RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PLANOS DIRETORES NA DEGRADAÇÃO
EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA BACIA URBANA
TANCREDO NEVES EM PORTO VELHO - 1985 A 2025**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Porto Velho Calama, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel, junto ao Curso de Engenharia Civil, sob a orientação do professor Mestre Fredi Rodrigues Ramos da Silva.

PORTO VELHO
2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Ribeiro, Victória Régia Souza.

Avaliação da influência dos planos diretores na degradação em áreas de preservação permanente na bacia urbana tancredó neves em Porto Velho - 1985 A 2025 / Victória Régia Souza Ribeiro. - Porto Velho, 2025.

71 f. : il.

Orientador(a): Prof. Me. Fredi Rodrigues Ramos da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Porto Velho, 2025.

1. áreas de proteção permanente. 2. degradação. 3. planejamento urbano. 4. plano diretor. 5. ocupação irregular. I. Silva, Fredi Rodrigues Ramos da (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Miria Santana Veiga, CRB-11/898

VICTÓRIA RÉGIA SOUZA RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PLANOS DIRETORES NA DEGRADAÇÃO
EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA BACIA URBANA
TANCREDO NEVES EM PORTO VELHO - 1985 A 2025**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Porto Velho Calama, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel, junto ao Curso de Engenharia Civil, sob a orientação do professor Mestre Fredi Rodrigues Ramos da Silva.

Aprovado em: 09/12/2025 pela banca examinadora.

Prof. Dra. Graziela Tosini Tejas

Prof. Dr. Reginaldo Martins da Silva de Souza

Prof. Me. Fredi Rodrigues Ramos da Silva

*Dedico esta conquista à minha vizinha,
Dona Duca. Sei que, mesmo do céu,
seguiu acompanhando e intercedendo por
mim a cada passo dessa jornada.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha mãe, que sempre me motivou e se esforçou para que esse sonho se concretizasse. Ela foi minha base, e sustentou cada passo dessa trajetória.

Em segundo, meu companheiro, Diogo, pela presença, compreensão, e pelo apoio incondicional em todos os momentos. Sua parceria tornou essa jornada mais leve.

À minha irmã, por ser sempre amiga e parceira, e por acreditar no meu potencial todas as vezes.

Aos meus amigos de graduação, agradeço a cada um por fazerem desses anos memoráveis. Sou grata por todos os momentos compartilhados nos trouxeram até aqui.

Por fim, minha sincera gratidão a todos os professores do IFRO que de alguma forma contribuíram para minha formação, não apenas profissional, mas também pessoal. Foram bons mentores e bons amigos também, muito obrigada.

RESUMO

A proteção das Áreas de Preservação Permanente (APPs) é essencial para garantir a segurança hídrica, a estabilidade do solo e a qualidade ambiental nas cidades. Em Porto Velho, o avanço da urbanização e a ocupação desordenada intensificaram a pressão sobre essas áreas. Este trabalho avaliou a evolução da degradação ambiental em APPs da Bacia Urbana Tancredo Neves, entre 1985 e 2025, com ênfase na relação entre o crescimento populacional e as legislações municipais elaboradas ao longo desse período. Foram aplicadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com imagens Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, bem como o Google Earth Engine e o QGIS 3.34, para identificar e quantificar alterações na cobertura vegetal através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os dados foram confrontados com marcos legais e instrumentos de planejamento urbano, como os Planos Diretores de Porto Velho e programas habitacionais que influenciaram a expansão da cidade. Os resultados indicaram um índice negativo de variação da vegetação de 18,44% entre 1996 e 2000, período o qual se encerrou com a menor área vegetada (1,04 km²), evidenciando baixa efetividade do plano diretor vigente na contenção da degradação ambiental. O trabalho destacou a importância da implementação de políticas urbanas consistentes e integradas para a proteção ambiental, reforçando a necessidade de articulação entre planejamento urbano, gestão pública e preservação das áreas verdes.

PALAVRAS-CHAVE: áreas de proteção permanente; degradação; planejamento urbano; plano diretor; ocupação irregular.

ABSTRACT

The protection of Permanent Preservation Areas (APPs) is essential to ensure water security, soil stability, and environmental quality in urban environments. In Porto Velho, the advance of urbanization and unplanned occupation have intensified the pressure on these areas. This study analyzed the evolution of environmental degradation in APPs within the Tancredo Neves urban basin between 1985 and 2025, emphasizing the relationship between population growth and the municipal legislation enacted throughout this period. Remote sensing and geoprocessing techniques were applied, using Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI imagery, along with Google Earth Engine and QGIS 3.34, to identify and quantify changes in vegetation cover through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The data were compared with legal frameworks and urban planning instruments, such as Porto Velho's Master Plans and housing programs that influenced the city's expansion. The results indicated a negative vegetation-change index of 18.44% between 1996 and 2000, a period that culminated with the lowest vegetated area (1.04 km²), highlighting the limited effectiveness of the prevailing master plan in mitigating environmental degradation. The study underscores the importance of implementing consistent and integrated urban policies for environmental protection, reinforcing the need for coordination among urban planning, public management, and the preservation of green areas.

KEYWORDS: permanent preservation areas; degradation; urban planning; master plan; irregular occupation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	33
Figura 2 - NDVI coletados para a região da Bacia Urbana Tancredo Neves	38
Figura 3 - Gráfico da evolução de áreas vegetadas e não vegetadas	40
Figura 4 - Análises de 1985 a 1990	43
Figura 5 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (1985-1990).....	44
Figura 6 - Análises de 1990 a 1996	45
Figura 7 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (1990-1996).....	46
Figura 8 - Análises de 1996 a 2000	47
Figura 9 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (1996-2000).....	48
Figura 10 - Análises de 2000 a 2005	50
Figura 11 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2000-2005).....	51
Figura 12 - Análises de 2005 a 2011	52
Figura 13 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2005-2011).....	54
Figura 14 - Análises de 2011 a 2015	55
Figura 15 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2011-2015).....	56
Figura 16 - Conjuntos Habitacionais	57
Figura 17 - Análises de 2015 a 2020	58
Figura 18 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2015-2020).....	59
Figura 19 - Análises de 2020 a 2025	60
Figura 20 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2020-2025).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas de NDVI para os rasters	39
Tabela 2 - Áreas Vegetadas e Não Vegetadas x Estimativa Populacional	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Largura das Áreas de Preservação Permanente	17
Quadro 2 - Bandas do Landsat 5 TM	27
Quadro 3 - Bandas do Landsat 8 OLI/TIRS	28
Quadro 4 - Intervalos de NDVI e sua interpretação	31
Quadro 5 - Características das cenas utilizadas	34
Quadro 6 - Diferenças entre o Landsat 5 TM e o Landsat 8 OLI/TIRS	36
Quadro 7 - Intervalos de NDVI aplicados na reclassificação	36
Quadro 8 - Leis municipais de planejamento analisadas	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	<i>Near Infrared</i>
PAI	Plano de Ação Imediata
PDPM	Plano Diretor Participativo Municipal
SEMPOG	Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SR	Sensoriamento Remoto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2 JUSTIFICATIVA	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Áreas de Preservação Permanente (APPs)	17
3.2 Preservação dos Recursos Hídricos	17
3.3 Legislações Municipais	18
3.3.1 Plano de Ação Imediata (PAI)	18
3.3.2 Lei Complementar nº 933/1990 - Plano Diretor	19
3.3.3 Lei Complementar nº 311/2008 - Plano Diretor	20
3.3.4 Lei Complementar nº 751/2018 - ECOMORAR	21
3.3.5 Lei Complementar nº 838/2021 - Plano Diretor Participativo.....	21
3.4 Expansão Urbana e Ocupação Irregular	22
3.5 Sensoriamento Remoto (SR)	24
3.5.1 Satélites Orbitais - Landsat	25
3.5.2 Bandas Espectrais	26
3.6 Sistema de Informação Geográfica (SIG)	29
3.6.1 QGIS	29
3.6.2 Google Earth Engine (GEE)	29
3.6.3 Rasters	30
3.7 Índices de Vegetação (NDVI)	30
4 METODOLOGIA	32
4.1 Área de estudo	32
4.2 Coleta e Tratamento dos NDVI's	33
4.3 Recorte para as APPs	35
4.4 Reclassificação e Cálculo de Áreas	35
4.5 Avaliação da Influência de Legislações na Degradação das APPs	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 NDVI	38
5.1.1 Análise estatística dos NDVI	39
5.2 Área vegetada x Área Não Vegetada	40

5.3 Discussão – Influências Externas na Degradação das APPs.....	41
5.3.1 Período de 1985 a 1990.....	42
5.3.2 Período de 1990 a 1996.....	45
5.3.3 Período de 1996 a 2000.....	47
5.3.4 Período de 2000 a 2005.....	50
5.3.5 Período de 2005 a 2011.....	52
5.3.6 Período de 2011 a 2015.....	55
5.3.7 Período de 2015 a 2020.....	58
5.3.8 Período de 2020 a 2025.....	60
6 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE.....	68

1 INTRODUÇÃO

O crescimento não planejado de cidades culmina em impactos ambientais significativos em diferentes regiões do Brasil, com destaque para a Amazônia, bioma responsável por abrigar cerca de 13.056 espécies de plantas terrestres (Flora do Brasil, 2021). Dentre os fatores que agravam estes impactos, o desmatamento se destaca como uma das principais consequências da ocupação humana sobre os territórios, refletindo práticas insustentáveis de uso do solo.

No estado de Rondônia, o surgimento de cidades e aglomerados urbanos ocorreu de forma expressiva entre as décadas de 1970 e 1980, período fortemente marcado pela recorrência de migração e desmatamento. De acordo com Fearnside (1989), o desmatamento em Rondônia aumentou a uma taxa de 24,8% ao ano no período entre 1980 e 1985, enquanto isso, a população cresceu a uma taxa exponencial de 14,8% neste mesmo intervalo de tempo. Tais percentuais representam a evolução da média de desmatamento por habitante neste período, reafirmando a relação entre crescimento populacional e a desflorestação.

Apesar das inúmeras consequências negativas para a fauna e flora, o desmatamento, assim como o uso do fogo, possui raízes culturais profundas e tem sido utilizado há séculos como estratégia de ocupação e transformação do território. Essas práticas, embora ambientalmente danosas, estão historicamente associadas à expansão de áreas destinadas à moradia, à agricultura e à criação de infraestrutura básica urbana.

Em Porto Velho, ciclos econômicos ocorridos ao longo dos anos culminaram na imigração populacional expressiva ao município, o qual não apresentou infraestrutura ou planejamento urbano suficiente para comportar o volume de novos habitantes. Tal processo refletiu consequências socioeconômicas e ambientais negativas, como a ocupação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) com moradias irregulares (Oliveira, 2025).

A ocupação desordenada das margens de igarapés urbanos representa um desafio crítico para a engenharia civil, especialmente no planejamento urbano, saneamento e infraestrutura ambiental. A supressão da vegetação nativa compromete a estabilidade dos solos, favorece processos erosivos e o assoreamento dos corpos hídricos, além de alterar o ciclo hidrológico e aumentar a frequência de inundações. Esses impactos reduzem a durabilidade e o desempenho das obras de engenharia

nessas áreas. Do ponto de vista técnico, o desmatamento de APPs interfere nos padrões de escoamento superficial, dificulta o controle de cheias e demanda sistemas de drenagem mais complexos. A ocupação informal, geralmente associada à ausência de saneamento básico, intensifica a poluição hídrica devido ao lançamento irregular de esgoto e resíduos sólidos. Em Porto Velho, conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), apenas 14,36% do volume de esgoto gerado é coletado, o que aumenta a probabilidade de descarte de esgoto doméstico diretamente em áreas de proteção ocupadas irregularmente.

A preservação de APPs e a segurança domiciliar de famílias são duas temáticas que devem ser de preocupação dos órgãos competentes, além de serem revisadas no plano diretor municipal. Com isto, este trabalho visa analisar a evolução da degradação destas áreas com o intuito de compreender os impactos da ocupação urbana desordenada sobre a integridade ambiental das margens de igarapés. A partir deste estudo, pretende-se influenciar a criação de propostas técnicas para a construção de um planejamento urbano sustentável que atenda a recuperação de áreas degradadas nas dependências da Bacia Urbana Tancredo Neves, em Porto Velho.

1.1 Objetivo geral

Analisar a evolução da degradação ambiental nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) da Bacia Urbana Tancredo Neves, na cidade de Porto Velho no período de 1985 a 2025.

1.2 Objetivos Específicos

- Coletar e reclassificar o NDVI na área das APPs da Bacia Urbana Tancredo Neves a cada quinquênio a contar de 1985 até 2025;
- Correlacionar a degradação das APPs com estatísticas populacionais, legislações e planos diretores nos períodos analisados.

2 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento urbano em Porto Velho a partir de 1980 e a ausência de planejamento territorial eficiente, agravam-se os casos de moradias e outras ocupações irregulares, o que inclui a ocupação de Áreas de Preservação Permanente. A instalação de edificações próximas aos igarapés urbanos, aliada à falta de saneamento básico, culmina na poluição de áreas protegidas por meio da destinação incorreta de esgoto doméstico e resíduos sólidos.

A degradação de áreas naturais nas sub-bacias urbanas gera desequilíbrio ecológico e hidrológico, além de comprometer a estabilidade geotécnica do solo, tornando-o mais suscetível à erosão e ao assoreamento de canais em áreas críticas. Além disso, a impermeabilização do solo provoca aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração de chuvas, favorecendo a ocorrência de inundações no meio urbano (Stanganini e de Lollo, 2018).

A escolha da Bacia Urbana Tancredo Neves como área de estudo justifica-se por sua representatividade no processo de expansão urbana de Porto Velho, especialmente a partir das décadas de 1990 e 2000. Localizada na zona leste da cidade, essa bacia está inserida em uma das regiões que mais crescem demograficamente nas últimas décadas, marcada pela presença de assentamentos informais, infraestrutura urbana precária e forte pressão sobre as APPs.

De acordo com Oliveira (2025), a ocupação irregular das APPs em Porto Velho é um desafio complexo que, para ser solucionado, necessita de abordagens multidisciplinares. Neste sentido, o estudo da evolução da degradação nestas áreas serve como subsídio para compreender a dinâmica entre uso do solo, crescimento urbano e políticas públicas de preservação ambiental. Tais temáticas já são discutidas pelo Plano Diretor Participativo do Município de Porto Velho (PDPM) revisado em 2021.

Segundo o PDPM (Lei Complementar nº 838/2021), a zona leste concentra elevados índices de vulnerabilidade socioambiental, sendo mencionada em diversas ações do Plano de Ação e Investimentos, como a Ação nº 39, que propõe o mapeamento e regularização das ocupações em APPs. Além disso, dados da Secretaria Municipal de Planejamento (SEMPOG, 2022) indicam que essa região apresenta uma das maiores densidades habitacionais irregulares do município, refletindo diretamente nos níveis de degradação ambiental observados ao longo dos

igarapés. Estudos acadêmicos recentes, como o de Oliveira et al. (2025), também destacam a Bacia Urbana Tancredo Neves como área crítica para a análise da ocupação urbana em APPs, devido à intensa transformação do uso do solo e à fragilidade dos ecossistemas hídricos locais.

Diante da recente revisão do Plano Diretor de Porto Velho (PDPM) e das discussões em andamento sobre as ocupações ao longo dos igarapés e suas respectivas Áreas de Preservação Permanente, conforme destacado na Ação nº 39 do Plano de Ação e Investimentos, o momento se mostra oportuno para estudo desta temática. Por fim, esta pesquisa justifica-se pela importância indiscutível da preservação dos recursos hídricos e florestais naturais. Ao integrar o conhecimento técnico da engenharia civil à gestão ambiental urbana, propõe-se uma análise histórica da degradação das APPs na Bacia Urbana Tancredo Neves, no período de 1985 a 2025.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Áreas de Preservação Permanente (APPs)

Áreas de Preservação Permanente (APPs) são áreas protegidas as quais têm a função ambiental de preservar a biodiversidade, a paisagem, os recursos hídricos e a estabilidade geológica (Lei n. 12.651/2012). Em suma, são as áreas cobertas ou não por vegetação nativa que existam às margens de rios e outros cursos d'água naturais. O Código Florestal, Lei nº 4.771/65, estabelece como APP a largura mínima marginal aos rios de acordo com o especificado no Quadro 1.

Quadro 1 - Largura das Áreas de Preservação Permanente

LARGURA DO CURSO D'ÁGUA	FAIXA DE APP À MARGEM
> 10 metros	30 metros
10 > 50 metros	50 metros
50 > 200 metros	100 metros
200 > 600 metros	200 metros
> 600 metros	500 metros

Fonte: Código Florestal, Lei nº 4.771/65.

Além disso, a legislação também considera com APP as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao redor de lagoas, nas nascentes, no topo de morros, nas encostas com declividade superior a 45° e em todas as áreas metropolitanas que forem definidas por lei. Tais florestas podem ter supressão parcial ou total apenas por meio de prévia autorização do poder público quando em casos de utilidade pública ou interesse social (Lei nº 4.771/65).

3.2 Preservação dos Recursos Hídricos

A Lei Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433/97) determina a água como um bem de domínio público, além de um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. No contexto da Amazônia, este recurso é visto como abundante, uma vez que a bacia hidrográfica do Amazonas representa a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre. O volume de água do afluente principal desta bacia, o Rio Amazonas, conta com a contribuição de milhares de corpos d'água menores distribuídos em todo o território amazônico que têm papel fundamental na manutenção dos ciclos hidrológicos adjacentes (Val et al., 2010).

De acordo com Tundisi et al (2011), o desenvolvimento dos recursos hídricos deve associar-se à conservação ambiental, uma vez que, em sua essência, envolve a sustentabilidade do homem no meio natural. Afirma ainda que a história da água no planeta Terra está diretamente relacionada ao crescimento populacional e ao grau de urbanização, além dos usos múltiplos que afetam a qualidade e a quantidade. Diversos autores fazem análise da água quanto à sua importância para a vida humana, destacando as aplicações culturais, sociais e econômicas como abastecimento público, turismo, transporte, agricultura entre outras.

Para Tucci (2008), o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação proveniente do esgoto doméstico, industrial e pluvial destinado de forma incorreta. Tais processos ocorrem principalmente em razão da ocupação do solo sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico, além do depósito de resíduos sólidos urbanos que contaminam águas superficiais subterrâneas. Esta pauta é pertinente quando se coloca em foco a segurança do abastecimento e fornecimento de saneamento básico adequado para a população.

Tundisi et al. (2015) discute de forma abrangente os desafios contemporâneos relacionados à segurança hídrica, destacando a interdependência entre disponibilidade e qualidade da água e governança hídrica como elementos essenciais para a sustentabilidade ambiental e o bem-estar humano. Os autores enfatizam que a degradação da qualidade da água, intensificada por fatores como desmatamento, urbanização desordenada e descarte inadequado de resíduos, compromete tanto os ecossistemas aquáticos quanto o abastecimento das populações. O estudo reforça a importância da vegetação nas bacias hidrográficas como fator chave para manter a qualidade da água e reduzir os custos de tratamento.

3.3 Legislações Municipais

3.3.1 Plano de Ação Imediata (PAI)

Concebido inicialmente em 1972, o Plano de Ação Imediata – PAI (Lei nº 60, de 22 de março de 1973) visava a resolução de problemas imediatos e a elaboração de um plano diretor até então inexistente. Neste período, alinhado com a realidade estratégica de Porto Velho, o planejamento municipal objetivava três funções principais: transporte, serviços governamentais e extração de matéria-prima (Prefeitura do Município de Porto Velho, 2024).

Em 1972, no ato do desenvolvimento do PAI, Porto Velho contava com a existência de 12 bairros, os quais não incluíam a atual zona leste do município. A previsão do plano era de que o crescimento para a expansão urbana de Porto Velho se daria para o norte, no entanto, existiam algumas alternativas para a expansão da mancha urbana, sendo uma delas para a zona leste do território, devido ao relevo favorável (SEMPOG, 2022).

