

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Geografia

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA AVALIAÇÃO DA
EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS (RJ) COMO
SUBSÍDIO AO MONITORAMENTO DE DUTOS: TRECHO DA FAIXA DE DUTOS
RIO DE JANEIRO – BELO HORIZONTE**

Silvia Palotti Polizel

Prof(a).Dr(a). Paulina Setti Riedel

Co-orientadora: Profa. Dra. Mara Lúcia Marques

Rio Claro (SP)
2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

SILVIA PALOTTI POLIZEL

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA
AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE
DUQUE DE CAXIAS (RJ) COMO SUBSÍDIO AO
MONITORAMENTO DE DUTOS: TRECHO DA FAIXA DE
DUTOS RIO DE JANEIRO – BELO HORIZONTE

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Co-orientadora: Profa. Dra. Mara Lúcia Marques

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP

2011

621.3678 Polizel, Silvia Palotti
P769a Aplicação de técnicas de geoprocessamento para avaliação da expansão urbana no município de Duque de Caxias (RJ) como subsídio ao monitoramento de dutos: trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro - Belo Horizonte / Silvia Palotti Polizel. - Rio Claro : [s.n.], 2011
81 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel
Co-Orientador: Mara Lúcia Marques

1. Sensoriamento remoto. 2. Análise multitemporal de áreas urbanas. 3. Geotecnologia. 4. Imagens de satélite. 5. Transporte de petróleo. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

SILVIA PALOTTI POLIZEL

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA
AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE
DUQUE DE CAXIAS (RJ) COMO SUBSÍDIO AO
MONITORAMENTO DE DUTOS: TRECHO DA FAIXA DE
DUTOS RIO DE JANEIRO – BELO HORIZONTE

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel
em Geografia.

Comissão Examinadora

_____ (orientador)

Rio Claro, ____ de _____ de ____.

Silvia Palotti Polizel

Paulina Setti Riedel

Aos meus pais e irmã,

Inácio Polizel e

Fátima Ap. Palotti Polizel

Vanessa Palotti Polizel

E avós,

Maria Gamboa Palotti

Nair Rinaldini Polizel

Onofre Palotti

Paulo Polizel

Agradecimentos

Escrever os agradecimentos para uma pessoa indecisa como eu é uma dificuldade tão grande quanto concluir o TCC, pois sei, que de algum modo, acabarei não mencionando pessoas que de verdade deixaram suas impressões em minha vida, seja antes ou durante a faculdade. Por isto, desde já, gostaria de agradecer a todas as pessoas que de modo direto ou indireto, estiveram ao meu lado neste intenso caminho que é viver.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me iluminado nas decisões e caminhos da minha vida, bem como por ter me amparado nos momentos de maior dificuldade.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro proporcionado para o desenvolvimento do meu trabalho e por confiarem no meu potencial como pesquisadora.

Agradeço imensamente à minha querida orientadora Profa. Dra. Paulina Setti Riedel, que desde o primeiro dia de convívio acreditou em mim. Agradeço pelo seu apoio, incentivo, ensinamentos e motivação para o desenvolvimento deste e dos demais trabalhos. Ela é um ser humano admirável, extremamente competente, que possui um conhecimento profundo sobre sua área de atuação e, o mais importante, tem amor pelo que faz, amor este que torna a convivência de qualquer um ao seu lado prazerosa.

À minha co-orientadora Profa. Dra. Mara Lúcia Marques deixo meus sinceros agradecimentos, por todos os conselhos, paciência e dúvidas solucionadas durante o cotidiano no laboratório. Obrigada por ser tão prestativa e me ajudar, sempre!

Também quero deixar um obrigado muito especial para o Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto, por tudo que ele me ensinou. Por sua disposição e confiança em mim e no meu trabalho. Agradeço a ele por toda a ajuda, conversas, conselhos e cuidados concedidos durante nosso tempo de convivência diária. Junto a ele, gostaria de agradecer imensamente ao pessoal do Ceapla, em especial a Lucimari, por ter tido paciência de me ensinar o princípio do que hoje quero para a vida.

Gostaria de deixar meu muito obrigado à Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha, por todos os ensinamentos e conversas ao longo destes anos. Muito obrigada pelo apoio de sempre.

Agradeço também ao pessoal do laboratório, Mateus, Marcelo, Rodrigo, Cristina e Camila pelos adoráveis dias de convivência e aprendizado. Obrigada por suportarem minhas constantes tagarelices. Em especial, gostaria de agradecer à Darlene, pelo apoio, cuidados e ajuda incondicionais desde o primeiro dia de convívio. Obrigada por se importar comigo!

Também quero agradecer imensamente aos diversos projetos de extensão dos quais participei, por terem complementado minha formação acadêmica, bem como terem me proporcionado grandes amigos. Agradeço ao GACT pelas experiências trocadas sobre Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento e às pessoas que vivenciaram este momento comigo: obrigada Luiz Henrique, Camila, Tatiana, Thaís, Mateus, Rafael, Graziela e Eder. Agradeço aos amigos do Projeto de Coleta Seletiva, que fizeram com que eu me sentisse mais útil nas questões ambientais do campus, meu muito obrigado à Carol, Renata, Tati, Ju, Gustavo, Sabrina, Bruno e Rafaela. Não posso deixar de agradecer à A.A.A. Ayrton Senna e a todos que vivenciaram esta diferente experiência comigo. Obrigada por terem me mostrado outro lado da faculdade, em especial, deixo um abraço para o Pedro. Por último, como sendo um dos meus maiores orgulhos ao longo destes cinco anos, gostaria de agradecer à Geoplan Jr. por me permitir ver um futuro diferente na Geografia. Sou imensamente feliz pelas pessoas que conheci e pelos amigos que fiz nestes dois anos de convivência. Meu muito obrigado ao Thiago, Gabriel, Eduardo, Lucas, Clebson, Fernando, Bruno C., Bruna P., Bruna Piperno, Vanessa, Mariana, Vinícius, Ivan, Tobias, Maibi, Daniel, Anna e Pedro. Levarei o melhor de cada um de vocês para restante da minha vida.

Gostaria de deixar o meu mais profundo e sincero obrigado aos meus pais, Inácio e Fátima. Agradeço por terem sido meus alicerces e pilares para suportar cada momento de dificuldade da vida, bem como partilhar cada sorriso e alegria. Obrigada por cada palavra e conselho, por cada abraço e palavra acolhedora. Amo vocês, melhores pais do mundo.