Apesar de ser mencionado brevemente em estudos e relatórios de planejamento urbano da Prefeitura do Município de Porto Velho, não existem muitos registros oficiais disponíveis sobre as minuciosidades do PAI no que se refere à políticas ambientais. Todavia, tornou-se notória a preocupação em estabelecer um plano de desenvolvimento que atendesse às necessidades populacionais da época.

3.3.2 Lei Complementar nº 933/1990 - Plano Diretor

A primeira publicação do Plano Diretor do Município de Porto Velho elaborada sob a Lei nº 933 de 19 de dezembro de 1990 apresentava em seu escopo quatro objetivos e diretrizes, sendo eles: políticos, estratégicos, sociais e físico-territoriais. Estas diretrizes referiam-se principalmente ao uso e ocupação do solo, à localização de equipamentos e de serviços urbanos e ao sistema viário.

Em relação ao uso e ocupação do solo, o objetivo estratégico era de promover o crescimento ordenado dentro do perímetro urbano já estabelecido, incentivando o adensamento através da ocupação de lotes vazios. Este plano buscava a diminuição de custos com serviços de infraestrutura e equipamentos provenientes da expansão da mancha urbana. Para fins de registro, esta lei previu que seriam efetuados levantamentos anuais do município com indicação da área de ocupação urbana dentro e fora dos limites existentes em 1990 (Art. 5º).

No Artigo 8º da lei, onde refere-se aos objetivos físicos-territoriais consta também a preservação dos recursos naturais da cidade, de forma a evitar a erosão do solo e, entre outras preocupações, conservar de forma racional os mananciais hídricos.

3.3.3 Lei Complementar nº 311/2008 - Plano Diretor

No Plano Diretor de Porto Velho do ano de 2008, a política municipal de desenvolvimento urbano foi estabelecida com base em três principais diretrizes, sendo elas: uso e ocupação do solo, mobilidade urbana e meio ambiente. Tais normas tinham como parte de seus objetivos assegurar a garantia do direito dos munícipes à cidade sustentável (Art. 4º, Inciso I) e promover o ordenamento e controle do uso do solo (Art. 4º, Inciso VI).

No âmbito da implementação de políticas voltadas ao meio ambiente, a Lei Complementar nº 311/2008 no Artigo 8º, estabeleceu como as seguintes diretrizes:

- I. impedir a ocupação de áreas de risco e estabelecer programas de interesse social para remoção e transferência da população assentada nessas áreas;
- II. realizar de um programa parques lineares, revitalizando os igarapés, urbanizando-os e criando espaços de lazer nas áreas disponíveis ao longo de suas margens;
- III. elaborar um projeto de macro-drenagem de águas pluviais, garantindo a permeabilidade dos terrenos e o escoamento das águas superficiais;
- IV. assegurar a proteção das áreas de mananciais de água para uso urbano;
- V. ampliar as áreas verdes do Município para valorizar a paisagem urbana e diminuir os impactos climáticos;
- VI. estabelecer programas de educação ambiental para os diferentes segmentos da comunidade.

No documento técnico do Plano Diretor de 2008, as propostas para mitigar os efeitos causados pela ocupação de áreas de risco incluíam a remoção de habitações de caráter precário existentes às margens dos igarapés, com a criação de projetos habitacionais para realocar os moradores. Além disso, as tratativas para impedir a reincidência de edificações irregulares envolviam a criação de parques e áreas de lazer no entorno dos canais.

3.3.4 Lei Complementar nº 751/2018 – ECOMORAR

Em dezembro de 2018, a prefeitura de Porto Velho sancionou a Lei Complementar Nº 751 criando o Programa de Regularização Ambiental Urbana em Áreas de Preservação Permanente - ECOMORAR. Os principais objetivos do projeto consistem em interromper novas invasões em APPs urbanas e regularizar ocupações existentes mediante concessão de uso especial para fins habitacionais.

O projeto ECOMORAR compreende duas modalidades:

- ECOMORAR Social: destinado a ocupações informais em APPs realizadas por famílias de baixa renda, conforme critérios da Lei Federal Nº 13.465/2017;
- ECOMORAR Específico: voltado a ocupações não enquadradas no perfil de interesse social, com base na mesma legislação.

Para regularização dos núcleos habitacionais irregulares, é previsto em projeto que os mesmos deverão passar por estudo técnico ambiental e urbanístico, nos quais constem as especificações mínimas necessárias para estabelecer condições adequadas de saneamento, controle geotécnico e de inundações, comprovação da melhoria da habitabilidade dos moradores e garantia do acesso público à água.

Apesar de passível de regularização, o Artigo 5º da Lei determina que será mantida uma faixa não edificável de 15 metros ao longo dos cursos d'água para fins de regularização ambiental e urbanística. Exceções se apresentam em casos de edificações já existentes dentro dessa faixa, desde que se situem, total ou parcialmente, em áreas de APP, unidades de conservação de uso sustentável ou zonas de proteção de mananciais. Nesses casos, a regularização é permitida, mas condicionada ao cumprimento dos critérios previstos nos artigos 64 e 65 do Código Florestal (Lei nº 12.651/2012).

3.3.5 Lei Complementar nº 838/2021 - Plano Diretor Participativo

Aprovada em 2021, a Lei Complementar nº 838 institui o Plano Diretor Participativo do Município de Porto Velho, sucedendo a legislação de 2008 e atualizando as diretrizes de desenvolvimento urbano em consonância com as novas demandas da cidade. O processo de revisão do plano foi elaborado de forma participativa, com contribuições de diferentes segmentos da sociedade,

representando um avanço no que se refere à transparência e à gestão democrática das políticas públicas urbanas.

Entre os principais objetivos do plano destacam-se: o fortalecimento do planejamento urbano sustentável, a proteção ao meio ambiente, a promoção do direito à cidade e o enfrentamento das desigualdades socioespaciais (Art. 3º). A nova versão do plano enfatiza, ainda, a necessidade de conter a expansão urbana desordenada, garantindo o adensamento e a ocupação adequada do solo urbano já disponível, ao mesmo tempo em que busca preservar as Áreas de Preservação Permanente (APPs), os mananciais hídricos e demais recursos naturais sensíveis.

No que tange às áreas ambientalmente protegidas, o plano estabelece como diretriz a recuperação e proteção das margens dos igarapés, prevendo a implementação de programas de regularização fundiária sustentável e a criação de unidades de conservação urbanas. A Ação nº 39 do Plano de Ação e Investimentos, por exemplo, propõe ações específicas voltadas ao mapeamento das ocupações em igarapés e suas respectivas APPs para a sua regularização, reforçando o compromisso da gestão municipal com o controle da degradação ambiental e a melhoria da qualidade de vida nos territórios vulneráveis.

A legislação também reafirma a necessidade de integração entre as políticas de saneamento, mobilidade, habitação e meio ambiente, reforçando o papel do plano diretor como instrumento orientador da ocupação do território urbano e da infraestrutura pública. Dessa forma, o Plano Diretor Participativo de 2021 consolida-se como um marco na busca por uma cidade mais equilibrada, resiliente e ambientalmente responsável.

3.4 Expansão Urbana e Ocupação Irregular

De acordo com estudo da evolução da mancha urbana de Porto Velho, publicado em 2022 pela Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEMPOG), a ocupação das zonas leste, sul e norte do município ocorreu de forma acelerada e carente de diretrizes urbanísticas, sendo caracterizada predominantemente por um padrão de crescimento disperso e desarticulado, típico de processos de expansão urbana não planejada. Esse processo parece ser consequência direta da dinâmica populacional crescente, da ausência de políticas

públicas voltadas à habitação e da especulação imobiliária, que fragilizam o ordenamento territorial.

A situação habitacional de Porto Velho é extremamente preocupante. Estudo realizado pela Fundação João Pinheiro, citado no Relatório Preliminar do Plano Diretor de 2004, apontava um déficit habitacional da ordem de 48 mil unidades para o município. Esse número reflete não apenas a carência de moradias, mas também o agravamento de ocupações irregulares e a disseminação de assentamentos precários em áreas inadequadas à urbanização, como exemplifica a Figura 1.

Figura 1 - Notícia sobre ocupação irregular em área de preservação em Porto Velho

Casas construídas perto de área de preservação são demolidas em Porto Velho

Defesa Civil e Semob foram responsáveis pela demolição. Uma ex-moradora do local afirmou que quando chovia ela precisava sair de casa.

Por Hosana Moraes, G1 RO

20/02/2018 18h50 · Atualizado há 7 anos



Demolição das casas ocorreu na manhã desta terça-feira (20) pela Semob e Defesa Civil em Porto Velho — Foto: Hosana Moraes/G1

Fonte: G1 Rondônia, 2018.

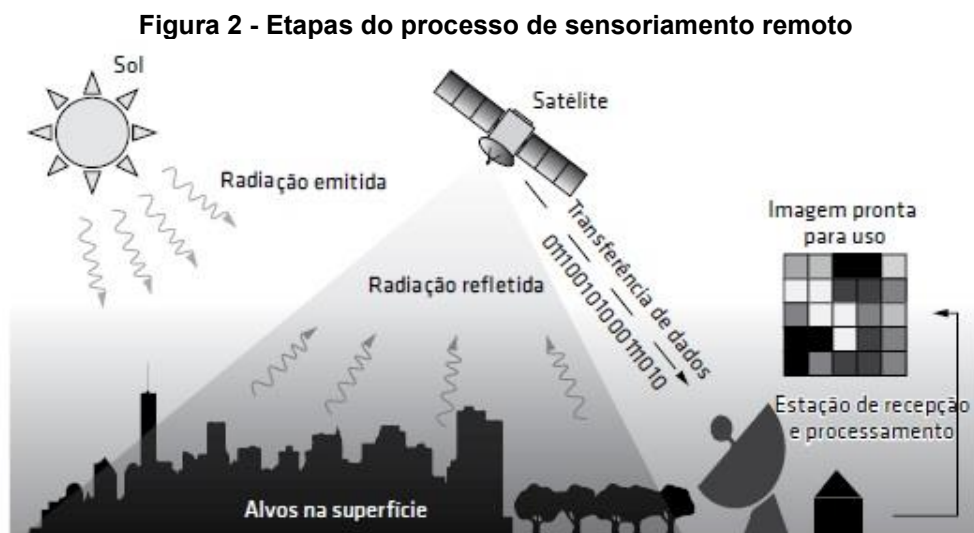
O estudo mencionado evidencia ainda uma expressiva subnormalidade habitacional manifestada sob diversas formas, das quais se destacam: a irregularidade da titulação dominial (como a ocupação de terrenos ou edificações não próprios, aquisição de imóveis de possuidores não proprietários e titulação incompleta); além da não conformidade com padrões mínimos de segurança e

habitabilidade (como edificações em áreas de risco, uso de materiais inadequados e ausência de infraestrutura básica, como saneamento e drenagem urbana).

Tucci (2008) aponta que áreas de preservação ambiental acabam sendo invadidas, principalmente por populações de baixa renda, em virtude da pressão exercida pelo crescimento urbano acelerado e pelo aumento dos custos imobiliários. Com a promulgação de legislações de proteção às bacias hidrográficas em diversos estados brasileiros, muitos proprietários de terras passam a perceber uma desvalorização de seus imóveis. Nesse contexto, o autor destaca o desinteresse desses proprietários em proteger suas áreas de possíveis invasões, já que, em alguns casos, o poder público demonstra interesse em adquirir tais propriedades para fins de conservação ambiental, o que, paradoxalmente, pode incentivar a negligência e a ocupação irregular.

3.5 Sensoriamento Remoto (SR)

De acordo com Florenzano (2007), o sensoriamento remoto é a tecnologia que possibilita a obtenção de dados e imagens da superfície terrestre remotamente, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento se dá devido ao uso de sensores utilizados para a obtenção de dados, os quais são instalados em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. Um exemplo deste processo é ilustrado através da Figura 2.



Fonte: Livro Processamento de imagens de satélite, 2019.

Figueiredo (2005) divide os elementos importantes para a evolução tecnológica do sensoriamento remoto em quatro segmentos. O primeiro refere-se aos sensores, responsáveis pela captação de dados e imagens, cuja melhoria tem permitido maior qualidade e definição nas imagens adquiridas. Em seguida, os sistemas de telemetria, que transmitem esses dados para as estações em solo, têm avançado para suportar volumes cada vez maiores de informação. Os sistemas de processamento, por sua vez, englobam equipamentos e softwares capazes de armazenar e tratar digitalmente os dados coletados, ampliando as possibilidades analíticas e o acesso a grandes acervos. Por fim, os lançadores - compostos pelas bases e foguetes que colocam os satélites em órbita - têm se modernizado para transportar satélites mais pesados e com mais recursos tecnológicos.

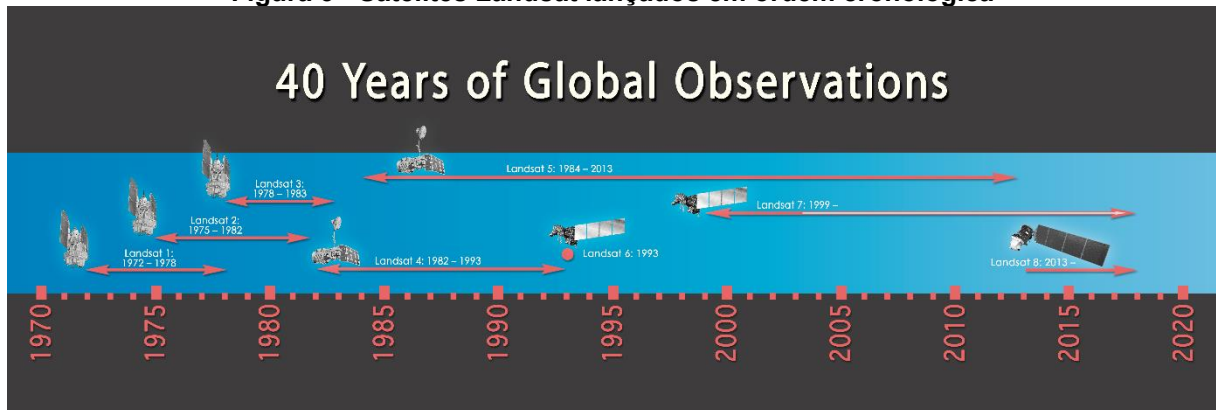
3.5.1 Satélites Orbitais – Landsat

Atualmente, os satélites orbitais são uns dos principais meios de alimentação de imagens de SR, existindo uma gama de satélites em atividade que fazem o monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, além daqueles que realizam levantamentos meteorológicos, destinados à estudos climáticos e atmosféricos (Figueiredo, 2005). Uma das grandes vantagens da utilização de SR para estudos de análise temporal ambiental, é justamente a temporalidade em relação a outros métodos de aquisição de dados, como a coleta em campo e o levantamento através de drones de imageamento.

O sistema *Landsat*, desenvolvido pela NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) e tendo sua operação iniciada em 1972, foi um dos primeiros a obter imagens terrestres sinópticas de média resolução. O Landsat I possuía limitações quanto à baixa resolução espacial (80 metros), que apesar de revolucionária para diversas áreas de pesquisa, ainda carecia de precisão para a aplicação efetiva em estudos da complexidade da infraestrutura urbana.

Dentro do programa Landsat, foram desenvolvidos e colocados em órbita ao todo 9 satélites (Figura 3). Para este estudo, serão utilizados principalmente os dados do Landsat 5, lançado em 1984 e desativado em 2013 e do Landsat 8, lançado em 2013 permanecendo em órbita até os dias atuais. Ambos os satélites possuem as bandas necessárias para execução da metodologia desta pesquisa, além de uma resolução de 30 metros (NASA, 2025).

Figura 3 - Satélites Landsat lançados em ordem cronológica



Fonte: NASA, 2025.

3.5.2 Bandas Espectrais

As bandas espectrais são faixas específicas do espectro eletromagnético registradas pelos sensores a bordo de satélites de observação da Terra. Cada sensor opera captando a energia refletida pelos alvos em determinados comprimentos de onda, que são organizados em bandas. Essas bandas representam intervalos contínuos do espectro, como o visível, o infravermelho próximo ou o infravermelho de ondas curtas, permitindo que diferentes características dos elementos da superfície terrestre sejam identificadas (INPE, 2019). As bandas existentes no Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI estão representadas no Quadro 2 e

Quadro 3 respectivamente.

Quadro 2 - Bandas do Landsat 5 TM

Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução (metros)
Banda 1 - Azul	0,45-0,52	30
Banda 2 - Verde	0,52-0,60	30
Banda 3 - Vermelha	0,63-0,69	30
Banda 4 - Infravermelho próximo (NIR)	0,76-0,90	30
Banda 5 - Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR) 1	1,55-1,75	30
Banda 6 - Térmica	10,40-12,50	120*
Banda 7 - Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR) 2	2,08-2,35	30
*Reamostrados para 30.		

Fonte: USGS, 2025.

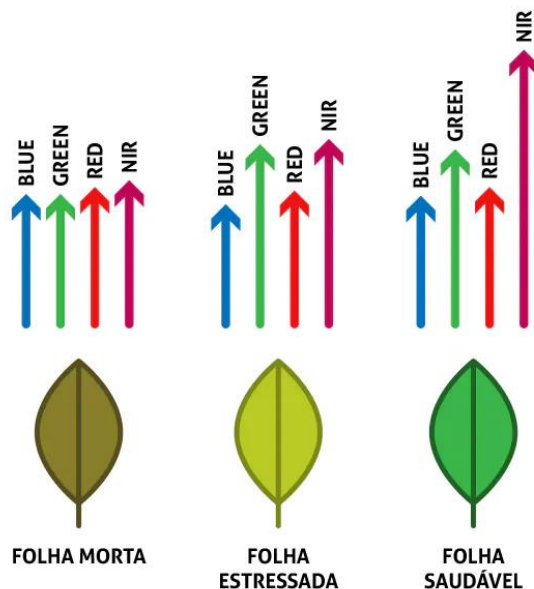
Quadro 3 - Bandas do Landsat 8 OLI/TIRS

Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução (metros)
Banda 1 - Aerossol costeiro	0,43-0,45	30
Banda 2 - Azul	0,45-0,51	30
Banda 3 - Verde	0,53-0,59	30
Banda 4 - Vermelha	0,64-0,67	30
Banda 5 - Infravermelho próximo (NIR)	0,85-0,88	30
Banda 6 - Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR) 1	1,57-1,65	30
Banda 7 - Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR) 2	2,11-2,29	30
Banda 8 - Pancromática	0,50-0,68	15
Banda 9 - Cirrus	1,36-1,38	30
Banda 10 - Infravermelho Térmico (TIRS) 1	10,6-11,19	100*
Banda 11 - Infravermelho Térmico (TIRS) 2	11,50-12,51	100*

*Reamostrados para 30.

Fonte: USGS, 2025.

De acordo com o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, a resposta espectral dos materiais varia conforme sua composição física e química, fazendo com que apresentem comportamentos distintos em cada banda (Figura 4). Assim, corpos d'água, vegetação, áreas urbanizadas, solos expostos e outros alvos possuem assinaturas espectrais próprias, que podem ser discriminadas pelos sensores. Essa propriedade fundamenta grande parte das aplicações do sensoriamento remoto, como o monitoramento ambiental, a classificação de uso e cobertura da terra, a detecção de mudanças e a análise de fenômenos hidrológicos.

Figura 4 - Reflectância das bandas de acordo com o alvo

Fonte: Adenilson Giovanini, 2025.