Agradeço à minha querida irmã, Vanessa, por ter me ensinado a dividir as coisas nesta vida. Por dividir suas angústias e felicidades comigo e por ter o dom de me escutar. Te amo, Nessinha.

Aos meus avós, Maria e Onofre e Paulo e Nair, deixo os meus mais carinhosos agradecimentos. Mesmo vocês tendo partido tão cedo, os melhores anos da minha infância eu vivi ao lado de vocês.

Agradeço a toda minha família, tios e primos, por me ensinarem a importância da união e o amor ao próximo.

Meus mais felizes obrigados aos meus amores Nê, Gra, Bru, Bela e Bia, por serem as companhias certas de todos os momentos e por fazerem, em grande parte, Birigui ter sentido. Obrigada por me ensinarem o valor da amizade. Também agradeço à minha querida amiga Yara, por nunca se esquecer de mim e aguentar as minhas ausências e à querida Camila, pelo carinho e por sempre irradiar felicidade por onde passa. À Júlia também deixo um abraço especial.

À Tereza, meu muito obrigado, por ser tão querida e compartilhar do mesmo modo de ver a vida que eu. Obrigada pelo carinho sempre, Tê.

Gostaria de agradecer da forma mais alegre e nostálgica possível à querida República Tutóia, por ter me proporcionado os momentos mais felizes aqui em Rio Claro e por ter me mostrado o quanto é bom viver em república. Agradeço à Sabrina, Natália, Andreza, Tissiana e Milena pela amizade, alegrias, companheirismo e momentos de descontração. Vocês são muito importantes em minha vida, mesmo. Junto a esta lembrança tão querida quero agradecer aos veteranos queridos Gabriel, José e Letícia, por fazer do meu primeiro ano o mais especial.

Queria deixar o meu obrigado mais verdadeiro à Aline, minha amiga e companheira de experiências cotidianas nestes três anos. Obrigada É por ter aceitado meus erros consecutivos e por, mesmo assim, se manter minha amiga. Obrigada por cada risada, pelos momentos felizes e por ser a melhor pessoa para se morar.

Aos meus três grandes amigos, Thiago, Gabriel e Eduardo deixo o meu profundo obrigada por serem companheiros ao longo deste ano e minhas companhias nos finais de semana. Agradeço por me tratarem como igual e por partilharem a vida de vocês comigo. Sei que a nossa amizade para sempre irá permanecer. Deixo um abraço carinhoso ao Thiago, meu amigo durante estes cinco anos e que sempre esteve ao meu lado, nos momentos alegres e tristes. Obrigada meus amigos, adoro muito vocês.

Às minhas companhias constantes e amizades mais sinceras, Tatiana, Juliana e Filipe deixo o meu melhor obrigado. Não sei que o que teria sido destes últimos anos sem vocês. À Tati, desde primeiro momento, e à Jú e ao Fi por sempre. Vocês são minha certeza de amizade à distância. São os amigos que partilharam os meus melhores e piores momentos ao longo destes anos. Vocês, que sempre estiveram ao meu lado, me permitindo ser totalmente autêntica e sincera, meu muito obrigado. Obrigada de verdade por sempre me escutarem e por dividirem suas vidas comigo. Amo vocês! Obrigada à Tati por ser minha fiel companheira e amiga de todas as horas. Obrigada à Jú por todos os conselhos e madrugadas de conversas comigo. Ao Fi, agradeço pela confiança depositada em mim e por sempre me ouvir incessantemente e com muita paciência.

Por fim, mas sendo o que de melhor me aconteceu nestes últimos anos, agradeço ao Tiago, por me fazer vivenciar o mais puro e belo dos sentimentos. Agradeço-o pelo seu amor, companheirismo e lealdade. Vida, obrigada por ser meu par perfeito e por permitir que eu partilhe minha vida com você. Te amo, meu amor!

Muito obrigada a todos!

“Cada erro é uma oportunidade para aprender. Apenas não cometa o mesmo erro várias vezes - isso é estupidez. Mas cometa tantos novos erros quanto você for capaz - não tenha medo - porque esta é a única maneira pela qual a natureza lhe permite aprender”

Osho

RESUMO

Diferentes formas de pressão antrópica podem ocorrer nas faixas de dutos, em virtude das grandes extensões e diversas configurações de uso da terra, as quais os dutos podem atravessar. Devido à dinâmica destas pressões, faz-se necessário o acompanhamento temporal das mudanças de uso e cobertura da terra na superfície. De acordo com esta temática, configura-se como de extrema importância a utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto, pois estes possibilitam a identificação de objetos da superfície terrestre que possam comprometer o monitoramento e a segurança do duto, além de permitir a extração de informações sobre as condições de uso da terra em diferentes períodos de tempo. Com base no exposto, este trabalho tem por objetivo analisar, em uma abordagem temporal, o processo de expansão urbana no município de Duque de Caxias, situado na periferia da região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, bem como os padrões de ocupação característicos das áreas que ocorreram as mudanças no período de 1987 a 2010. Utilizou-se a técnica de análise visual para realização da detecção de mudanças e classificação das imagens, visando o monitoramento da pressão antrópica ao longo de um trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte, localizado no estado do Rio de Janeiro. As etapas de trabalho envolveram a caracterização da área de estudo, da expansão urbana e dos padrões de ocupação existentes, através do levantamento de dados bibliográficos. O processamento das imagens Landsat 5 e a aplicação da técnica de detecção de mudanças foram realizados em três cenas referentes aos anos de 1987, 1998 e 2010, enquanto que o processo de classificação foi realizado na imagem RapidEye de 2010. Pode-se notar um crescimento da mancha urbana de aproximadamente 22,38% e a mudança da cobertura da terra de natural para construída. Este crescimento concentra-se fora das proximidades da área de influência direta do duto, ocorrendo na área de influência indireta do empreendimento. Em relação aos padrões de ocupação das áreas de crescimento, observou-se que estes são predominantemente da classe Residencial e/ou Comercial, seguidos pela Residencial.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; expansão urbana; monitoramento de dutos;