3.6 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é o conjunto de ferramentas utilizado para capturar, armazenar, processar, analisar e representar dados georreferenciados, ou seja, dados que possuem localização espacial geográfica associada por um sistema de coordenadas. O SIG permite que informações georreferenciadas de relevo, uso do solo, hidrografia, entre outras sejam analisadas de forma integrada em ambiente computacional. Tais informações podem ser de diferentes tipos, resoluções ou origens (Florenzano, 2007).

Sobre a utilização de SIG voltada para o planejamento urbano de cidades, Farina (2006, p. 9) afirma que:

Os SIG representam uma ferramenta extremamente útil aos propósitos do planejamento municipal. Por reunirem um extenso conjunto de aplicativos para coletar, armazenar, recuperar, transformar e representar dados espaciais e, também, estatísticos ou textuais a eles relacionados, representam claramente um grande passo no sentido de uma maior racionalização no planejamento e no gerenciamento das administrações municipais.

Nesta pesquisa, os Sistemas de Informação Geográfica utilizados serão o QGIS e o Google Earth Engine, além disso, será abordado amplamente o conceito de rasters.

3.6.1 QGIS

O QGIS é um software livre e de código aberto amplamente utilizado na área de geotecnologias. O QGIS permite a manipulação de dados vetoriais e matriciais, bem como a integração com bancos de dados espaciais e imagens de sensoriamento remoto, viabilizando análises espaciais complexas de forma acessível e eficaz. Sua interface intuitiva e a vasta gama de plugins disponíveis tornam-no uma ferramenta adequada tanto para análises técnicas quanto para a elaboração de mapas temáticos.

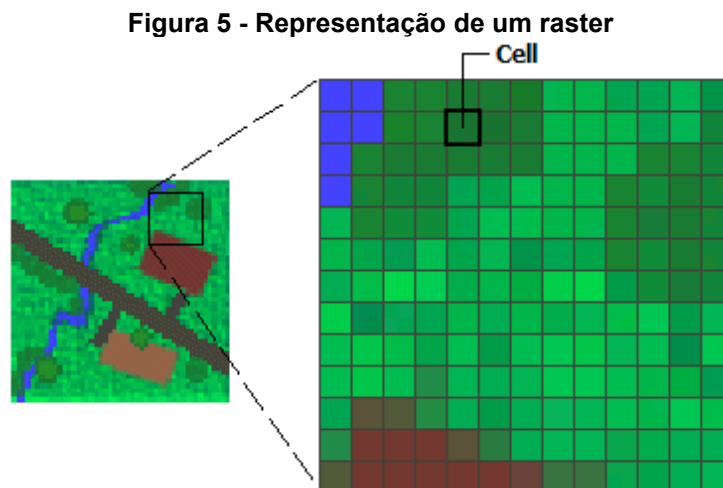
3.6.2 Google Earth Engine (GEE)

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma de processamento geoespacial em nuvem que integra um extenso acervo de imagens de satélite com ferramentas de análise e visualização de dados. Por meio de programação em

JavaScript ou Python, permite o processamento eficiente de grandes volumes de dados ambientais. O GEE se destaca por eliminar a necessidade de hardware avançado, democratizando o acesso a tecnologias de sensoriamento remoto e análise espacial.

3.6.3 Rasters

Dados raster constituem modelos matriciais organizados em linhas e colunas com o objetivo de obter uma representação espacial (Figura 5). Cada célula, ou pixel, contém um valor numérico associado a uma variável observada na superfície terrestre. Esses valores podem corresponder à reflectância registrada por sensores orbitais, à altitude em modelos digitais de terreno, à temperatura da superfície ou a outras variáveis físico-espaciais (SPUGeo, 2016).



Fonte: ESRI, 2024.

A dimensão do pixel define a resolução espacial do raster e determina o nível de detalhamento disponível para a análise. Resoluções menores resultam em maior capacidade de discriminação de feições, enquanto resoluções mais amplas são adequadas para estudos regionais. Além da resolução espacial, aspectos como resolução radiométrica e resolução temporal também influenciam a qualidade e a aplicabilidade do dado raster em estudos ambientais e geográficos.

3.7 Índices de Vegetação (NDVI)

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*), é um índice espectral utilizado para medir a densidade

e a saúde da vegetação por meio do sensoriamento remoto (Xu et al., 2022). Ele é calculado com base na diferença entre as bandas do vermelho (*Red*) e do infravermelho próximo (*Near-Infrared - NIR*) de imagens de satélite (Ozyavuz, 2015), utilizando a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Para interpretar os índices de NDVI, é importante saber que os seus valores podem variar entre 0 e 1, onde valores próximos a 0 representam vegetação menos densa, enquanto valores próximos a 1 representam vegetação mais densa. Um exemplo de aplicação dos intervalos NDVI está representado no Quadro 4.

Quadro 4 - Intervalos de NDVI e sua interpretação

Intervalo de NDVI	Tipo de vegetação
0,6 a 1,0	Vegetação densa e saudável
0,2 a 0,5	Vegetação rala ou em transição
0,0 a 0,2	Solo exposto ou vegetação muito escassa
< 0,0	Água, nuvens ou superfícies artificiais

Fonte: EOS Data Analytics, 2023.

Apesar de amplamente utilizado em estudos ambientais, o NDVI apresenta limitações quando aplicado a áreas urbanas, especialmente em locais com alta heterogeneidade espectral, como pavimentações, telhados e sombras. Nessas condições, a mistura de alvos em um único pixel pode gerar valores intermediários que dificultam a interpretação. Além disso, o índice pode classificar regiões urbanizadas como vegetação esparsa ou degradada, devido às suas reflexões semelhantes (Da Luz et al., 2019).

Ainda assim, quando o objetivo está focado na avaliação da cobertura vegetal e na detecção de sua redução ao longo do tempo, o NDVI é uma ferramenta adequada, especialmente quando utilizado com dados de média resolução como o Landsat.

4 METODOLOGIA

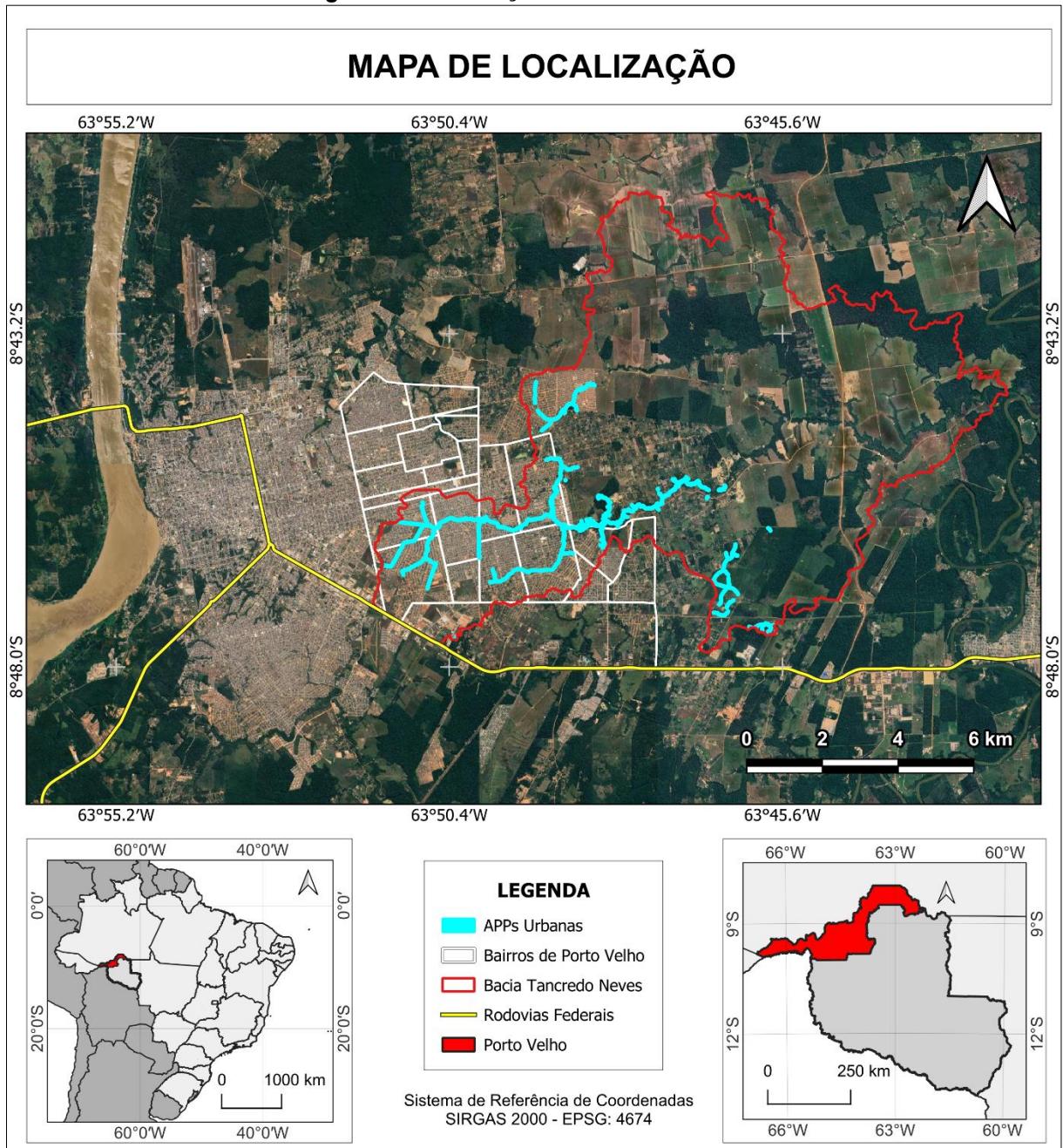
4.1 Área de estudo

O estudo foi aplicado nas Áreas de Preservação Permanentes existentes no perímetro urbanizado da Bacia Urbana Tancredo Neves, as quais são delimitadas e disponibilizadas pela prefeitura do município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia. O município é o maior do Brasil em extensão e está localizado às margens do Rio Madeira, tendo uma área territorial de mais de 34 mil km² (Porto Velho, 2022). Sua população total é de 460.434 habitantes pelo censo do IBGE do ano de 2022.

Porto Velho está localizada na Bacia do Rio Amazonas e seu clima predominante é o tropical superúmido. Sua geografia é marcada pela presença de cursos d'água que estão presentes ao longo de toda a cidade, misturando-se à paisagem edificada. Na zona urbana são identificadas 6 sub-bacias hidrográficas, entre as quais está destacada neste estudo a Bacia Urbana Tancredo Neves, localizada na transição do perímetro urbano ao leste da cidade, com uma área total de 101,56 km².

Na Figura 6 tem-se o mapa da localização bacia em relação à zona urbana de Porto Velho, assim como a localização das APPs. Ambas as camadas foram adquiridas através do Geoportal da Prefeitura de Porto Velho no formato shapefile, com escala espacial de 1:1.000 e sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 zona UTM 20S.

Figura 6 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autora, 2025.

4.2 Coleta e Tratamento dos NDVI's

O processamento de índices NDVI utilizados para cada período foram processados através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), método também empregado por da Luz et. al (2019) e Ribeiro (2024). As análises foram realizadas para cada quinquênio a contar do ano de 1985 utilizando as imagens orbitais de satélite dos sensores *Landsat 5* e *Landsat 8* na plataforma do GEE. Para minimizar interferências atmosféricas, como cobertura de nuvens e elevada umidade, que

comprometem a qualidade da análise espectral, delimitou-se a pesquisa para os meses de estação seca (junho a setembro).

As cenas foram submetidas a procedimentos de pré-processamento utilizando código em *JavaScript* no editor de código da plataforma GEE (disponível em apêndice). Inicialmente, definiu-se a geometria da área de estudo diretamente na plataforma, a qual foi utilizada no filtro espacial da coleção *Landsat* por meio do comando.

Para cada recorte temporal, foi aplicada a filtragem por datas e por meses específicos, restringindo a análise ao período seco. Em seguida, empregou-se a ordenação da coleção priorizando cenas com menor cobertura de nuvens, selecionando por fim a imagem com melhor qualidade atmosférica.

Após a seleção da cena, procedeu-se à escolha das bandas necessárias ao cálculo do NDVI. As bandas *RED* e *NIR* utilizadas no cálculo variam entre o *Landsat 5 TM* e *Landsat 8 OLI/TIRS* e estão representadas no Quadro 5. O índice NDVI foi calculado por meio da fórmula padrão demonstrada previamente na Equação 1, resultando em um raster nomeado como “NDVI”.

Quadro 5 - Características das cenas utilizadas

Série temporal	Coleção Landsat Utilizada	Bandas correspondentes	
		Vermelho	Infravermelho próximo
1985	5 TM	B3	B4
1990	5 TM	B3	B4
1996	5 TM	B3	B4
2000	5 TM	B3	B4
2005	5 TM	B3	B4
2011	5 TM	B3	B4
2015	8 OLI	B4	B5
2020	8 OLI	B4	B5
2025	8 OLI	B4	B5

Fonte: Autoria Própria, 2025.

A visualização preliminar dos resultados foi realizada no próprio ambiente do GEE, utilizando parâmetros de renderização com valores mínimo e máximo de -1 a 1 e paleta de cores composta por vermelho, branco e verde, representando respectivamente solo exposto, transição e vegetação.

Por fim, os rasters, com resolução espacial de 30 m, foram recortados pela geometria da área de estudo, utilizando o sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM Zona 20 Sul (EPSG:31980). Os arquivos exportados

constituíram os produtos de entrada das etapas seguintes, incluindo recorte pelas APPs, reclassificação e cálculos de área.

4.3 Recorte para as APPs

O recorte espacial das Áreas de Preservação Permanente (APPs) utilizado neste estudo foi obtido no Geoportal oficial da Prefeitura de Porto Velho. A camada encontra-se na escala 1:1.000, no formato shapefile, referenciada ao sistema SIRGAS 2000 / UTM Zona 20S (EPSG:31980). Segundo seus metadados, os dados foram atualizados em 30 de agosto de 2024 e seguem as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, atendendo ao Padrão de Exatidão Cartográfica e Produto Cartográfico Digital (PEC-PCD) Classe A.

A análise preliminar em ambiente SIG, utilizando imagens de satélite para comparação visual, permitiu confirmar que as APPs disponibilizadas correspondem às áreas existentes na porção urbanizada da Bacia Urbana Tancredo Neves, coincidindo integralmente com a área de interesse deste estudo. A delimitação da própria bacia também foi extraída do Geoportal, possuindo o mesmo sistema de referência cartográfica.

A partir dessa camada vetorial, foi realizado o recorte espacial de cada raster de NDVI, preservando exclusivamente os pixels contidos dentro dos limites das APPs. Esse procedimento assegurou que as análises e cálculos de área subsequentes fossem conduzidos apenas sobre a região efetivamente investigada, eliminando interferências externas ao objeto de estudo.

4.4 Reclassificação e Cálculo de Áreas

A definição dos intervalos de NDVI utilizados na reclassificação levou em consideração as diferenças entre os sensores Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI/TIRS, especialmente no que se refere às bandas espectrais empregadas no cálculo do índice e à resolução radiométrica, conforme sintetizado no Quadro 6. Tais características resultam em respostas espectrais distintas para uma mesma classe de cobertura, motivo pelo qual a reclassificação exigiu critérios específicos para cada período analisado.

Quadro 6 - Diferenças entre o Landsat 5 TM e o Landsat 8 OLI/TIRS

Características	Landsat 5 TM	Landsat 8 OLI/TIRS
Vermelho	Banda 3 (0,63–0,69 μm)	Banda 4 (0,64–0,67 μm)
Infravermelho próximo	Banda 4 (0,76–0,90 μm)	Banda 5 (0,85–0,88 μm)
Resolução radiométrica	8 bits	12 bits

Fonte: Autoria Própria, 2025.

A classificação do NDVI foi realizada com base em análise visual das imagens e na avaliação estatística de cada raster. A partir dessa interpretação, estabeleceram-se dois intervalos principais: áreas não vegetadas e áreas vegetadas. A reclassificação foi executada atribuindo valores binários (0 e 1) às faixas definidas, facilitando a identificação e o cálculo posterior das áreas.

Para todos os anos analisados, a classe correspondente à superfície de água não foi registrada dentro dos limites das APPs. Isso se deve à combinação entre:

- A. o pequeno porte das feições hídricas na área de estudo, e
- B. a resolução espacial de 30 metros das imagens Landsat, que não permite a individualização precisa de corpos d'água estreitos.

Assim, as classes adotadas restringiram-se às categorias vegetada e não vegetada, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 - Intervalos de NDVI aplicados na reclassificação

Série temporal	Coleção Utilizada	Classe Não Vegetada	Classe Vegetada
1985	Landsat 5 TM	0 a 0,30	0,30 a 1
1990	Landsat 5 TM	0 a 0,30	0,30 a 1
1996	Landsat 5 TM	0 a 0,30	0,30 a 1
2000	Landsat 5 TM	0 a 0,30	0,30 a 1
2005	Landsat 5 TM	0 a 0,30	0,30 a 1
2011	Landsat 5 TM	0 a 0,30	0,30 a 1
2015	Landsat 8 OLI	0 a 0,25	0,25 a 1
2020	Landsat 8 OLI	0 a 0,25	0,25 a 1
2025	Landsat 8 OLI	0 a 0,25	0,25 a 1

Fonte: Autoria própria, 2025.

Após a reclassificação, procedeu-se ao cálculo das áreas relativas a cada classe. Essa etapa permitiu quantificar, de forma precisa, a proporção de vegetação e de superfícies não vegetadas existentes nas APPs ao longo das séries temporais, subsidiando a análise da dinâmica de degradação ambiental no recorte estudado.

4.5 Avaliação da Influência de Legislações na Degradação das APPs

Para correlacionar as mudanças observadas na vegetação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) com fatores institucionais e socioeconômicos, realizou-se uma análise qualitativa baseada na consulta a documentos normativos e informações demográficas do município de Porto Velho. Foram examinados os planos diretores municipais, bem como leis específicas relacionadas à proteção das APPs e ao processo de urbanização ao longo das décadas, considerando-se suas atualizações e diretrizes aplicáveis à área estudada. As normas levantadas serão apresentadas sinteticamente no Quadro 8.

Quadro 8 - Leis municipais de planejamento analisadas

NORMA/LEI	ASSUNTO	ANO DE REFERÊNCIA
-	Plano de Ação Imediata (PAI)	1972
Lei Complementar nº 933/1990	Plano Diretor do Município de Porto Velho	1990
Lei Complementar nº 311/2008	Plano Diretor do Município de Porto Velho	2008
Lei Complementar nº 751/2018	Programa de Regularização Ambiental Urbana em Áreas de Preservação Permanente - ECOMORAR	2018
Lei Complementar nº 838/2021	Plano Diretor Participativo do Município de Porto Velho	2021

Fonte: Adaptado do estudo Evolução da Mancha Urbana Porto Velho (SEMPOG), 2025.

Além dos instrumentos legais, também foram analisados dados populacionais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), incluindo séries históricas, taxas de crescimento demográfico e tendências migratórias que influenciaram diretamente a expansão urbana do município. O contexto histórico de desenvolvimento urbano de Porto Velho, marcado por ciclos econômicos, políticas de habitação e fluxos migratórios intensificados, foi igualmente considerado por seu papel na pressão antrópica exercida sobre as APPs.

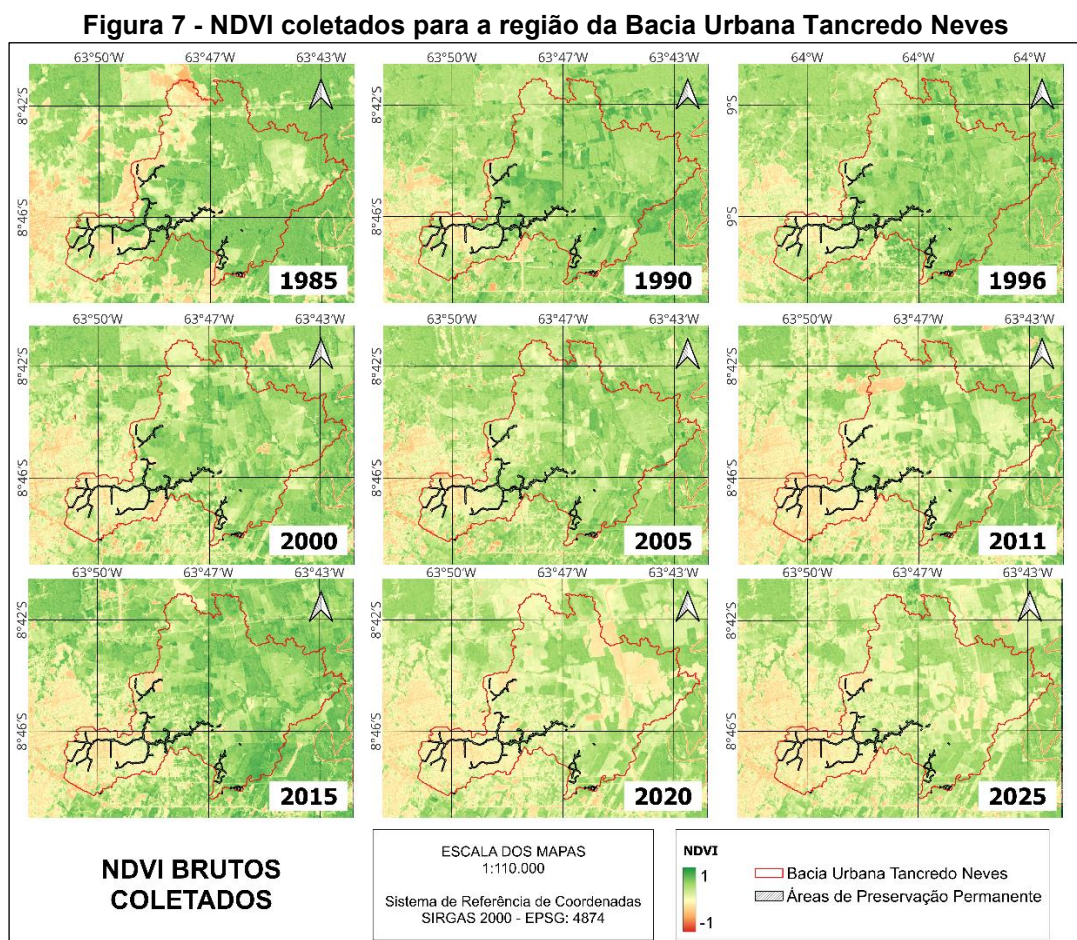
As informações legais, demográficas e históricas foram então comparadas qualitativamente às variações identificadas nas áreas vegetadas e não vegetadas das APPs ao longo da série temporal analisada. Essa comparação qualitativa teve como objetivo verificar se momentos de incremento ou decréscimo de cobertura vegetal coincidem com mudanças no arcabouço normativo municipal ou com períodos de maior expansão urbana e crescimento populacional, permitindo compreender de que forma esses fatores podem ter contribuído para processos de degradação ambiental nas APPs.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 NDVI

As técnicas empregadas na aquisição dos índices de vegetação no Google Earth Engine (GEE) resultaram em rasters com excelente qualidade visual, apresentando baixa ou inexistente cobertura de nuvens para todos os anos analisados. A filtragem, o ordenamento das coleções e a seleção automática da melhor cena disponível, contribuiu para a obtenção de imagens adequadas ao cálculo do NDVI.

Observa-se, entretanto, uma diferença na nitidez e no contraste entre os rasters derivados do Landsat 5 (1985–2011) e aqueles obtidos a partir do Landsat 8 (2015–2025). Embora ambos apresentem resolução espacial de 30 metros, o sensor OLI possui maior resolução radiométrica, o que resulta em imagens mais vívidas, com melhor separação entre tipos de áreas. Essa diferença não interfere na aplicação do NDVI, mas se manifesta na qualidade das composições exibidas na Figura 7.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A Figura 7 mostra a sequência temporal dos NDVI brutos, representados em uma composição de cores contínua que varia do vermelho (valores negativos), passando pelo amarelo e tons alaranjados (valores mais baixos, associados majoritariamente a solo exposto ou vegetação esparsa), até o verde escuro (valores mais altos, característicos de vegetação densa ou em bom estado). Essa gradação cromática permite visualizar de forma imediata os padrões espaciais de cobertura vegetal na Bacia Urbana Tancredo Neves ao longo dos quarenta anos avaliados, evidenciando tanto as áreas de preservação permanente quanto as zonas com maior pressão antrópica.

5.1.1 Análise estatística dos NDVI

As estatísticas descritivas dos NDVI ao longo da série temporal apresentam relativa estabilidade dos valores médios. Com as áreas recortadas para o interior das APPs, foi possível constatar que os valores médios variam entre 0,25 e 0,31 em todos os anos analisados (Tabela 1). Essa consistência indica que a vegetação presente dentro das APPs mantém, de modo geral, uma condição intermediária de vigor, sem grandes flutuações no comportamento espectral. O desvio-padrão também permanece baixo em todos os períodos (0,07–0,09), sugerindo pouca heterogeneidade interna na resposta espectral da vegetação.

Tabela 1 - Estatísticas de NDVI para os rasters

Série temporal	Coleção Utilizada	NDVI Mínimo	NDVI Máximo	NDVI Médio	Desvio Padrão
1985	Landsat 5 TM	0,09	0,42	0,31	0,07
1990	Landsat 5 TM	0,06	0,47	0,31	0,07
1996	Landsat 5 TM	0,06	0,48	0,31	0,07
2000	Landsat 5 TM	0,04	0,42	0,28	0,08
2005	Landsat 5 TM	0,03	0,42	0,31	0,07
2011	Landsat 5 TM	0,02	0,43	0,25	0,09
2015	Landsat 8 OLI	0,03	0,48	0,29	0,09
2020	Landsat 8 OLI	0,04	0,45	0,27	0,09
2025	Landsat 8 OLI	0,02	0,48	0,28	0,09

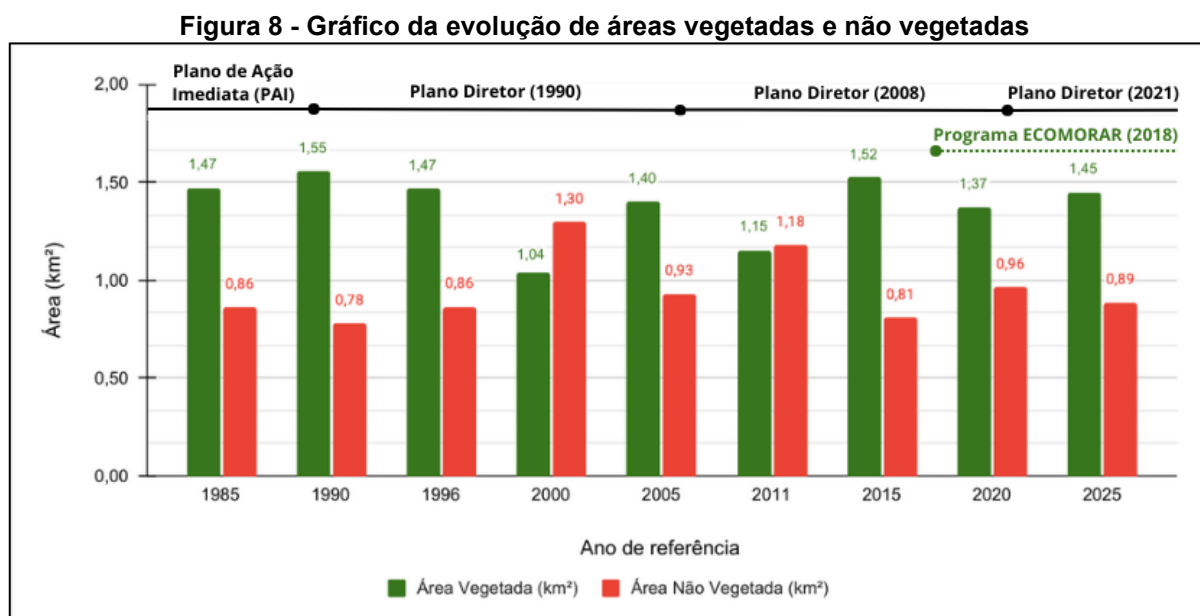
Fonte: Autoria Própria, 2025.

Os valores mínimos apresentam pequenas oscilações ao longo dos anos, mas sempre permanecem próximos de zero, compatíveis com a presença de áreas de solo exposto ou vegetação muito esparsa. Da mesma forma, os valores máximos pouco se alteram na série temporal, situando-se entre 0,40 e 0,48, o que indica a presença contínua de trechos com vegetação mais densa, característica das APPs analisadas.

A troca de sensor entre 2011 (Landsat 5) e 2015-2025 (Landsat 8) introduz um pequeno aumento de sensibilidade radiométrica, refletido no desvio-padrão ligeiramente maior. Ainda assim, a coerência entre as estatísticas confirma que ambas as coleções são comparáveis e adequadas para a avaliação multitemporal da vegetação nas APPs.

5.2 Área vegetada x Área Não Vegetada

O gráfico de barras da Figura 8 apresenta de forma clara a evolução das áreas vegetadas e não vegetadas nas APPs ao longo dos nove quinquênios analisados (1985–2025). Visualmente, as barras destacam um padrão marcado por oscilações entre fases de retração e recuperação da vegetação. Observa-se de imediato que, apesar das variações, a área não vegetada somente é maior que a área vegetada no entorno dos anos 2000 e de 2011, quando ambas as classes ficam bem próximas.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A primeira fase, entre 1985 e 1990, é caracterizada por um crescimento da vegetação, visível no aumento da barra verde e na redução simultânea da barra vermelha. A partir de 1996, entretanto, nota-se uma queda progressiva da vegetação, chegando ao pico de área não vegetada no ano 2000, sendo este o maior índice registrado, indicando notória degradação na vegetação das APPs. A retomada posterior é perceptível no incremento das barras verdes em 2005 e, principalmente, em 2015, ano que apresenta um expressivo salto de recomposição após uma queda no ano de 2011.

Nos anos mais recentes (2020 e 2025), o gráfico revela um comportamento oscilante, porém sem grandes extremos: uma leve retração em 2020 seguida de nova recuperação em 2025, sugerindo estabilização das dinâmicas de uso e cobertura do solo sobre as áreas protegidas.

5.3 Discussão – Influências Externas na Degradação das APPs

A discussão desenvolvida neste estudo busca compreender, de forma qualitativa, como leis ambientais, instrumentos de planejamento municipal e o crescimento populacional influenciaram a dinâmica de degradação e recomposição da vegetação nas APPs ao longo das quatro décadas analisadas. Para embasar essa análise, a Tabela 2 apresenta a síntese das áreas vegetadas e não vegetadas, bem como a estimativa populacional correspondente a cada ano de referência.

Tabela 2 - Áreas Vegetadas e Não Vegetadas x Estimativa Populacional

Ano	Área Vegetada (km ²)	Área Não Vegetada (km ²)	Área Vegetada (%)	Índice de Variação de Vegetação	Habitantes (IBGE)
1985	1,47	0,86	63,08%	-	202.011 ¹
1990	1,55	0,78	66,63%	3,55%	272.433 ¹
1996	1,47	0,86	62,92%	-3,70%	294.227 ²
2000	1,04	1,30	44,48%	-18,44%	314.525 ¹
2005	1,40	0,93	60,11%	15,63%	373.917 ¹
2011	1,15	1,18	49,46%	-10,65%	435.732 ¹
2015	1,52	0,81	65,37%	15,91%	494.013 ³
2020	1,37	0,96	58,72%	-6,65%	494.013 ³
2025	1,45	0,89	62,04%	3,32%	517.709 ¹

¹Estimativa populacional pelo IBGE.; ²Contagem Populacional.; ³Estimativa do IBGE suspensa por medida judicial. A recomendação é que seja usada a população estimada para o ano de 2014.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

De maneira geral, a tabela demonstra que as APPs não seguiram um padrão linear de perda ou recuperação da vegetação, mas sim uma dinâmica marcada por oscilações, com períodos de supressão seguidos por fases de regeneração. Essas variações evidenciam a influência conjunta de fatores como mudanças legais, expansão urbana, políticas de ordenamento territorial e pressões demográficas.

Observa-se que, mesmo com o crescimento populacional contínuo ao longo da série histórica, a cobertura vegetal nas APPs alterna entre declínios acentuados e momentos de recuperação significativa. Esse comportamento sugere que a eficácia das políticas ambientais depende tanto do marco regulatório vigente quanto da capacidade municipal de fiscalização e gestão territorial, além de responder diretamente ao avanço da urbanização.

A seguir serão discutidos os contextos em que o município de Porto Velho se encontrava em cada etapa analisada neste estudo. Para tal, serão utilizadas como base de consulta estudos e publicações oficiais da Prefeitura Municipal de Porto Velho, estimativas e censos do IBGE, além de Leis Municipais referentes a planejamento urbano que mencionem Áreas de Preservação Permanente.

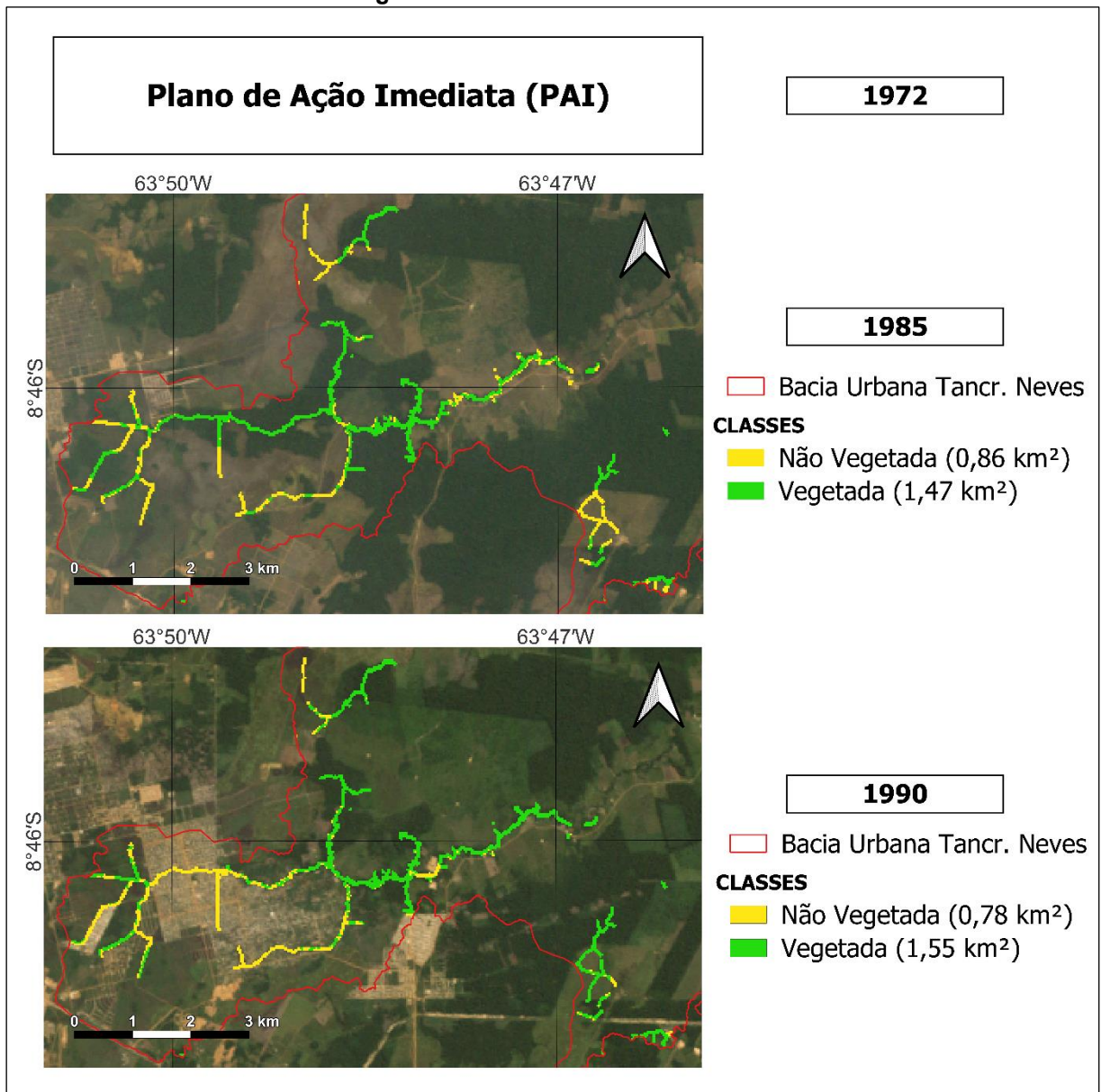
5.3.1 Período de 1985 a 1990

Para compreender a dinâmica de degradação observada entre 1985 e 1990, é fundamental contextualizar o estágio de desenvolvimento urbano e institucional de Porto Velho nesse intervalo. Segundo o estudo da mancha urbana elaborado pela SEMPOG (2022), o primeiro registro de um instrumento formal de planejamento destinado a orientar o crescimento do município é o Plano de Ação Imediata (PAI), instituído em 1972. Embora o documento original não esteja disponível para consulta, o relatório da SEMPOG sintetiza suas diretrizes gerais, que estavam voltadas principalmente para a organização básica da malha urbana, abertura de vias estruturantes e definição de áreas prioritárias para expansão.

Porém, o PAI apresentava limitações significativas: tratava-se de uma iniciativa pontual, com foco operacional e sem mecanismos robustos de controle territorial, ocupação do solo ou preservação ambiental. Além disso, o estudo da SEMPOG evidencia que, durante as décadas de 1970 e 1980, Porto Velho passou por um processo acelerado de expansão da mancha urbana, impulsionado por políticas federais de integração da Amazônia, construção da rodovia BR-364 e forte

atração migratória para atividades ligadas à energia, mineração, extração de madeira e serviços públicos. Esse crescimento ocorreu majoritariamente de forma espontânea e pouco regulamentada, resultando em ocupações irregulares e pressão direta sobre áreas ambientalmente sensíveis.

Figura 9 - Análises de 1985 a 1990

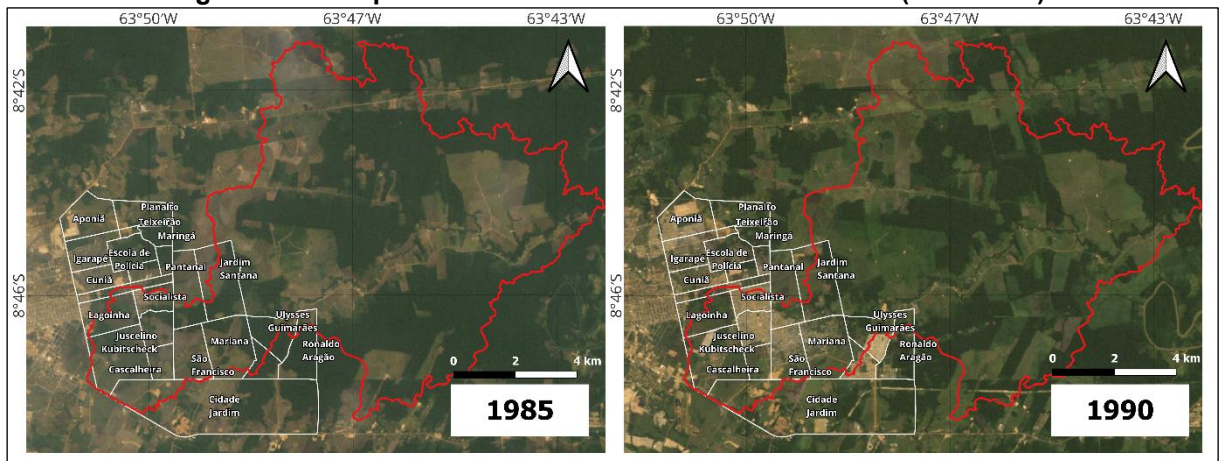


Fonte: Autoria Própria, 2025.