ABSTRACT

Different forms of human pressure may occur in the pipeline ranges, due to the large extensions and various configurations of land use, which can pass through the pipelines. Due to the dynamics of these pressures, it is necessary to monitor temporal changes of land use and cover the surface. Under this theme, appears as extremely important to use products and techniques of remote sensing, as they allow the identification of objects of the land surface that may compromise the security and monitoring of the pipeline, and allows the extraction of information conditions on land use at different periods of time. Based on the above, this paper aims to examine in a temporal approach, the process of urban expansion in the municipality of Duque de Caxias, located on the outskirts of the metropolitan area of the state of Rio de Janeiro, as well as settlement patterns characteristic of areas that the changes occurred in the period 1987 to 2010. We used the technique of visual analysis to perform the change detection and the technique of image classification, aimed at monitoring human pressure over a stretch of track pipeline Rio de Janeiro - Belo Horizonte, located in the state of Rio de Janeiro. The stages of work involved the characterization of the study area, urban sprawl and the existing settlement patterns, through the analysis of bibliographic data. The processing of Landsat 5 images and the application of the technique of change detection were performed in three scenes for the years 1987, 1998 and 2010, while the classification process was performed on the image RapidEye for the year 2010. Can be noted an increase in urban area of approximately 22.38% and the change of land cover from natural to built. This growth is concentrated outside to the area of direct influence of the duct, occurring in the area of indirect influence of the enterprise. Regarding the settlement patterns of growth areas, it was observed that these are predominantly Residential and / or Commercial, followed by Residential.

Keywords: Remote sensing, urban expansion, pipeline monitoring;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 2 - Unidades litológicas.....	22
Figura 3 - Sistemas de relevo.	Erro! Indicador não definido... 24
Figura 4 - Mapa Altimétrico e Isoietas.....	248
Figura 5 - Mapa de vegetação natural.	2830
Figura 6 – Mapa indicativo de uso e ocupação.	302
Figura 7 - Municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro.	325
Figura 8 – Áreas de influência do duto.	359
Figura 9 – Fluxograma das etapas de trabalho.	Erro! Indicador não definido. 56
Figura 10 – Imagem Landsat 5 da área de estudo: A) 1987 B) 1998 C) 2010.....	5661
Figura 11 - Evolução temporal da área urbana do município de Duque de Caxias (RJ): A) 1987 B) 1998 C) 2010.	Erro! Indicador não definido. 63
Figura 12 – Polígonos de expansão urbana do município de Duque de Caxias (RJ): A) 1987 - 1998 B) 1998 – 2010 C) 1987 - 2010.....	Erro! Indicador não definido. 70
Figura 13 – Mapa dos padrões de ocupação das áreas de expansão urbana do município de Duque de Caxias (RJ) de 1987 a 2010..	702
Figura 14 -Expansão urbana do município de Duque de Caxias (RJ) sobre as AID e AII da faixa de dutos no período de 1987 a 2010.	725

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área total relativa das classes para os municípios.	33
Tabela 2 - Dados populacionais do município.	34
Tabela 3 - Dados econômicos do município.	34
Tabela 4 – População residente na região metropolitana e municípios de 1940 a 2000.	34
Tabela 5 - Características das classes presentes na categoria Urbana ou Construída.	52
Tabela 6 - Coordenadas Planas, WGS-84, em metros, dos pontos de controle coletados no software Arcgis da imagem Landsat/1987.	59
Tabela 7 - Coordenadas Planas, WGS-84, em metros, dos pontos de controle coletados no software Arcgis da imagem Landsat/1998.	59
Tabela 8 - Coordenadas Planas, WGS-84, em metros, dos pontos de controle coletados no software Arcgis da imagem Landsat/2010.	60
Tabela 9 - Área da mancha urbana do município de Duque de Caxias.....	68
Tabela 10 - Área dos polígonos de expansão da área urbana do município de Duque de Caxias.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Materiais utilizados.	54
Quadro 2 - Dados nominais dos sensores ópticos.	57
Quadro 3 - Visão geral das classes obtidas através de amostras da imagem RapidEye de 2010 e as chaves de interpretação.....	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	16
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
3.1. Localização	17
3.2. Caracterização do meio físico	19
3.2.1. Geologia	19
3.2.1.1. <i>Unidade Serra dos Órgãos.....</i>	<i>20</i>
3.2.1.2. <i>Unidade Santo Aleixo.....</i>	<i>20</i>
3.2.1.3. <i>Maciço Canaã</i>	<i>20</i>
3.2.1.4. <i>Unidade São Fidélis.....</i>	<i>20</i>
3.2.2.1. <i>Planície Flúvio-marinhas.....</i>	<i>25</i>
3.2.2.2. <i>Planície Alúvio-colúvio-marinhas.....</i>	<i>25</i>
3.2.2.3. <i>Escarpas Serranas.....</i>	<i>25</i>
3.2.2.4. <i>Planícies aluviais</i>	<i>25</i>
3.2.2.5. <i>Colinas Isoladas.....</i>	<i>25</i>
3.2.2.6. <i>Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos.....</i>	<i>26</i>
3.2.3. Clima e Pluviosidade	26
3.2.4. Vegetação.....	29
3.2.5. Uso e Ocupação da terra	31
3.3. Caracterização dos aspectos socioeconômicos	33
4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	38
4.1. Dutos	38
4.2 O contexto dos dutos no Brasil	39
4.3. Geotecnologias.....	40
4.3.1. Sensoriamento Remoto	41
4.3.1.1. <i>Técnicas de Detecção de Mudanças</i>	<i>42</i>
4.3.1.2. <i>Análise visual</i>	<i>45</i>
4.3.4. Análise digital – Classificação de imagens	46
4.3.3.1. <i>Classificação pixel a pixel.....</i>	<i>47</i>
4.3.3.2. <i>Classificação supervisionada</i>	<i>47</i>
4.3.3.3. <i>Classificação não supervisionada</i>	<i>48</i>

4.3.3.4. <i>Classificação por regiões</i>	48
4.3.4. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	49
4.4. Áreas Urbanas	50
4. MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1. Materiais	54
4.2. Métodos e etapas do trabalho	56
4.2.1. Aquisição e organização dos dados	56
5.2.1.2. <i>Banco de dados geográficos</i>	57
5.2.2. Pré-processamento das imagens	58
5.2.2.1. <i>Ortorretificação e/ou registro de imagens</i>	58
5.2.3. Processamento dos dados	62
5.2.3.1. <i>Classificação de imagens para uso e ocupação da terra por análise visual</i> ...	62
5.2.3.2. <i>Detecção de mudanças por análise visual</i>	67
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas dutoviários configuram-se como de suma importância para o transporte e escoamento da produção de gás natural, petróleo e seus derivados, em virtude das extensas áreas que compõem o território brasileiro. Este tipo de empreendimento está sujeito às pressões antrópicas e riscos ambientais que podem comprometer sua segurança. Portanto, torna-se necessário o monitoramento das faixas de dutos para prevenção de possíveis acidentes.