Apesar de anteceder o período analisado, esse contexto histórico é fundamental para explicar o cenário observado na Figura 4. No mapa referente ao ano de 1985, nota-se que as APPs ainda se mantêm predominantemente preservadas, com baixa presença de trechos não vegetados. A degradação identificada ocorre

principalmente em outras regiões do município, associadas à expansão rural, desmatamento para atividades madeireiras e ocupações dispersas típicas da década anterior, e não à pressão urbana direta sobre as APPs. Isso ocorre porque, conforme aponta o estudo da SEMPOG (2022), a malha urbana de Porto Velho ainda não havia avançado para as proximidades da área analisada; a região leste, por exemplo, permanecia sem aglomeração urbana consolidada (Figura 10, imagem à esquerda).

Figura 10 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (1985-1990)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Embora o Plano de Ação Imediata já indicasse tendências de expansão para esse setor devido ao relevo favorável, tais vetores ainda não haviam se materializado em ocupação significativa. Assim, o reduzido impacto sobre as APPs em 1985 reflete uma fase em que o crescimento municipal era acelerado, porém espacialmente distante da área de estudo, preservando, até então, sua cobertura vegetal.

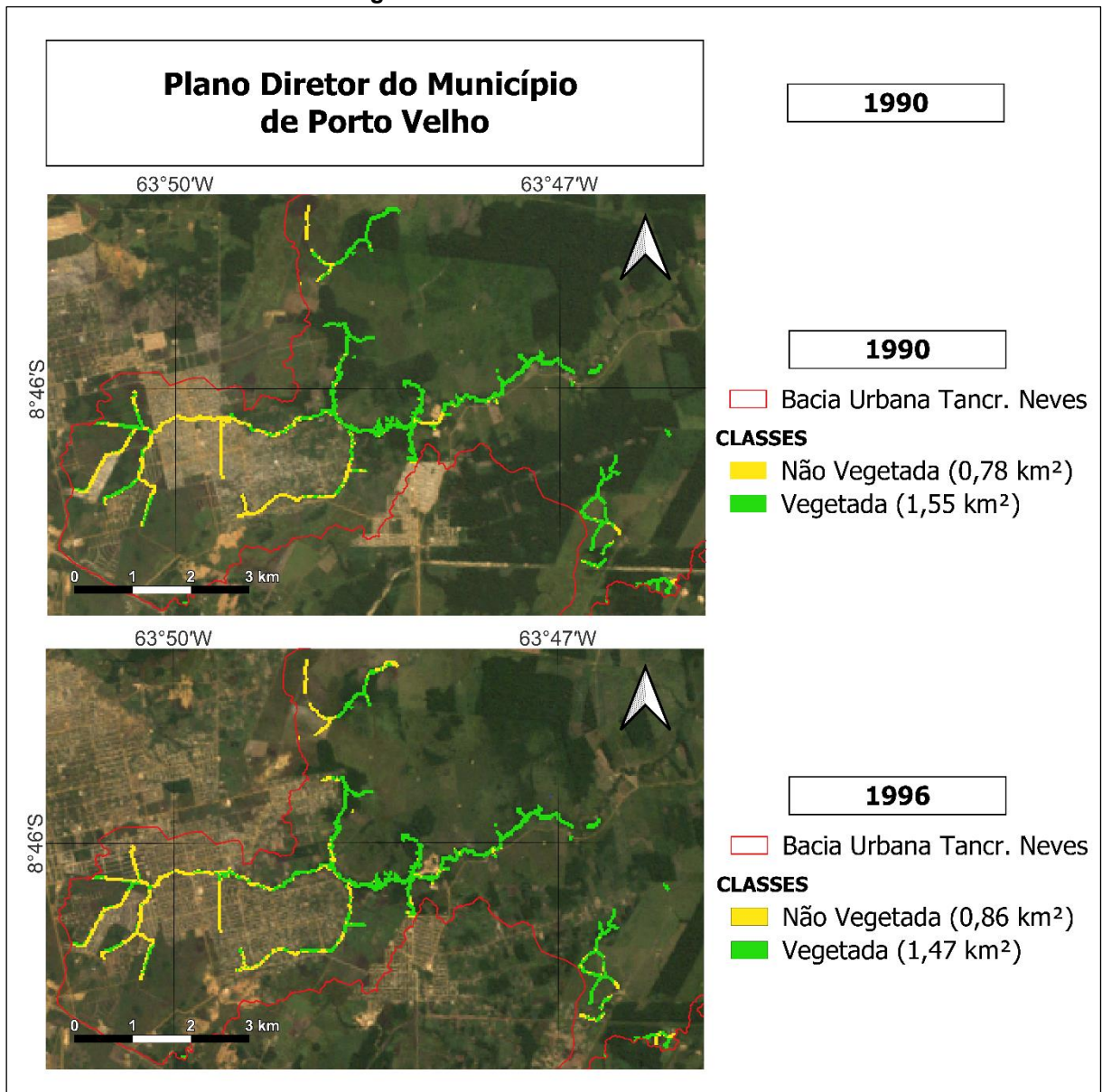
A transição entre 1985 e 1990 marca um momento em que Porto Velho intensifica seu processo de urbanização, fenômeno amplamente documentado pelo estudo da SEMPOG (2022). Nesse intervalo, o município experimenta um aumento populacional expressivo, passando de 202.011 habitantes (1985) para 272.433 habitantes (1990), representando um crescimento de aproximadamente 35% em apenas cinco anos. Esse salto demográfico está diretamente associado aos fluxos migratórios que reforçaram a expansão urbana, impulsionados, sobretudo, por oportunidades de emprego em setores como energia, obras públicas, transporte, comércio e serviços.

Segundo a SEMPOG, essa década coincide com a consolidação de novos loteamentos e a formação de bairros na zona norte e na porção central-oeste da cidade, áreas que passaram a apresentar rápida conversão de vegetação para uso

urbano, conforme mostrado na imagem de 1990 da Figura 10. O processo foi intensificado pela abertura de vias estruturantes derivadas das diretrizes gerais do Plano de Ação Imediata, que facilitaram o acesso e ampliaram o potencial de ocupação de setores até então pouco habitados.

5.3.2 Período de 1990 a 1996

Figura 11 - Análises de 1990 a 1996



Fonte: Autoria Própria, 2025.

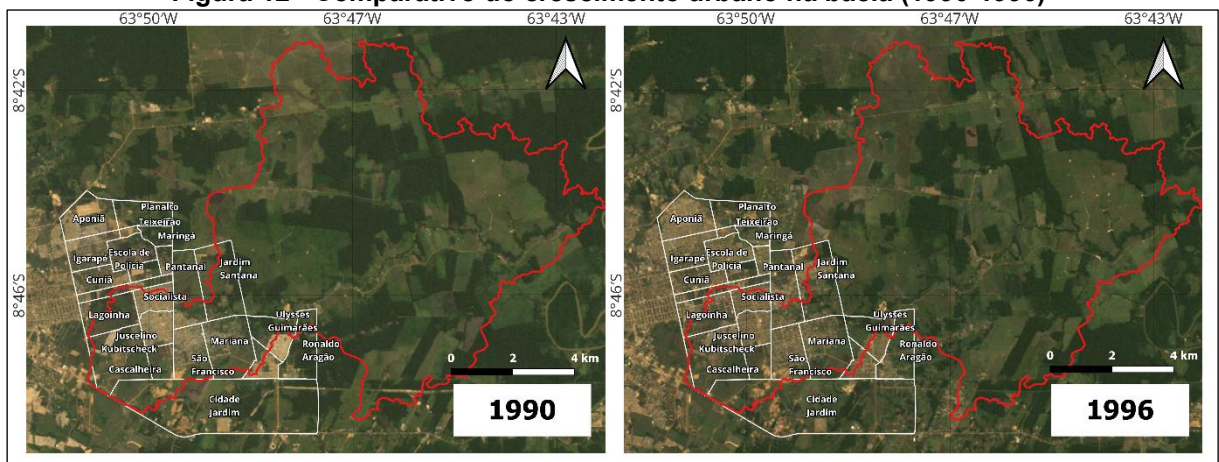
A dinâmica observada entre 1990 e 1996 revela uma intensificação do processo de expansão urbana de Porto Velho e, conseqüentemente, um aumento das áreas não vegetadas identificadas na Figura 11. Esse período marca uma fase de

transição institucional importante, pois coincide com a elaboração e implementação do Plano Diretor de 1990, considerado o primeiro instrumento oficial de planejamento urbano do município com diretrizes estruturadas.

O Plano Diretor de 1990 introduziu propostas mais claras de organização territorial, incluindo a definição de zonas específicas para expansão urbana, orientação para a criação de infraestrutura básica e tentativa de ordenar o crescimento que já vinha ocorrendo de maneira acelerada desde a década anterior. No entanto, segundo o estudo da SEMPOG (2022), a capacidade de execução dessas diretrizes foi limitada. O município ainda enfrentava forte pressão demográfica resultante de correntes migratórias internas, atraídas por oportunidades na esfera pública, no setor madeireiro, nas atividades de mineração e na consolidação da BR-364 como eixo logístico regional.

Entre 1990 e 1996, esse crescimento populacional sustentado impulsionou a formação e consolidação de novos bairros, especialmente ao longo dos principais eixos viários e em regiões que o Plano Diretor já apontava como áreas com potencial para expansão, vide Figura 12. A abertura de loteamentos formais e informais contribuiu diretamente para o avanço da mancha urbana e para o aumento das superfícies não vegetadas. A SEMPOG aponta que esse período foi marcado por ocupações de caráter predominantemente horizontal, resultando em maior consumo de solo e substituição de vegetação por moradias, equipamentos urbanos e infraestrutura básica.

Figura 12 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (1990-1996)



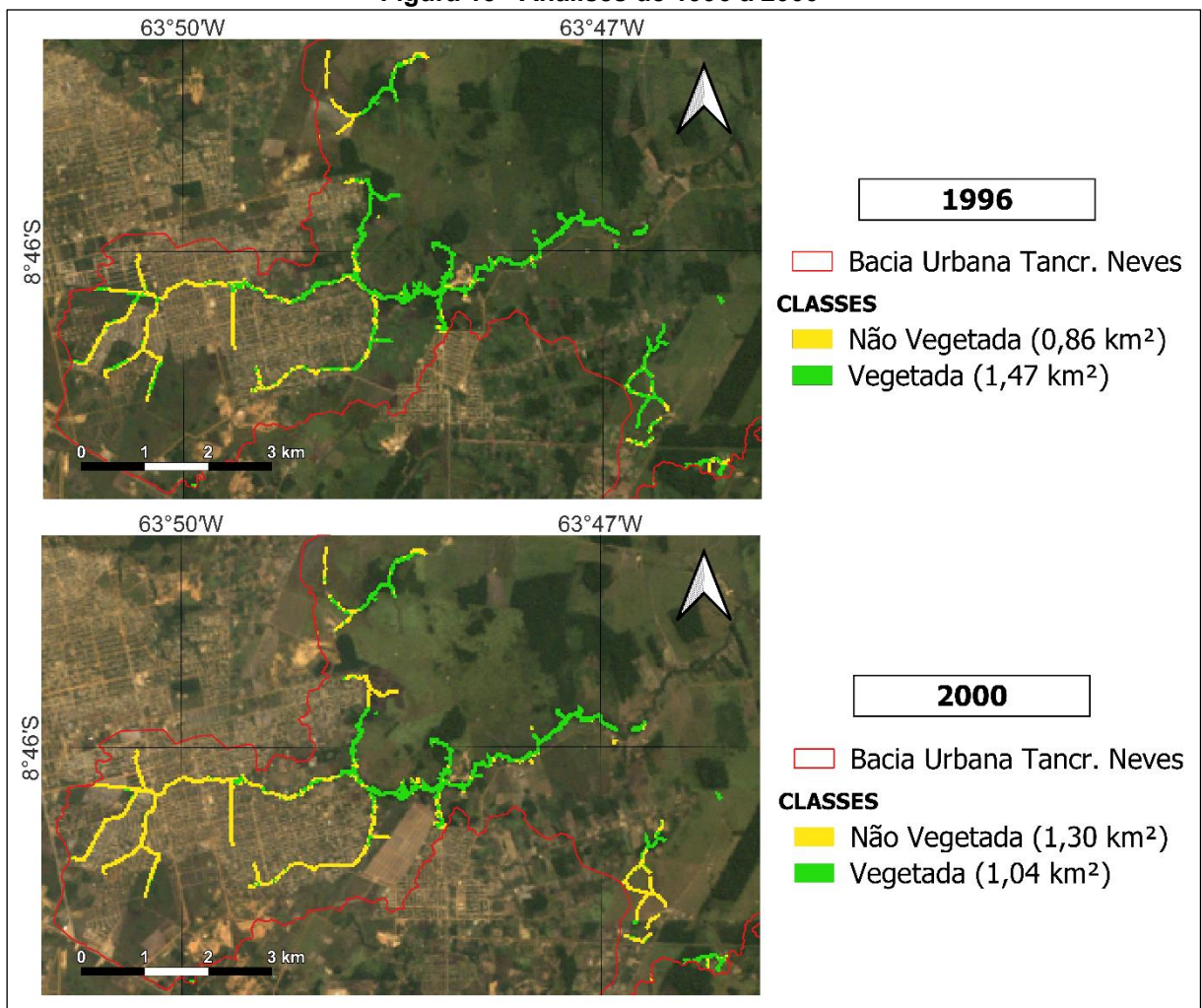
Fonte: Autoria Própria, 2025.

A expansão urbana se dava de forma concentrada em outras porções da cidade, especialmente na área central e nos setores oeste e sul, onde a oferta de serviços e oportunidades se mostrava mais atrativa. A relativa distância dessas APPs em relação às zonas mais densamente ocupadas contribuiu para uma menor variação da cobertura vegetal durante o período.

Assim, o aumento das áreas não vegetadas observado no mapa de 1996 está diretamente relacionado ao surgimento e adensamento de bairros novos e ao próprio direcionamento territorial previsto no Plano Diretor de 1990, que embora buscasse organizar o crescimento, não possuía instrumentos e capacidade institucional suficientes para conter ocupações irregulares ou para garantir a preservação de áreas ecologicamente sensíveis em meio à expansão acelerada.

5.3.3 Período de 1996 a 2000

Figura 13 - Análises de 1996 a 2000

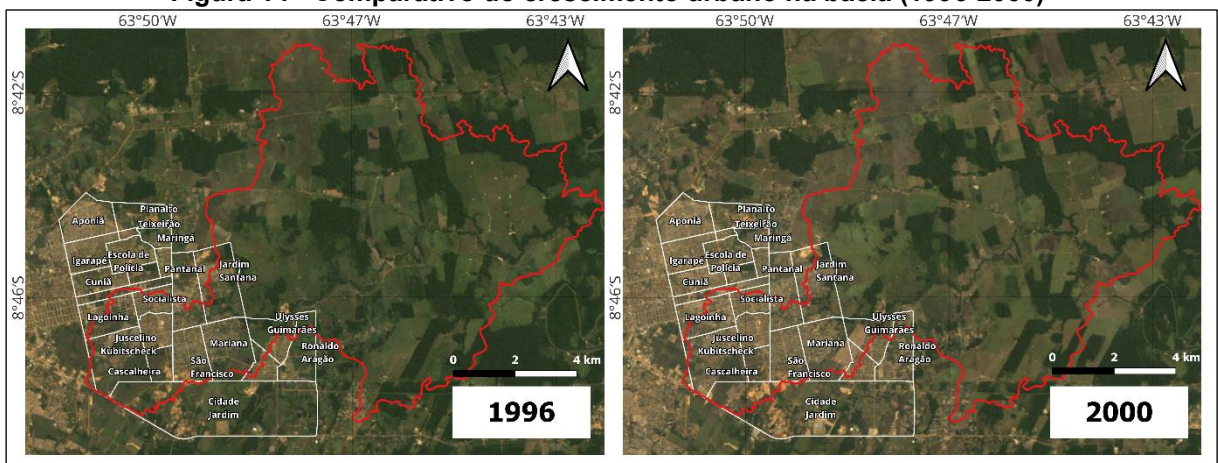


Fonte: Autoria Própria, 2025.

O período de 1996 a 2000 marca uma mudança significativa na dinâmica territorial de Porto Velho, refletida diretamente nos indicadores de vegetação observados na área de estudo. Os dados desse intervalo mostram a maior queda de cobertura vegetal de toda a série histórica analisada. A área vegetada foi reduzida drasticamente, passando de 1,47 km² para 1,04 km², enquanto a área não vegetada consequentemente aumentou de 0,86 km² para 1,30 km². Esse comportamento resulta em uma variação negativa de 18,44% na vegetação (Tabela 2), revelando um processo expressivo de degradação ambiental. Paralelamente, a população urbana apresentou crescimento de aproximadamente 20 mil habitantes entre 1996 e 2000, atingindo 314.525 residentes segundo o IBGE.

De acordo com a SEMPOG (2022), esse período corresponde a uma fase de consolidação e adensamento dos bairros periféricos formados na década anterior, especialmente nas zonas sul e leste. Na Figura 14 Figura 13 é possível observar que, apesar de não expandir seus limites significativamente, a mancha urbana se torna mais densa, com poucas áreas verdes. Essa ocorrência pode justificar a pressão sobre as APPs, causando supressão da vegetação.

Figura 14 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (1996-2000)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A dinâmica de expansão urbana descrita no estudo aponta que Porto Velho passou a vivenciar, no final da década de 1990, uma expansão acelerada e pouco regulada, caracterizada pela abertura de novos loteamentos, ocupações informais e avanço sobre áreas então consideradas de transição entre a malha urbana consolidada e zonas ambientalmente sensíveis (Figura 14). As pressões migratórias continuaram elevadas, impulsionadas pela chegada de famílias oriundas de

municípios vizinhos, por oportunidades no setor público e pela ampliação de atividades ligadas a comércio, serviços e infraestrutura regional.