Dentre os fatores que podem comprometer a segurança dos sistemas dutoviários, as pressões antrópicas têm relevância, principalmente no que tange a expansão das áreas urbanas. Devido à alta dinamicidade do espaço urbano, há a necessidade de estudos multitemporais, que irão dar suporte a análises comparativas da evolução das áreas urbanas, visando o monitoramento dos riscos antrópicos nas faixas de dutos.

O processo de urbanização contínuo e desordenado acaba comprometendo o equilíbrio ambiental, gerando áreas degradadas e transformando significativamente as áreas de influências deste processo, na qual estão inseridas as faixas de dutos. Deste modo, a análise temporal do processo de expansão urbana permite que medidas mitigadoras ou compensatórias sejam tomadas ao longo da faixa de dutos, minimizando ou evitando os possíveis impactos e intervenções do processo de expansão urbana neste empreendimento.

Para auxiliar no diagnóstico e monitoramento do processo de uso e ocupação ao longo das faixas de dutos, bem como na dinamicidade da expansão urbana, a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto (SR), incluindo seus diferentes produtos e processos de análise, é fundamental, pois contribui para identificação de objetos e processos que podem constituir risco ao duto. Isto se deve pelas imagens de satélite configurar-se como importante fonte de informação sobre os fenômenos que ocorrem na superfície terrestre.

O rápido desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto permite a análise de grandes extensões de áreas em diversos períodos de tempo, possibilitando a obtenção de informações espaciais e temporais sobre os diferentes objetos da superfície. As imagens orbitais de alta resolução contribuem para a identificação de feições que darão suporte para a análise da expansão das áreas urbanas e dos tipos de ocupação urbana na área de estudo deste trabalho.

Para manipulação dos dados, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) configuram-se como uma ferramenta útil e abrangente, pois permite a análise, interpretação e integração das diversas fontes e tipos de dados obtidos. Eles funcionam como um recurso para o monitoramento e caracterização de grandes áreas, permitindo o processamento destas informações em um curto intervalo de tempo quando comparados ao monitoramento por terra ou outros sistemas.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo utilizar técnicas de geoprocessamento para analisar, em uma abordagem temporal, o processo de expansão urbana no município de Duque de Caxias, ao longo da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte, como subsídio ao monitoramento da faixa, considerando-se as suas áreas de influência direta e indireta. Além disto, pretende-se caracterizar, com imagens de alta resolução espacial, os padrões de ocupação no interior das áreas de expansão identificadas, para o período de 1987 a 2010, também visando subsidiar o monitoramento deste tipo de empreendimento.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

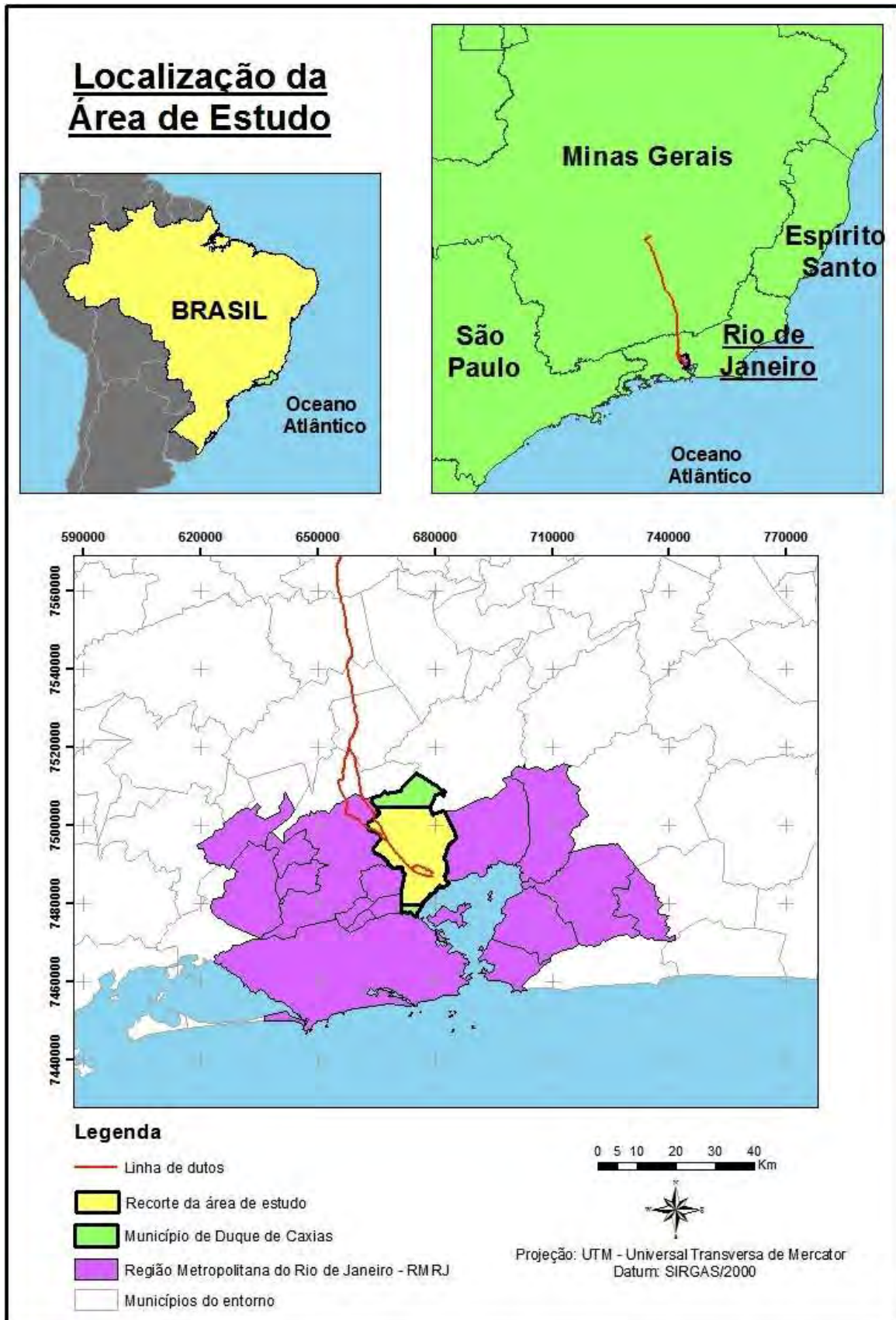
3.1. Localização

A área de estudo escolhida corresponde a um trecho de aproximadamente 37,5 quilômetros do poliduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte, situado na região sudeste do Brasil. A faixa de duto possui uma extensão aproximada de 365 quilômetros, iniciando-se no município de Duque de Caxias (RJ) até o município de Betim (MG). Ela abrange um total de 24 municípios, sendo 18 no estado de Minas Gerais e 6 no estado no Rio de Janeiro. Os dutos ORBEL compartilham faixas com os gasodutos GASBEL e GASPAL e com o oleoduto ORBEL II. Este oleoduto é responsável pelo transporte de petróleo da REDUC (Refinaria Duque de Caxias/Terminal Campos Elíseos – TECAM) no Rio de Janeiro para a REGAP (Refinaria Gabriel Passos) em Minas Gerais.

Considerando a grande extensão do duto, o interesse pela avaliação da expansão urbana nos municípios do entorno da faixa de dutos e a pressão antrópica que pode comprometer a segurança deste empreendimento, selecionou-se a área do município de Duque de Caxias, a qual é apresentada na Figura 1. Dentro da área do município priorizou-se a análise nas áreas de influência direta e indireta do trecho da faixa de dutos selecionada.

O município de Duque de Caxias, pertencente à região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro apresenta uma dinâmica socioeconômica acelerada, devido à proximidade com a capital do estado. Destaca-se também pela presença de parques industriais expressivos e por possuir um contingente populacional significativo, que pode ser constatado pelo censo de 2010 do IBGE, que mostra aumento populacional de 80.000 habitantes desde o ano 2000 no município.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Duque de Caxias pertence à mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro e à microrregião do Rio de Janeiro e tem uma área de aproximadamente 467,6 km². Segundo os dados do censo 2010, o município possui 855.046 habitantes que representam 5,35% do contingente populacional do estado do Rio de Janeiro e a sua densidade demográfica é de 1828,51 habitantes por km².

Desde que Duque de Caxias se tornou um município autônomo em 1943, recebeu grande incentivo econômico. Ele está integrado ao sistema viário e ferroviário da capital do estado. Em seu território, localiza-se o parque de indústrias entre as quais a Fábrica Nacional de Motores, constituiu fator de desenvolvimento acelerado, e que, em conjunto com refinaria de petróleo, com seu extraordinário conjunto petroquímico em expansão, deram rápido e considerável estímulo (IBGE, 2010). O setor petroquímico, há muitos anos apresenta posição de destaque no município, devido a presença da REDUC e pela chegada da Rio Polímeros, que produz resinas a partir do etanol e propano do gás natural, proveniente da Bacia de Campos. Há ainda a termelétrica TermoRio, instalada no município através do Programa Prioritário de Termelétricas do governo federal.

3.2. Caracterização do meio físico

As características do meio físico que atuarão como fatores determinantes para análise da expansão urbana serão: geologia, geomorfologia, sistemas de relevo, clima, vegetação e uso e ocupação da terra.

Serão descritas somente as informações contidas no recorte do município de Duque de Caxias.

3.2.1. Geologia

Segundo Almeida et al. (1981), o contexto geológico no qual o município de Duque de Caxias está inserido corresponde à Província Estrutural da Mantiqueira. Esta província, que possui uma extensão de aproximadamente 3000 km e 200 km, em média, de largura e que se abrange desde o Uruguai até o sul da Bahia (da latitude 34° latitude 15° S), está disposta em paralelo à costa atlântica (CPRM, 2000).

Dentre os eventos orogênicos do período Pré-Cambriano, a formação da Província Metamórfica da Mantiqueira corresponde a um dos mais complexos e resultou da amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental. Devido sua extensa área, tais eventos derivaram em

diferentes segmentos orógenos, no qual o estado do Rio de Janeiro situa-se na porção interna da faixa do Ribeira, cuja evolução orogênica foi responsável pela deformação, metamorfismo, magmatismo e articulação dos diversos terrenos (HEILBRON et al., 1999 apud FERREIRA, 2009).

Em termos geológicos, observa-se pela Figura 2 que na área de estudo ocorrem quatro formações, descritas a seguir:

3.2.1.1. *Unidade Serra dos Órgãos*

A Unidade Serra dos Órgãos apresenta uma forma extremamente alongada na direção NE/SO, com 140 km de comprimento por 20 km de largura média, caracterizando-se como o maior batólito granítico exposto do estado. O batólito é envolvido na borda norte pelo Leucogranito Gnaiss Serra do Paquequer e nas bordas oeste e sul pelos ortognaisses do Complexo Rio Negro, no qual é intrusivo. Na porção nordeste é intrusivo nos paragnaisses do Complexo Paraíba do Sul. Esta unidade é composta litologicamente por hornblenda-biotita granitóide de granulação grossa e composição expandida de tonalítica a granítica, composição cálcio-alcalina. Texturas e estruturas magmáticas preservadas com foliação tangencial em estado sólido superimpostas. Podem ser observados enclaves de paleodiques anfibolíticos no local (CPRM, 2000).

3.2.1.2. *Unidade Santo Aleixo*

A Unidade Santo Aleixo integra marginalmente o batólito da Serra dos Órgãos, sendo constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragnaisse parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção) (CPRM, 2000).