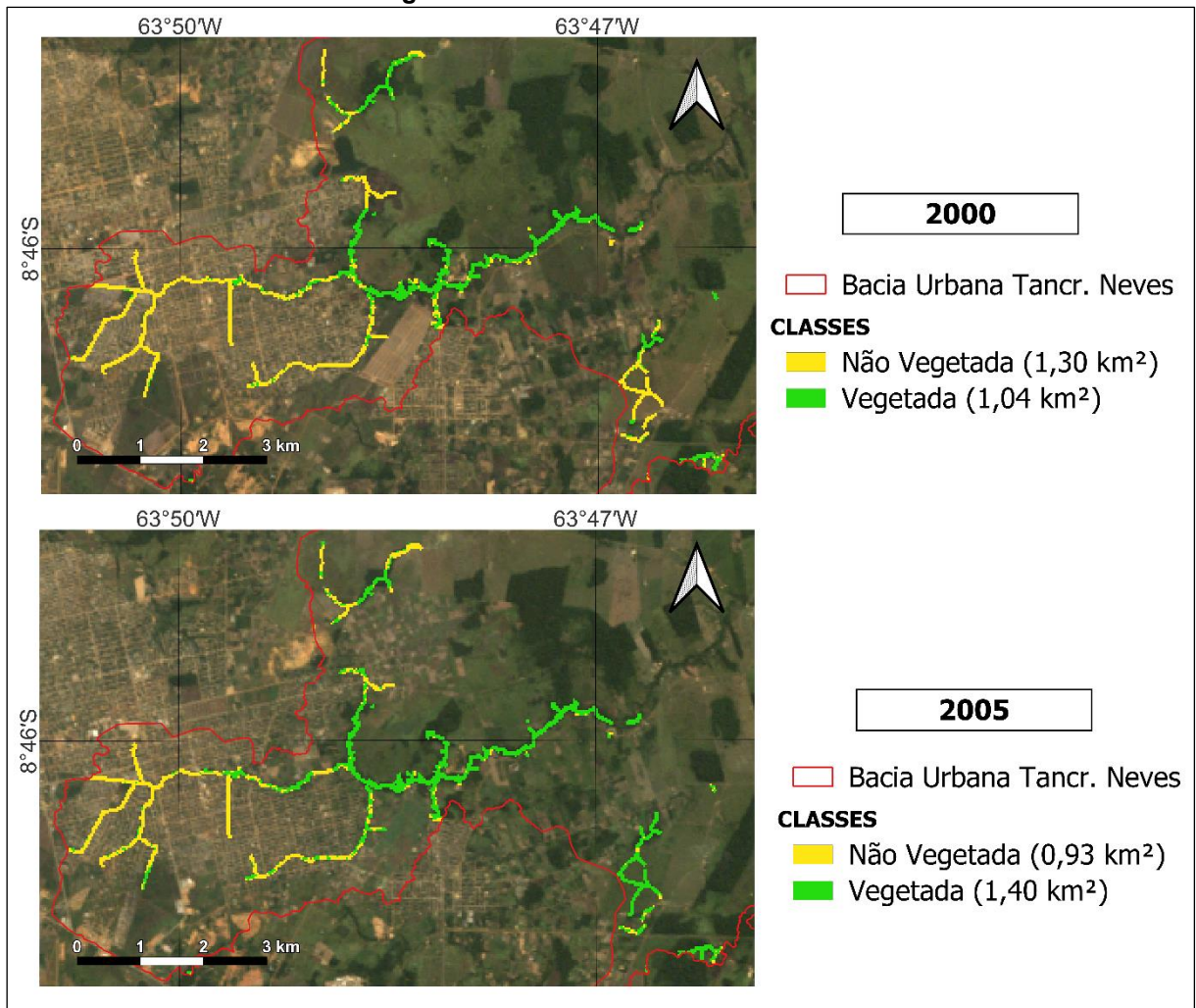
Esse cenário ocorreu sob a vigência do Plano Diretor de 1990, que, embora tenha sido o primeiro instrumento formal de planejamento urbano do município, apresentava limitações estruturais. A SEMPOG destaca que o plano introduziu zoneamentos e parâmetros urbanísticos, mas a capacidade de implementação e fiscalização era reduzida. Na prática, o crescimento urbano avançou de forma mais rápida do que o poder público conseguia acompanhar, resultando em loteamentos irregulares, ocupações espontâneas e uso do solo desconectado das diretrizes planejadas. Assim, mesmo com um arcabouço legal em vigor, o efeito regulatório sobre o território era restrito.

A degradação observada no mapa do período 1996–2000 reflete esses processos combinados. Embora as APPs analisada ainda não fossem diretamente ocupadas de maneira intensa, a paisagem ao seu redor passou por transformações significativas. O aumento de áreas não vegetadas está relacionado à ampliação do tecido urbano e ao surgimento ou fortalecimento de bairros periféricos, que exigiram abertura de vias, limpeza de terrenos, supressão de vegetação secundária e ocupações incipientes. Esses fenômenos de pressão indireta são característicos de regiões em processo de expansão acelerada, como descrito pela SEMPOG em relação à mancha urbana do período.

Assim, o intervalo entre 1996 e 2000 representa um ponto de inflexão relevante na dinâmica de degradação ambiental. A combinação entre crescimento populacional contínuo, expansão urbana desordenada, limitações do Plano Diretor de 1990 e forte migração para a capital intensificou a conversão de áreas vegetadas em superfícies antropizadas. Esses fatores explicam a expressiva elevação da área não vegetada observada na série temporal e ajudam a compreender a tendência de transformação territorial que se acentuaria nos anos seguintes.

5.3.4 Período de 2000 a 2005

Figura 15 - Análises de 2000 a 2005



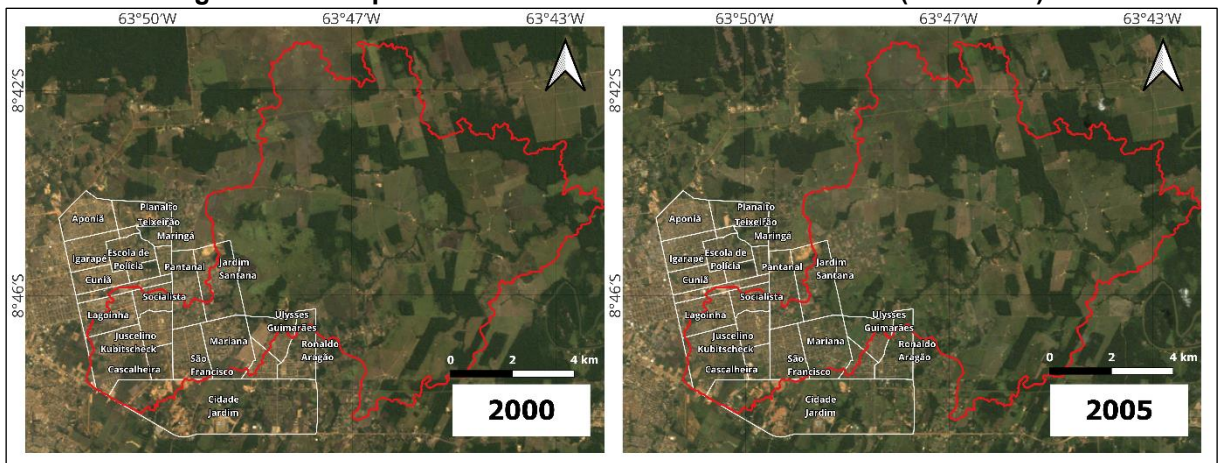
Fonte: Autoria Própria, 2025.

A análise da dinâmica de vegetação entre 2000 e 2005 mostra uma reversão importante em relação ao comportamento registrado no quinquênio anterior. Em 2000, a área vegetada dentro das APPs analisadas era de 1,04 km², representando apenas 44,48% da área total. Esse valor corresponde ao menor percentual observado em toda a série temporal e indica um cenário de forte pressão antrópica no entorno imediato da bacia. Em contraste, em 2005 a área vegetada aumentou para 1,40 km², o que corresponde a 60,11% do total, resultando em um incremento de 15,63% na cobertura vegetal (Figura 15). Essa recuperação parcial sugere mudanças tanto no padrão de ocupação quanto no ritmo de expansão urbana às margens da APP.

O crescimento populacional no período também auxilia na interpretação deste comportamento. A população estimada pelo IBGE passou de 314.525 habitantes em

2000 para 373.917 habitantes em 2005, um aumento de aproximadamente 18,8%. Trata-se de um crescimento significativo, motivado em parte pela continuidade de fluxos migratórios internos e pela consolidação de Porto Velho como polo regional de serviços. Entretanto, diferentemente do período anterior, o aumento populacional não foi acompanhado por uma expansão urbana tão dispersa e acelerada nas áreas próximas da APP estudada. Parte da pressão por novas ocupações se concentrou em bairros já estabelecidos, resultando em adensamento urbano e não em novas frentes de ocupação próximas ao limite da bacia analisada, como demonstra a Figura 16.

Figura 16 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2000-2005)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Outro fator relevante é o contexto institucional iniciado após a criação do Estado de Rondônia. O Plano Diretor de 1990, ainda vigente no início dos anos 2000, continuava apresentando lacunas quanto à proteção de áreas ambientalmente sensíveis, mas houve avanços graduais no aparato legal municipal. A ampliação do zoneamento urbano e o início de discussões referentes à regulamentação de uso do solo influenciaram a organização do crescimento da cidade. Ainda que tais instrumentos não tenham atuado diretamente na recuperação da vegetação, contribuíram para reduzir a expansão irregular na direção da APP, sobretudo quando comparado ao que se observou entre 1996 e 2000.

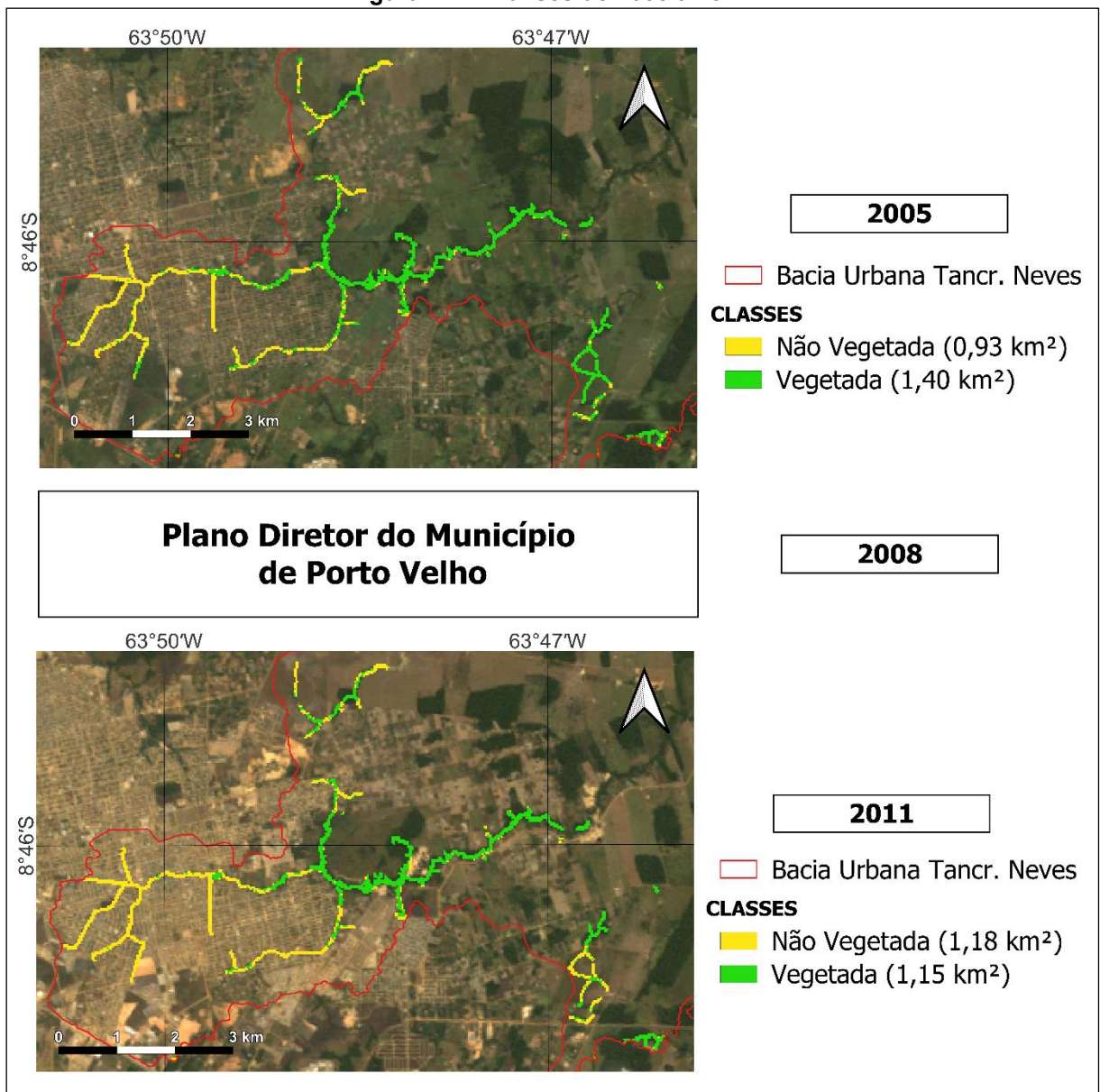
Portanto, o aumento da área vegetada entre 2000 e 2005 pode estar relacionado a uma combinação de fatores. O primeiro é a desaceleração das remoções diretas de vegetação na área de estudo, já que a pressão urbana migrou para outros setores da cidade. O segundo é a própria capacidade de regeneração natural da vegetação secundária, comum na Amazônia, quando as áreas deixam de ser diretamente perturbadas. Por fim, a reorganização da expansão urbana no

período, mesmo sem possuir um sistema robusto de proteção ambiental, parece ter reduzido parte da pressão imediata sobre a APP.

Este cenário marca um momento de transição na dinâmica da degradação. Apesar do crescimento populacional expressivo, a recomposição da vegetação sugere que a relação entre expansão da cidade e pressão sobre as APPs não ocorre de forma linear, dependendo tanto da localização das frentes de ocupação quanto da capacidade de recuperação natural das áreas previamente degradadas.

5.3.5 Período de 2005 a 2011

Figura 17 - Análises de 2005 a 2011



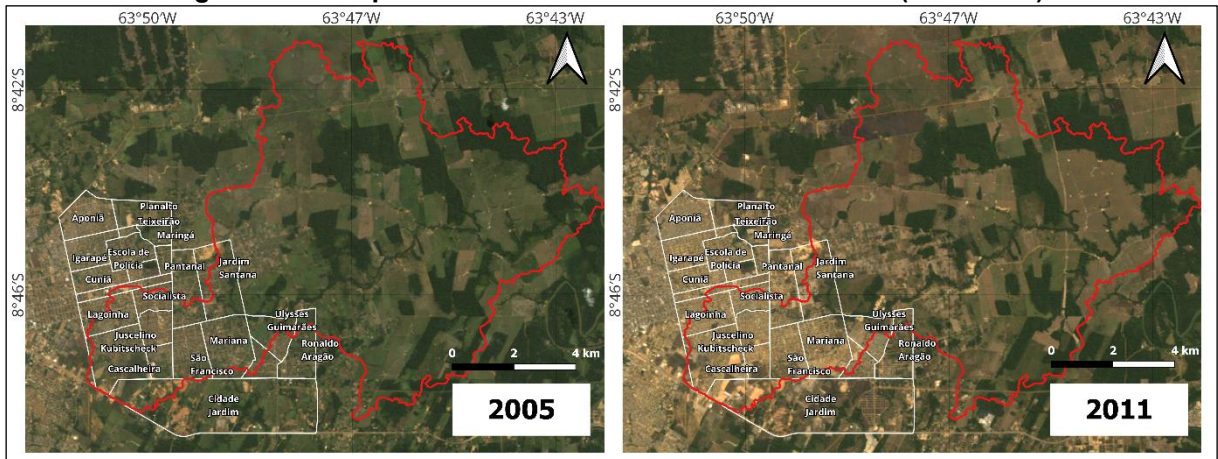
Fonte: Autoria Própria, 2025.

A dinâmica registrada entre 2005 e 2011 revela novamente um cenário de perda de vegetação dentro das APPs analisadas. Em 2005, a área vegetada correspondia a 1,40 km², equivalente a 60,11% da área total. Já em 2011, esse valor foi reduzido para 1,15 km², o que representa apenas 49,46% da área analisada. Isso corresponde a um decréscimo de 10,65% na cobertura vegetal, caracterizando um período marcado por retomada da conversão de superfícies vegetadas em áreas antropizadas. Esse comportamento reforça que os avanços observados no quinquênio anterior não se mantiveram, retomando a pressão urbana sobre o entorno da APP.

O crescimento populacional entre 2005 e 2011 intensifica essa interpretação. A população passou de 373.917 habitantes em 2005 para 435.732 habitantes em 2011, o que representa um aumento de aproximadamente 16,5%. Esse incremento populacional está relacionado tanto ao crescimento natural quanto à migração contínua em direção ao município, que neste período se consolidou ainda mais como polo regional em função da ampliação de serviços, investimentos públicos e expansão do mercado de trabalho com a construção das grandes usinas de Jirau e Santo Antônio.

O estudo da SEMPOG (2022) indica que, na segunda metade da década de 2000, Porto Velho passou por um novo ciclo de adensamento e expansão urbana, impulsionado também por políticas federais voltadas ao desenvolvimento infraestrutural na região Norte. Esse processo resultou na abertura de novas áreas para moradia, ocupação de vazios urbanos e expansão de bairros periféricos, muitos deles situados em zonas até então menos densificadas (Figura 18). Ainda que as APPs estudadas não tenham sido diretamente ocupadas, a expansão do tecido urbano ao seu redor produziu efeitos indiretos, como a ampliação de vias locais, movimento de solo, retirada de vegetação secundária e uso informal do terreno nas bordas da bacia.

Figura 18 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2005-2011)



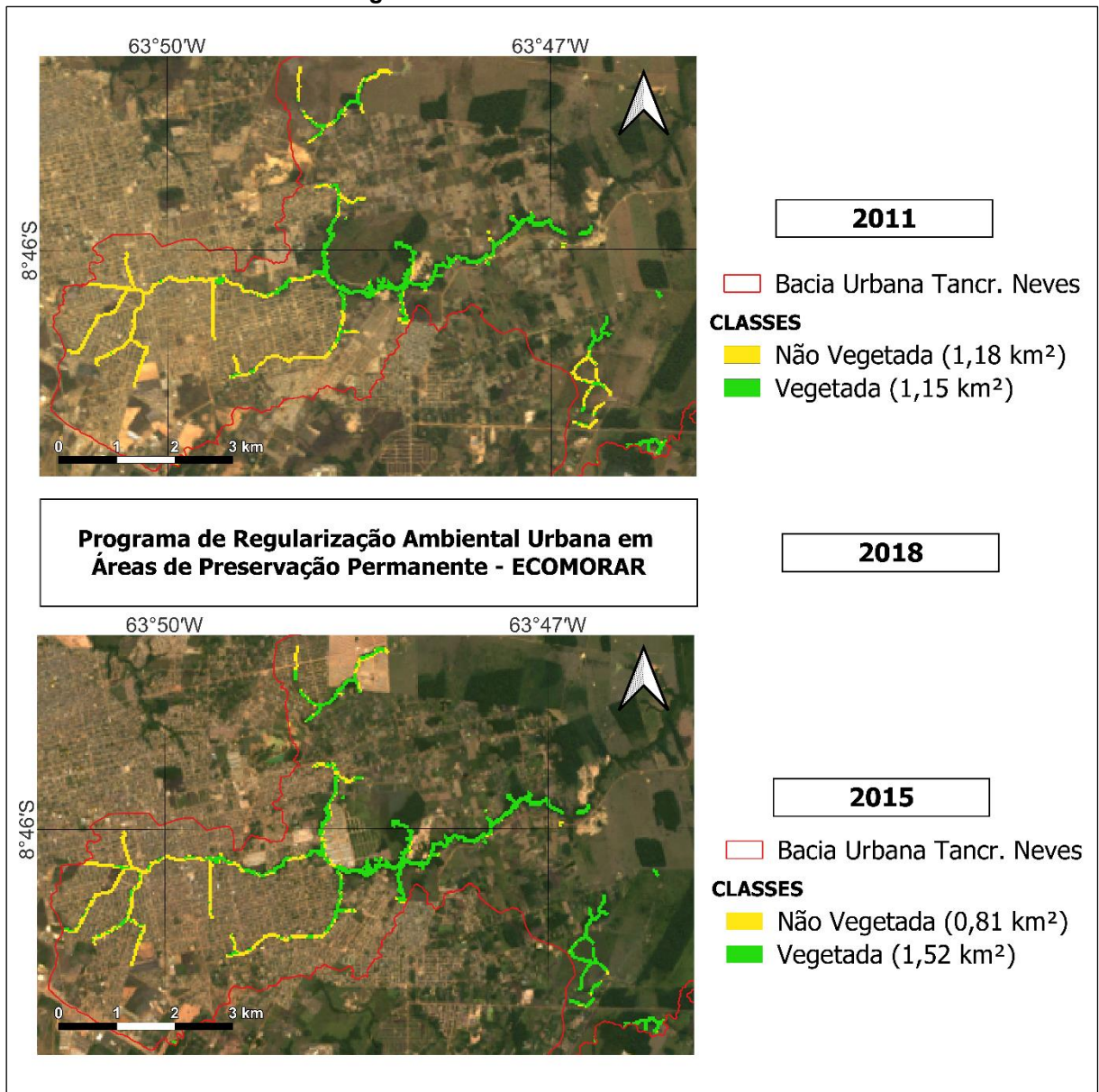
Fonte: Autoria Própria, 2025.