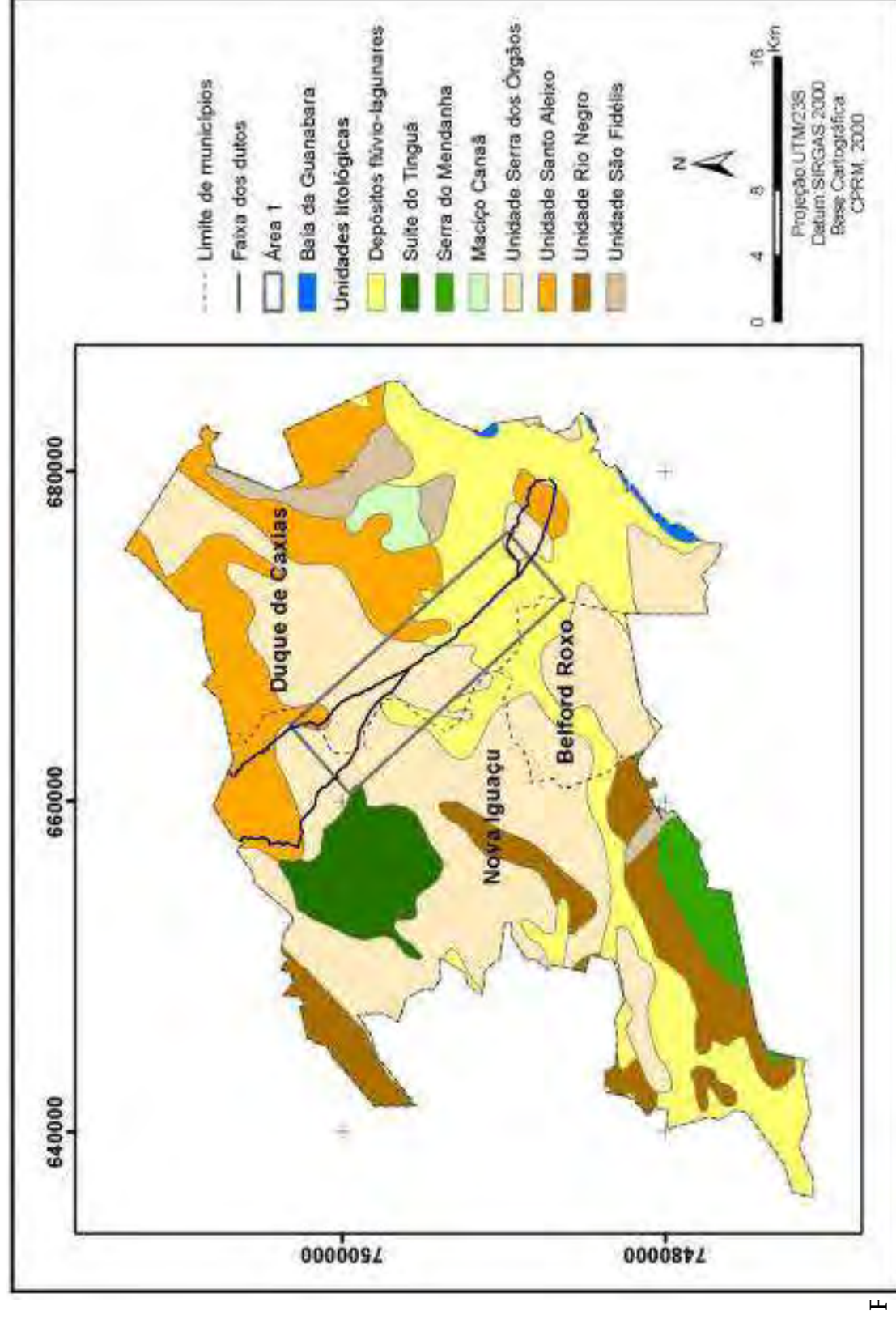
3.2.1.3. *Maciço Canaã*

É composta de sienito associado a migmatitos e configura-se como uma suíte alcalina do período Cambriano (Brasiliano III), (CPRM, 2000).

3.2.1.4. *Unidade São Fidélis*

Esta unidade é constituída de granada-biotita-sillimanita gnaiss, com bolsões e veios de composição granítica e faz parte do Complexo Paraíba do Sul do período Meso/Neoproterozóico. Observam-se intercalações de gnaiss calcissilicático e frequente aparecimento de quartzito. Ocorrem também, rochas calcissilicáticas, metacarbonáticas (ca) e quartzitos (qz) (CPRM, 2000).

Figura 2 - Unidades litológicas.



3.2.2. Geomorfologia

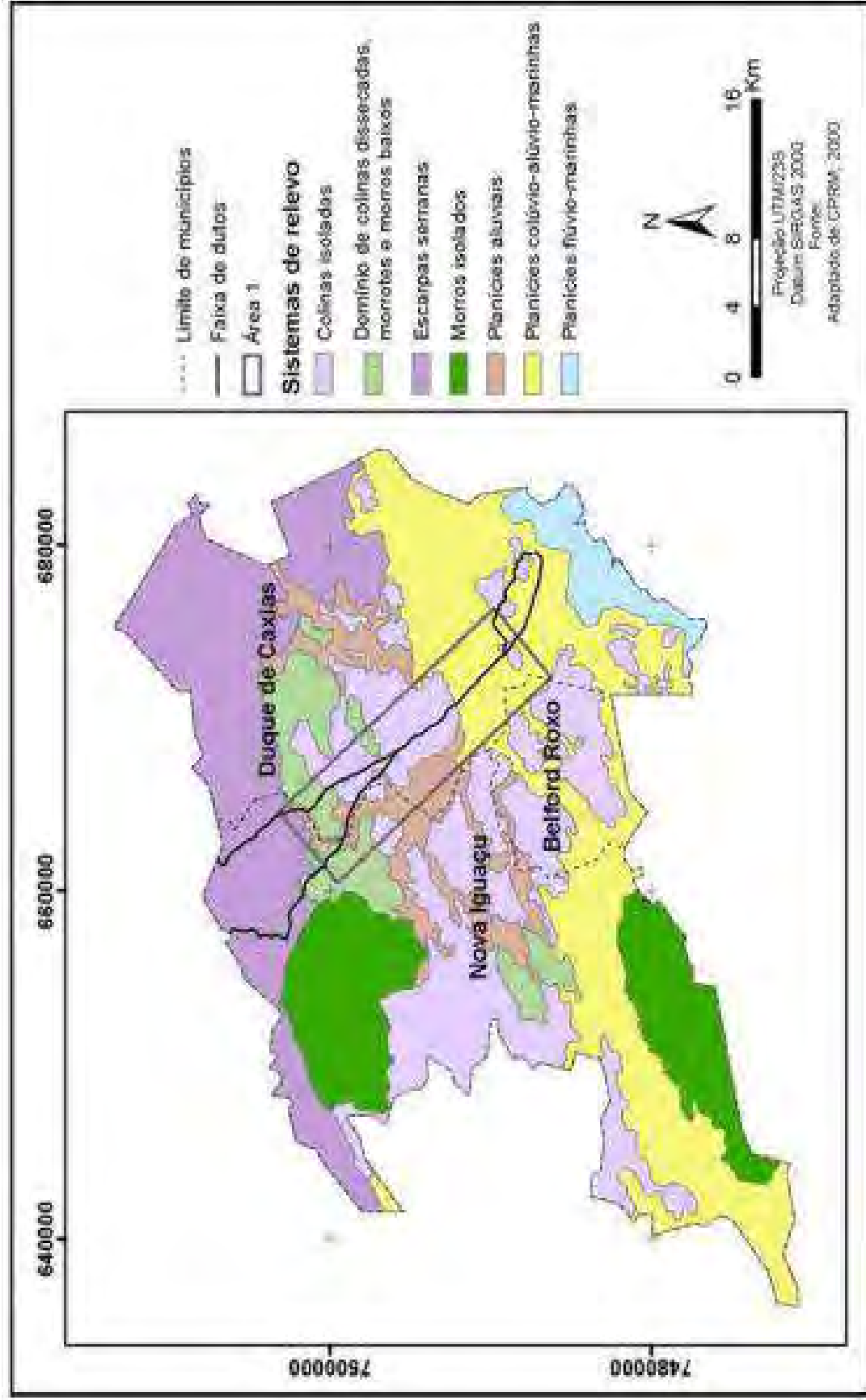
A diversidade da geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro deve-se à interação entre aspectos tectônicos e climáticos que determinaram sua atual configuração. Podem-se visualizar grandes escarpas, alternadas com depressões e bacias sedimentares tafrogênicas assinaladas pela influência da tectônica que exerceu o rifteamento continental do sudeste brasileiro, principalmente entre o Cretáceo e o Terciário Inferior (ALMEIDA, 1976). Merece destaque a presença de superfícies de erosão observadas no estado, ainda que muito basculadas e fragmentadas pela tectônica mesoceno-zóica (CPRM, 2000).

Em relação aos domínios morfoestruturais, o estado do Rio de Janeiro subdivide-se em dois: as Bacias Sedimentares Cenozóicas e o Cinturão Orogênico do Atlântico. As Bacias Sedimentares Cenozóicas podem ser subdivididas nos seguintes domínios morfoestruturais: Tabuleiros de Bacias Sedimentares, Planícies Fluvio-marinhas (Baixadas) e Planícies Costeiras. Em relação ao Cinturão Orogênico do Atlântico, este se subdivide nos seguintes domínios morfoestruturais: Maciços Costeiros e Interiores, Maciços Alcalinos Intrusivos, Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas, Escarpas Serranas, Planaltos Residuais, Depressões Interplanálticas e Depressões Interplanálticas com Alinhamentos Serranos (CPRM, 2000).

A área de estudo apresenta os domínios morfoestruturais de Escarpas Serranas e Planaltos Residuais, ambos situados no domínio morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico, e o domínio de Planícies Fluvio-marinhas (Baixadas), situada no domínio morfoestrutural das Bacias Sedimentares Cenozóicas.

Os principais sistemas de relevo da área de estudo estão descritos a seguir e ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Sistemas de relevo.



Fonte: CPRM (2000). Adaptado por Ferreira (2009).

3.2.2.1. *Planície Flúvio-marinhas*

As Planícies flúvio-marinhas são compostas por terrenos argilosos orgânicos de fundo de baías ou enseadas, ou deltas dominados por maré. Possuem superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos. Os terrenos são muito mal drenados com padrão de canais bastante meandantes, sob influência de refluxo de marés (CPRM, 2000).

3.2.2.2. *Planície Alúvio-colúvio-marinhas*

As planícies alúvio-colúvio-marinhas caracterizam-se por um tipo de relevo de agradação litorânea, constituído por terrenos argilo-arenosos das baixadas. São superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os sistemas deposicionais continentais (processos fluviais e de encosta) e marinhos. Os terrenos são mal drenados com padrão de canais meandantes e divagantes. Há a possibilidade de observação da presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das baixadas (CPRM, 2000).

3.2.2.3. *Escarpas Serranas*

Este sistema de relevo configura-se por um tipo de relevo montanhoso e extremamente acidentado, caracterizado por relevos de degradação em áreas montanhosas, cujas vertentes são predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. A densidade de drenagem é muito alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico, ou treliça a retangular. Predominam amplitudes topográficas superiores a 500 metros e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha (CPRM, 2000).

3.2.2.4. *Planícies aluviais*

Este sistema é composto por planícies aluviais de inundação, terraços fluviais e leques alúvio-coluviais. É constituído de superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos canais-tronco (CPRM, 2000).

3.2.2.5. *Colinas Isoladas*

As colinas isoladas constituem uma forma de relevo residual, classificada como relevo de degradação entremeado na baixada e caracteriza-se por possuir vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as

baixadas litorâneas. O padrão de drenagem é dendrítico e a densidade de drenagem é muito baixa. No fundo de vales afogados a drenagem é imperfeita. Há predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100 metros e gradientes suaves (CPRM, 2000).

3.2.2.6. *Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos*

Este domínio é classificado como relevo de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas e trata-se de relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. A densidade de drenagem é de média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Predominam amplitudes topográficas entre 100 e 200m e gradientes suaves a médios (CPRM, 2000).

3.2.3. **Clima e Pluviosidade**

O clima da região Sudeste do Brasil pode ser explicado por meio dos fatores estáticos, que se referem à localização geográfica e topográfica, e aos dinâmicos, que correspondem às massas de ar. Dentre os fatores estáticos, observa-se que a região Sudeste é exposta ao fluxo meridional do ar frio oriundo do Pólo Sul sobre as águas quentes do oceano, assim, há uma maior frequência de invasões de frentes frias e de linhas de instabilidade tropicais, uma vez que a região está sob a trajetória preferida por tais correntes. Devido sua localização estar próxima ao mar, as camadas de ar que lhe estão superpostas apresentam maior densidade de núcleos de condensação (CPRM, 2000).