Outro aspecto relevante deste período é a transição institucional em curso no município. Embora o Plano Diretor de 2008 tenha sido formulado com o objetivo de atualizar o zoneamento e organizar o crescimento urbano, seu período de implementação inicial foi marcado por limitações operacionais e dificuldades de fiscalização. Muitos dos instrumentos previstos não estavam plenamente regulamentados, o que contribuiu para a persistência de ocupações irregulares e para a degradação ambiental em áreas sensíveis. Assim, o arcabouço legal existente não conseguiu conter de forma efetiva a pressão urbana emergente.

A combinação entre crescimento populacional expressivo, expansão da malha urbana e fragilidade dos instrumentos de controle territorial explica a queda da vegetação observada nas APPs entre 2005 e 2011. O padrão identificado para o período indica intensificação da degradação ambiental, mesmo que essa degradação não ocorra dentro da APP de maneira direta, mas sim como reflexo das dinâmicas de uso e ocupação do solo no entorno da bacia.

5.3.6 Período de 2011 a 2015

Figura 19 - Análises de 2011 a 2015



Fonte: Autoria Própria, 2025.

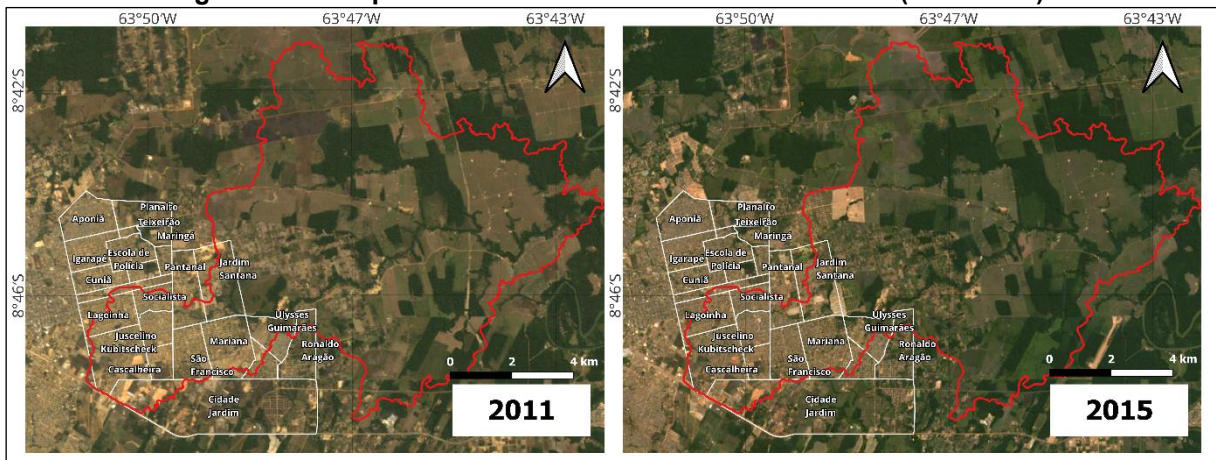
A análise referente ao intervalo entre 2011 e 2015 mostra uma recuperação significativa da vegetação dentro das APPs estudadas. Em 2011, a área vegetada correspondia a 1,15 km², representando 49,46% da área total. Já em 2015 esse valor aumentou para 1,52 km², o que equivale a 65,37%, configurando um acréscimo de 15,91% na cobertura vegetal. Esse ganho expressivo indica um período de tendência inversa ao observado no quinquênio anterior, sugerindo diminuição da pressão antrópica direta ou processos de regeneração natural mais eficientes no interior da APP.

A evolução populacional do município também auxilia a contextualizar essa dinâmica. A população passou de 435.732 habitantes em 2011 para 502.748 habitantes em 2015, um aumento aproximado de 15,4 %. O crescimento é considerável e está associado à consolidação de Porto Velho como centro administrativo e econômico regional, além da continuidade de fluxos migratórios internos. No entanto, ao contrário do período anterior, o aumento populacional não refletiu diretamente em incremento da degradação nas APPs analisadas.

As informações presentes no estudo da SEMPOG (2022) ajudam a explicar esse comportamento. O início da década de 2010 foi marcado por uma reorganização da malha urbana em áreas já ocupadas anteriormente. Muitos bairros que surgiram ou se expandiram nos anos 2000 passaram por processo de adensamento, reduzindo a necessidade imediata de abertura de novos loteamentos em regiões periféricas mais próximas das APPs estudadas. Além disso, parte das políticas urbanísticas derivadas do Plano Diretor de 2008 já se encontrava em fase mais consolidada, com maior clareza regulatória e algum avanço na capacidade de ordenamento territorial do município.

Outro ponto relevante é que os principais vetores de expansão urbana desse período se concentraram em zonas mais distantes, o que reduziu a pressão indireta sobre a área (Figura 20).

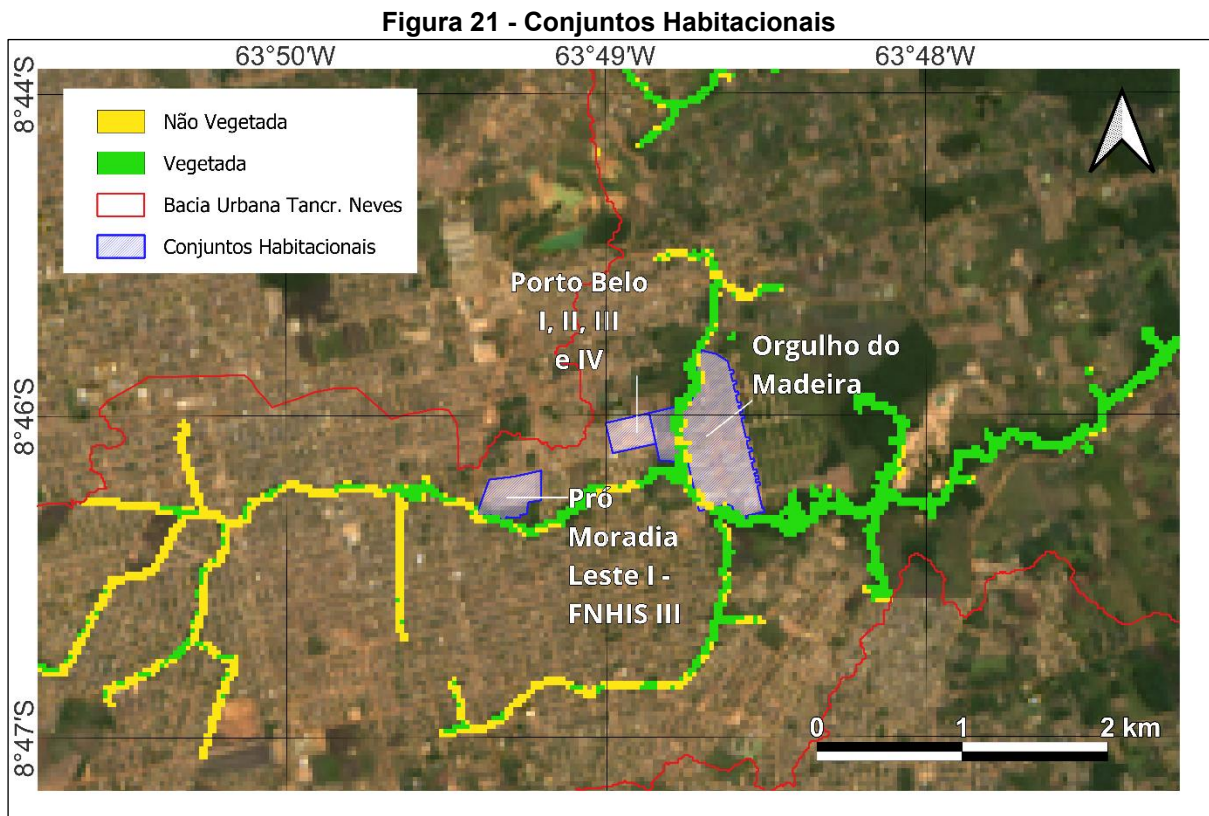
Figura 20 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2011-2015)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Na bacia estudada, surgiram conjuntos habitacionais sociais neste período, no entanto sem danos à vegetação local. Pelo contrário, foi possível constatar que a criação planejada de moradias favoreceu a conservação das APPs e permitiu maior

permanência da vegetação, contribuindo para o incremento observado nos valores de NDVI reclassificado (Figura 21).

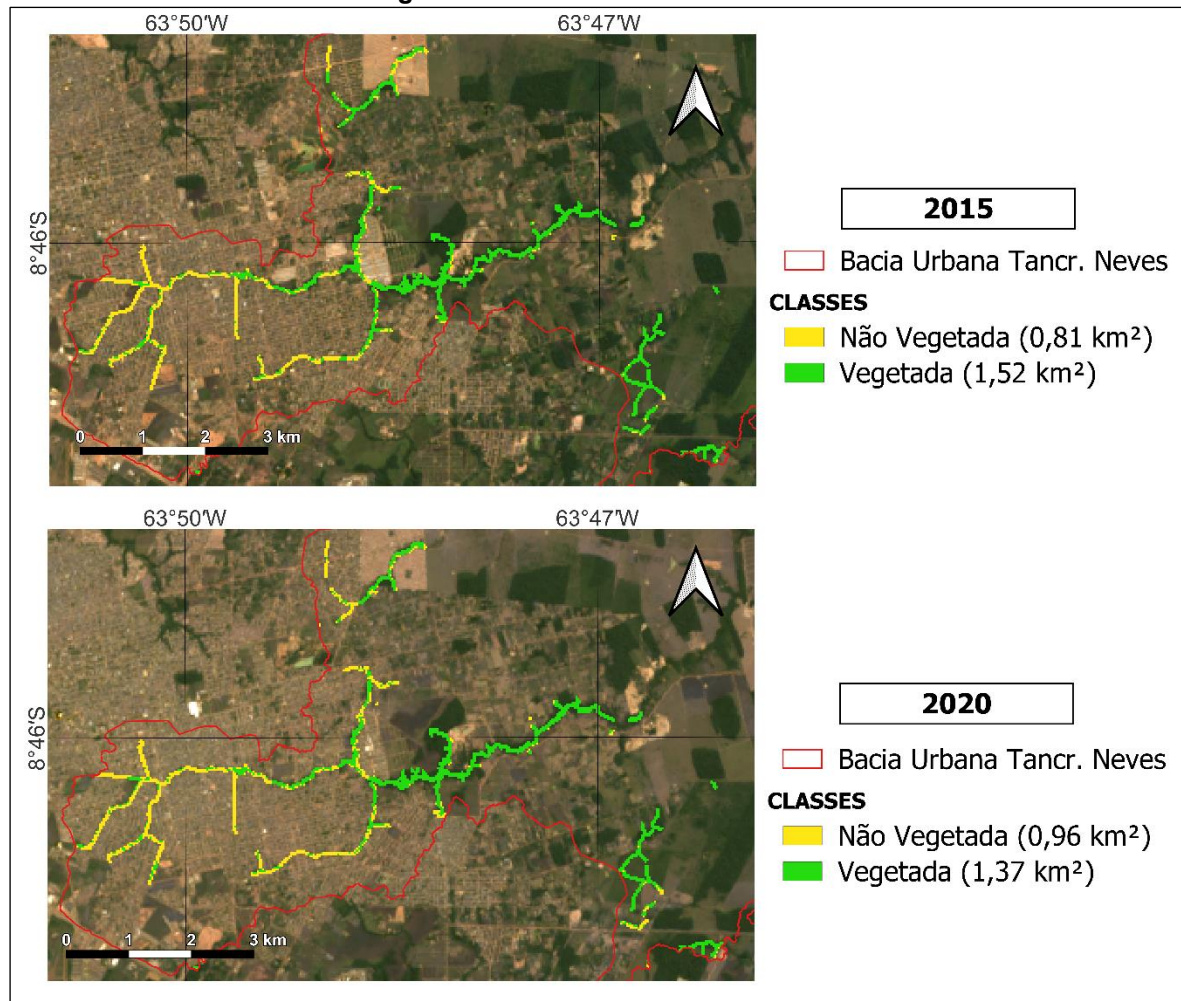


Fonte: Autoria Própria, 2025.

Assim, o período entre 2011 e 2015 pode ser caracterizado como uma fase de recuperação da cobertura vegetal dentro das APPs analisadas. Essa recuperação parece estar associada à combinação entre reorganização interna do tecido urbano, menor expansão horizontal no entorno imediato da bacia e maior efetividade de instrumentos legais que começaram a produzir efeitos práticos. Os resultados indicam um intervalo de relativa proteção ambiental, ainda que condicionado a fatores externos e não necessariamente resultante de ações diretas de preservação.

5.3.7 Período de 2015 a 2020

Figura 22 - Análises de 2015 a 2020



Fonte: Aatoria Própria, 2025.

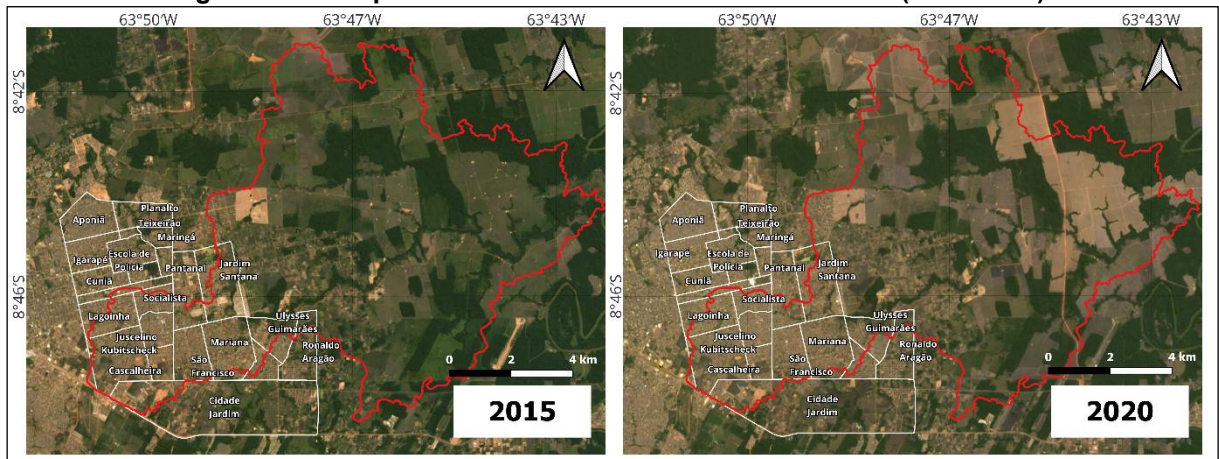
A análise do intervalo entre 2015 e 2020 mostra uma redução da cobertura vegetal dentro das APPs estudadas quando comparada ao quinquênio anterior. Em 2015 a área vegetada correspondia a 1,52 km², o equivalente a 65,37% do total. Já em 2020 este valor diminuiu para 1,37 km², representando 58,72% da área analisada. Essa diferença corresponde a um decréscimo de 6,65% na cobertura vegetal, indicando uma retomada de processos de degradação na região.

A população do município aumentou de 502.748 habitantes em 2015 para 539.354 habitantes em 2020, um crescimento de cerca de 7,3 %. Esse incremento populacional está associado tanto à expansão natural quanto à continuidade dos fluxos migratórios internos, especialmente motivados pela busca por emprego, serviços e oportunidades na capital. Embora menor que os aumentos observados nos

períodos anteriores, esse crescimento continuou pressionando o território urbano como um todo.

De acordo com o estudo da SEMPOG, a segunda metade da década de 2010 foi marcada por um novo rearranjo na dinâmica de expansão urbana de Porto Velho. O município voltou a registrar a criação e ampliação de loteamentos em áreas periféricas, impulsionados pela valorização de zonas antes pouco ocupadas e pelo avanço de empreendimentos habitacionais formais e informais. Esse processo favoreceu a expansão horizontal da cidade, aumentando o raio de ocupação e aproximando gradualmente o perímetro urbano de regiões antes mais isoladas, incluindo a bacia analisada (Figura 23).

Figura 23 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2015-2020)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Outro aspecto relevante para compreender a redução da vegetação nas APPs foi a intensificação de intervenções indiretas no entorno dessas áreas. A abertura de novas vias, ampliação de loteamentos já existentes e modificações na estrutura fundiária aumentaram a pressão antrópica periférica, favorecendo a remoção de vegetação secundária, limpeza de terrenos e maior circulação de pessoas e veículos. Embora a APP permaneça oficialmente protegida, o efeito de borda provocado pela expansão urbana contribui para a diminuição gradual de sua integridade ambiental.

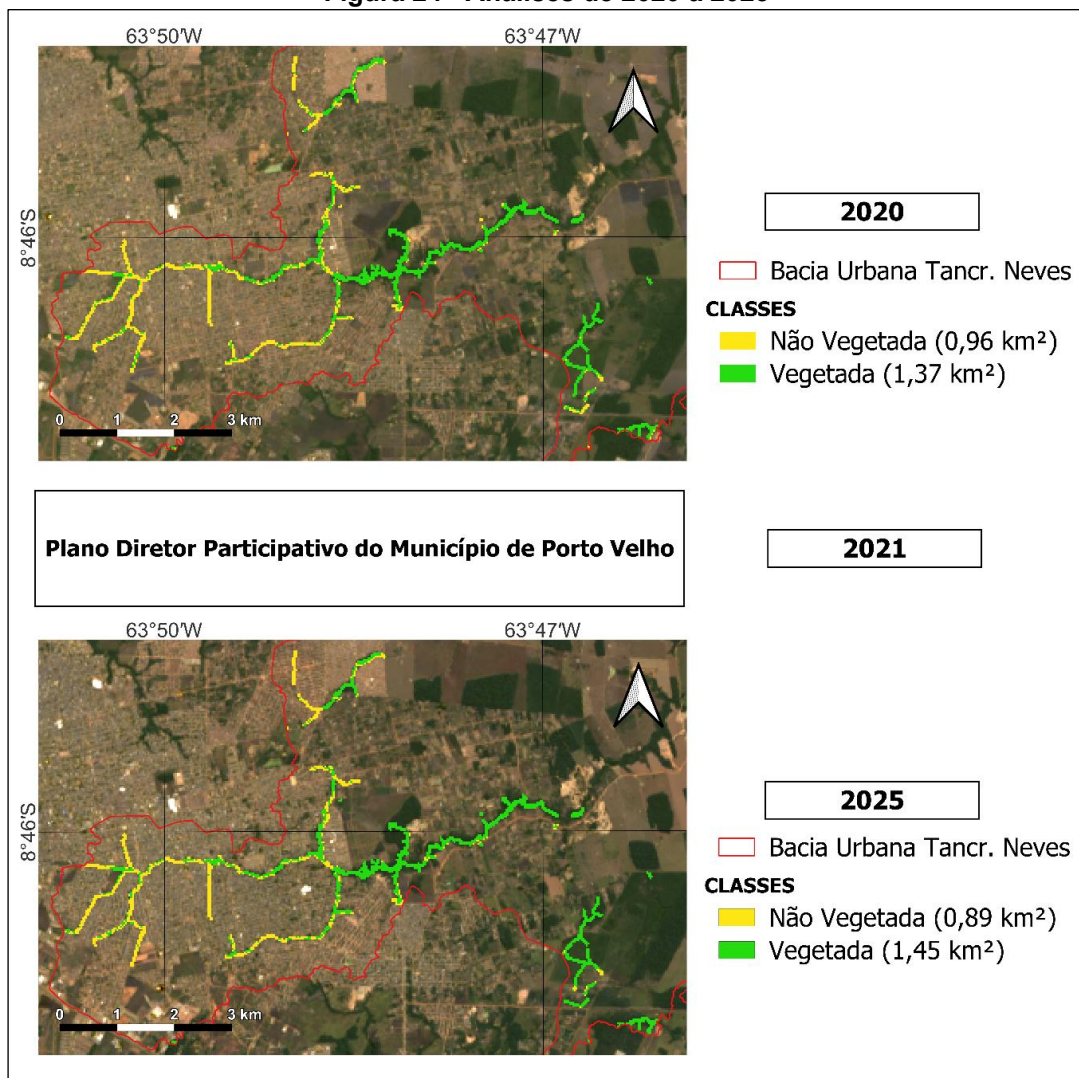
Também é importante destacar que, nesse período, políticas urbanas e ambientais do município enfrentaram limitações em sua capacidade de fiscalização e implementação. A presença de ocupações irregulares em zonas de expansão e a dificuldade de controle sobre o avanço de empreendimentos reduziram a efetividade

dos mecanismos legais de proteção. Esse cenário se refletiu na tendência de redução da cobertura vegetal observada no NDVI reclassificado para o ano de 2020.

Desse modo, o período de 2015 a 2020 representa um momento de retomada da degradação nas APPs analisadas, ainda que em intensidade menor que aquela observada entre 1996 e 2000. A combinação entre aumento populacional, retomada da expansão horizontal da malha urbana, surgimento e adensamento de novos parcelamentos e fragilidades na gestão territorial contribuiu para a diminuição da vegetação registrada nesse intervalo. Esses fatores reforçam o papel da dinâmica urbana como principal indutor da degradação, ainda que de forma indireta sobre as APPs avaliadas.

5.3.8 Período de 2020 a 2025

Figura 24 - Análises de 2020 a 2025



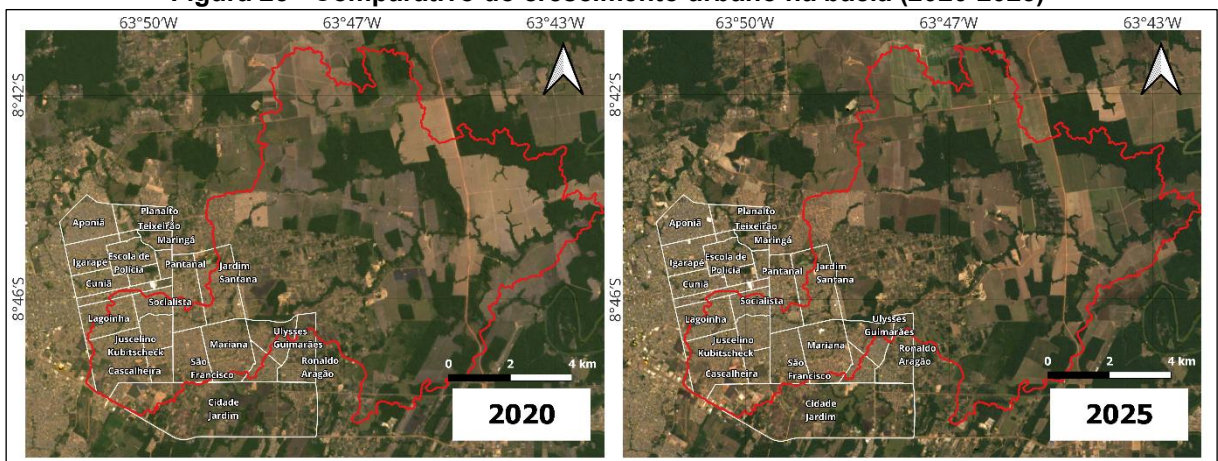
Fonte: Autoria Própria, 2025.

A análise do período entre 2020 e 2025 mostra uma leve recuperação da cobertura vegetal na área estudada em comparação ao ano de 2020. A área vegetada, que em 2020 correspondia a aproximadamente 1,37 km² (58,72% da área), aumentou para cerca de 1,42 km² em 2025, o equivalente a 60,78 %. Embora esse acréscimo não represente uma reversão completa da tendência de redução observada desde 2000, ele indica um cenário de maior estabilidade no intervalo mais recente.

O crescimento populacional também se manteve presente e exerceu influência direta sobre o uso do solo. A população municipal passou de 539.354 habitantes em 2020 para aproximadamente 569.000 habitantes em 2025, representando uma elevação de cerca de 5,5 %. Ainda que inferior aos ritmos de expansão demográfica verificados entre 2000 e 2010, esse aumento continua a gerar demanda por infraestrutura, serviços públicos, moradia e mobilidade, fatores que desencadeiam pressões diretas e indiretas sobre áreas periféricas e ambientes de preservação.

Outro ponto relevante é o comportamento da expansão urbana no período. A partir de 2021 houve uma redução significativa no ritmo de crescimento horizontal do município, com maior incentivo ao adensamento em setores já urbanizados e atenção crescente a processos de regularização fundiária. Esses movimentos reduziram a abertura de novos loteamentos distantes do centro, o que favoreceu uma diminuição das pressões imediatas sobre as APPs. As áreas, portanto, permaneceram relativamente preservadas, embora ainda sujeitas a pressões indiretas decorrentes da intensificação de ocupações consolidadas próximas ao seu limite (Figura 25).

Figura 25 - Comparativo do crescimento urbano na bacia (2020-2025)



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Nesse intervalo também ocorreu o fortalecimento das ações de fiscalização ambiental municipal e estadual. Mesmo que ainda insuficientes para eliminar práticas como supressão pontual de vegetação ou limpeza irregular de terrenos, essas medidas contribuíram para conter a degradação contínua e auxiliaram a manutenção de trechos vegetados. Esse cenário de maior controle institucional ajuda a explicar o aumento de 1,37 km² para 1,42 km² de vegetação, indicando que parte das pressões antrópicas foi mitigada.

De maneira geral, o período de 2020 a 2025 representa uma fase de moderação na dinâmica de degradação observada anteriormente. As APPs analisadas apresentaram leve recuperação, influenciada por menor expansão desordenada, crescimento populacional mais lento, avanços na regulação urbana e ampliação da fiscalização. Ainda assim, a vegetação não retornou aos valores mais elevados de 2015, o que evidencia que o território continua vulnerável às transformações urbanas e às atividades humanas.

6 CONCLUSÃO

A análise da evolução da degradação nas Áreas de Preservação Permanente ao longo dos últimos quarenta anos mostra que a conservação ambiental em Porto Velho esteve sempre ligada ao crescimento do município e às políticas públicas adotadas em cada período de seu desenvolvimento. A combinação entre dados de área vegetada, variação populacional e conteúdo das leis e planos diretores analisados permitiu identificar momentos de maior pressão antrópica e períodos em que a degradação foi parcialmente controlada.

Os instrumentos de planejamento analisados exerceram influência sobre o território de formas distintas. O Plano de Ação Imediata de 1972, apesar de ser o primeiro esforço formal de organização urbana, teve alcance limitado, trazendo pouca influência para a proteção das APPs. Isso explica por que as décadas seguintes continuaram marcadas por ocupações espontâneas e abertura de novos eixos urbanos, fenômenos que já apareciam nos primeiros anos da série histórica (1985-1990). O Plano Diretor de 1990 avançou na tentativa de ordenar o crescimento, mas não impediu que, nos anos de expansão mais intensa, especialmente entre 1996 e 2000, a conversão de áreas vegetadas aumentasse proporcionalmente. Nesse intervalo, a cidade cresceu mais rápido, dificultando o controle do uso do solo.

A partir dos anos 2000, observa-se maior aproximação entre o discurso legal e a prática territorial. Apesar de não haver ausência de degradação, houve momentos de recuperação ou estabilização, como nos períodos 2005-2011 e 2011-2015. A estruturação da gestão municipal, o fortalecimento das políticas ambientais e a ampliação de mecanismos de monitoramento contribuíram para essa mudança. No período recente, entre 2020 e 2025, a leve recuperação da vegetação coincide com ações de controle urbano mais consolidadas e com a redução do ritmo de expansão horizontal da cidade. Isso reflete parcialmente os esforços da administração pública para realocar moradores em locais de risco para conjuntos habitacionais mais seguros e adequados para moradia.

Apesar desses avanços, a análise mostra que a legislação, sozinha, não garante a preservação das APPs. A efetividade das normas depende de continuidade administrativa, fiscalização ativa, integração entre setores e capacidade de resposta diante das pressões causadas pelo crescimento populacional e por ciclos de expansão econômica. Assim, as leis exerceram influência positiva em alguns

momentos, mas nem sempre suficiente para conter por completo a ampliação das áreas não vegetadas.

Este estudo apresenta limitações que precisam ser consideradas na ponderação dos resultados obtidos. A resolução das imagens utilizadas restringe a identificação de feições ambientais menores, o que pode suavizar variações internas nas APPs, quando solo e vegetação se confundem com superfície d'água. A ausência de documentos originais, como a versão oficial do PAI, também limitou a análise histórica dos instrumentos de planejamento. Além disso, variáveis socioeconômicas mais amplas, como incentivos federais, políticas de habitação, fluxos migratórios e ciclos de mercado, não puderam ser tratadas com a mesma profundidade, embora desempenhem papel importante na expansão urbana.

Para pesquisas futuras, recomenda-se o uso de imagens de maior resolução espacial e métodos de classificação mais precisos, possibilitando detalhar melhor a dinâmica da vegetação e identificar áreas de pressão direta e indireta sobre as APPs. Outra possibilidade é investigar a efetividade real da fiscalização ambiental, articulando dados de autuações, licenciamento e regularização fundiária. Estudos que relacionem vulnerabilidade social, infraestrutura urbana e degradação ambiental também podem contribuir para compreender de forma mais ampla os fatores que moldam a ocupação do território.

De modo geral, os resultados reforçam que a conservação das APPs é um processo contínuo, dependente da articulação entre legislação, capacidade institucional, planejamento e monitoramento. Somente com esse conjunto de ações integradas é possível garantir que esses espaços cumpram sua função ambiental diante das transformações urbanas futuras.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> Acesso em: 10 jul. 2025.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965.** Institui o Código Florestal. Brasília, DF, 1965. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm. Acesso em: 27 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e altera o art. 21 da Constituição Federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 27 jun. 2025.

DA LUZ, Leonardo B. et al. **Utilização do NDVI E NDBI para avaliação da expansão urbana no município do Rio das Ostras-RJ, utilizando a plataforma Google Earth Engine.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIX, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 3493-3495, 2019.

ESRI FRANCE. **Raster.** Paris: ESRI France, [s.d.]. Disponível em: <https://www.esrifrance.fr/fr-fr/produits/en-savoir-plus/raster>. Acesso em: 08 dez. 2025.

FARINA, Flávia C. **Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana.** Cadernos EBAPE. br, v. 4, p. 01-13, 2006.

FEARNSIDE, Philip M. **Ocupação humana de Rondônia: impactos, limites e planejamento.** Relatórios de Pesquisa, n. 5. Brasília, DF: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), 1989. 76 p.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto.** São Paulo: [s.n.], 2005.

FLORA DO BRASIL 2020. **Flora e Funga do Brasil.** Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 18 nov. 2025.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto.** Oficina de textos, 2007.

G1. **Casas construídas perto de área de preservação são demolidas em Porto Velho.** G1, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/casas-construidas-perto-de-area-de-preservacao-sao-demolidas-em-porto-velho.ghtml>. Acesso em: 15 dez. 2025.

GIOVANINI, A. **Índices de Vegetação?** - Adenilson Giovanini. Disponível em: <<https://adenilsongiovanini.com.br/blog/indices-de-vegetacao-o-que-sao-e-como-utilizar/>>. Acesso em: 08 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação.** Rio de Janeiro: IBGE, [2025]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 18 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Introdução ao sensoriamento remoto: tutorial SPRING.** São José dos Campos: INPE, [s.d.]. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html. Acesso em: 2 nov. 2025.

NASA. **Landsat Science - Satellites.** Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>. Acesso em: 10 set. 2025.

OLIVEIRA, C. A. W.; NUNES, D. D.; DE AGUIAR, T. C. **Análise socio-econômica-ambiental da app urbana do igarapé do belmont na cidade de Porto Velho/RO.** Cuadernos de Educación y Desarrollo, v. 17, n. 4, p. e7954-e7954, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n4-027>. Acesso em: 18 jun. 2025.

OZYAVUZ, M.; BILGILI, B. C.; SALICI, AYLÍN. **Determination of vegetation changes with NDVI method.** Journal of environmental protection and ecology, v. 16, n. 1, p. 264-273, 2015.

PORTO VELHO. **Lei Nº 933 de 19 de dezembro de 1990.** Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Porto Velho. Porto Velho, RO: Prefeitura Municipal de Porto Velho, 1990. Disponível em: https://sapl.portovelho.ro.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/1990/2287/lei_933_19-12-1990.pdf. Acesso em: 12 de jul 2025.

PORTO VELHO. **Lei Complementar nº 751, de 19 de dezembro de 2018.** Cria o Programa de Regularização Ambiental Urbana em Áreas de Preservação Permanente – ECOMORAR, e dá outras providências. Porto Velho, RO: Prefeitura Municipal de Porto Velho, 2018. Disponível em: <https://sapl.portovelho.ro.leg.br/ta/566/text/vigencia/0,2018-12-19,2020-10-12:yqbHFzy4RTD3iSCGuGtXQVrLDrw/>. Acesso em: 24 jun 2025.

PORTO VELHO. **Lei Complementar nº 838, de 04 de fevereiro de 2021.** Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Porto Velho. Porto Velho, RO: Prefeitura Municipal de Porto Velho, 2021. Disponível em: <https://sapl.portovelho.ro.leg.br/ta/1490/text?>. Acesso em: 24 jun 2025.

PORTO VELHO. **Plano Municipal de Saneamento Básico: versão final.** Porto Velho: Prefeitura Municipal, 2024. Disponível em: <https://www.portovelho.ro.gov.br/uploads/arquivos/2024/01/38724/1705408168anexo-unico.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO VELHO. **Evolução da mancha urbana: Porto Velho 1976-2019**. Porto Velho, RO: Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEMPOG), 2022. 75 p. Disponível em:

<https://sempog.portovelho.ro.gov.br/uploads/editor/files/Evolu%C3%A7%C3%A3o%20da%20Mancha%20Urbana%20-Porto%20Velho%201976-2019.pdf>.

Acesso em: 13 jun. 2025.

RIBEIRO, Cecília Hanako Gonçalves Martins. **Avaliação da expansão da malha urbana de Três Lagoas utilizando NDBI e NDVI com dados Landsat no Google Earth Engine**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/10755>. Acesso em: 24 nov. 2025.

STANGANINI, Fábio Noel; LOLLO, José Augusto de. **O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, p. 118-128, 2018.

TUCCI, Carlos EM. **Águas urbanas**. Estudos avançados, v. 22, p. 97-112, 2008.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Recursos hídricos no século XXI**. Oficina de textos, 2011.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CIMINELLI, V. S.; BARBOSA, F. A. **Water Availability, Water Quality, Water Governance: the Way Ahead**.

Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, v. 366, p. 75-79, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/piahs-366-75-2015>. Acesso em: 15 jun. 2025.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **What are the band designations for the Landsat satellites?** Reston: USGS, [s.d.]. Disponível em: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>. Acesso em: 18 nov. 2025.

VAL, Adalberto L. et al. **Amazônia: recursos hídricos e sustentabilidade**. Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, p. 95-109, 2010.

XU, Yang et al. **Bibliometric analysis of global NDVI research trends from 1985 to 2021**. Remote Sensing, v. 14, n. 16, p. 3967, 2022.

APÊNDICE

APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO GOOGLE EARTH ENGINE PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS – LANDSAT 5 TM

```

// -----
// 1. Área de Estudo
// -----
// Geometria desenhada no GEE (importada automaticamente como "RECORTE_REGIONAL_PVH")
var areaEstudo = RECORTE_REGIONAL_PVH;

// -----
// 2. Coleta da Coleção Landsat
// -----
var l5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1_L2')
    .filterBounds(areaEstudo) // recorte espacial pela geometria
    .filterDate('1985-01-01', '1985-12-31') // recorte temporal
    .filter(ee.Filter.calendarRange(3, 4, 'month')) // mantém apenas imagens de junho a setembro
    .sort('CLOUD_COVER'); // ordena pela menor cobertura de nuvem

// Seleciona a primeira imagem válida
var image = ee.Image(l5.first());

// -----
// 3. Seleção das Bandas e Cálculo do NDVI
// -----
// Landsat 5 TM: Red = SR_B3 | NIR = SR_B4
var red = image.select('SR_B3');
var nir = image.select('SR_B4');

// Fórmula NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)
var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('NDVI');

// -----
// 4. Visualização no Mapa
// -----
var ndviParams = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: ['red', 'white', 'green'] // vermelho = solo exposto; verde = vegetação
};
Map.centerObject(areaEstudo, 13);
Map.addLayer(ndvi.clip(areaEstudo), ndviParams, 'NDVI - RECORTE_REGIONAL_PVH');

// -----
// 5. Exportação para o Google Drive
// -----
Export.image.toDrive({
  image: ndvi.clip(areaEstudo), // recorte pela geometria desenhada
  description: 'NDVI_RECORTE_PVH_1985',
  folder: 'GEE_exports', // pasta no Google Drive
  fileNamePrefix: 'NDVI_RECORTE_PVH_1985',
  region: areaEstudo, // área definida pelo desenho
  scale: 30, // resolução Landsat (30 m)
  crs: 'EPSG:31980', // UTM Zona 20S - Porto Velho
  maxPixels: 1e13
});

```

APÊNDICE B – CÓDIGO UTILIZADO NO GOOGLE EARTH ENGINE PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS – LANDSAT 8 OLI/TIRS

```
// -----
// 1. Área de Estudo
// -----
// Geometria desenhada no GEE (importada automaticamente como
"RECORTE_REGIONAL_PVH")
var areaEstudo = RECORTE_REGIONAL_PVH;

// -----
// 2. Coleta da Coleção Landsat
// -----
var l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')
  .filterBounds(areaEstudo) // recorte espacial pela geometria
  .filterDate('2025-01-01', '2025-12-31') // recorte temporal
  .filter(ee.Filter.calendarRange(6, 9, 'month')) // mantém apenas imagens de junho a setembro
  .sort('CLOUD_COVER'); // ordena pela menor cobertura de nuvem

// Seleciona a primeira imagem válida
var image = ee.Image(l8.first());

// -----
// 3. Seleção das Bandas e Cálculo do NDVI
// -----
// Landsat 8 TM: Red = SR_B4 | NIR = SR_B5
var red = image.select('SR_B4');
var nir = image.select('SR_B5');

// Fórmula NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)
var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('NDVI');

// -----
// 4. Visualização no Mapa
// -----
var ndviParams = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: ['red', 'white', 'green'] // vermelho = solo exposto; verde = vegetação
};
Map.centerObject(areaEstudo, 13);
Map.addLayer(ndvi.clip(areaEstudo), ndviParams, 'NDVI - RECORTE_REGIONAL_PVH');

// -----
// 5. Exportação para o Google Drive
// -----
Export.image.toDrive({
  image: ndvi.clip(areaEstudo), // recorte pela geometria desenhada
  description: 'NDVI_RECORTE_PVH_2025',
  folder: 'GEE_exports', // pasta no Google Drive
  fileNamePrefix: 'NDVI_RECORTE_PVH_2025',
  region: areaEstudo, // área definida pelo desenho
  scale: 30, // resolução Landsat (30 m)
  crs: 'EPSG:31980', // UTM Zona 20S - Porto Velho
  maxPixels: 1e13
});
```