Em relação aos fatores dinâmicos, eles assinalam que a região Sudeste está, na maior parte do ano, sob o domínio da massa Tropical Atlântica. Esta massa, de divergência anticiclônica, possui elevada temperatura, fornecida pela intensa radiação solar das latitudes tropicais, e forte umidade específica, decorrente da intensa evaporação marítima (CPRM, 2000).

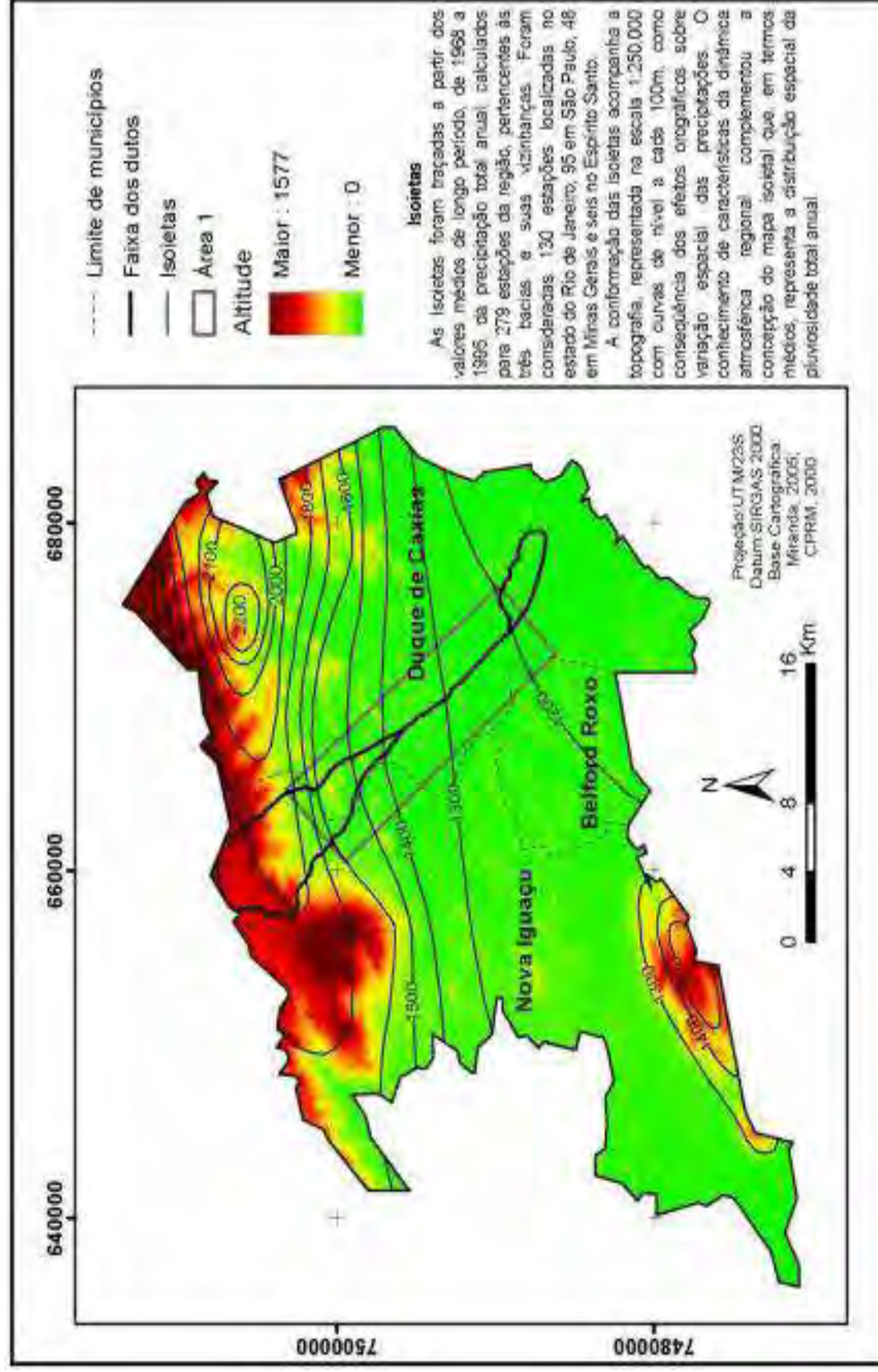
A distribuição espacial das chuvas no estado do Rio de Janeiro é determinada por dois fatores: a orografia e o mecanismo dinâmico. O paralelismo das escarpas das serras do Mar e da Mantiqueira opõem-se frontalmente à direção dos ventos das correntes de circulação atmosférica o que influencia as precipitações pluviométricas a serem diretamente proporcionais à altitude. Nenhuma outra serra do território nacional exerce tanta influência no

sentido do acréscimo de precipitações quanto elas, que possuem médias pluviométricas entre 2.000 a 4.500 mm correspondentes aos índices pluviométricos mais elevados do estado (GUIDICINI e IWASA, 1976 apud FERREIRA, 2009).

Já no Vale do Paraíba, o cenário climático é diferente, a subtração de umidade do ar realizada pelas serras da Mantiqueira e do Mar e a dessecação adiabática tornam essa depressão topográfica bem menos úmida e chuvosa. A pluviometria anual nessa região varia de 750 a 1.000 mm. A Baixada Litorânea é outra área igualmente menos chuvosa, no trecho do Espírito Santo à lagoa de Araruama no estado do Rio de Janeiro pode-se observar os mais baixos índices de precipitação, inferiores a 1.000 mm (CPRM, 2000).

Especificamente na área de estudo, a pluviosidade média anual dos municípios selecionados varia de 1.200 mm a 2.200 mm (FERREIRA, 2009). O mapa das isoietas das precipitações médias anuais está apresentado na Figura 4, ilustrando a distribuição da chuva ao longo da região de estudo, bem como a altitude do local, a fim de se analisar a influência do mesmo no estabelecimento do clima da região.

Figura 4 - Mapa Altimétrico e Isoietas.



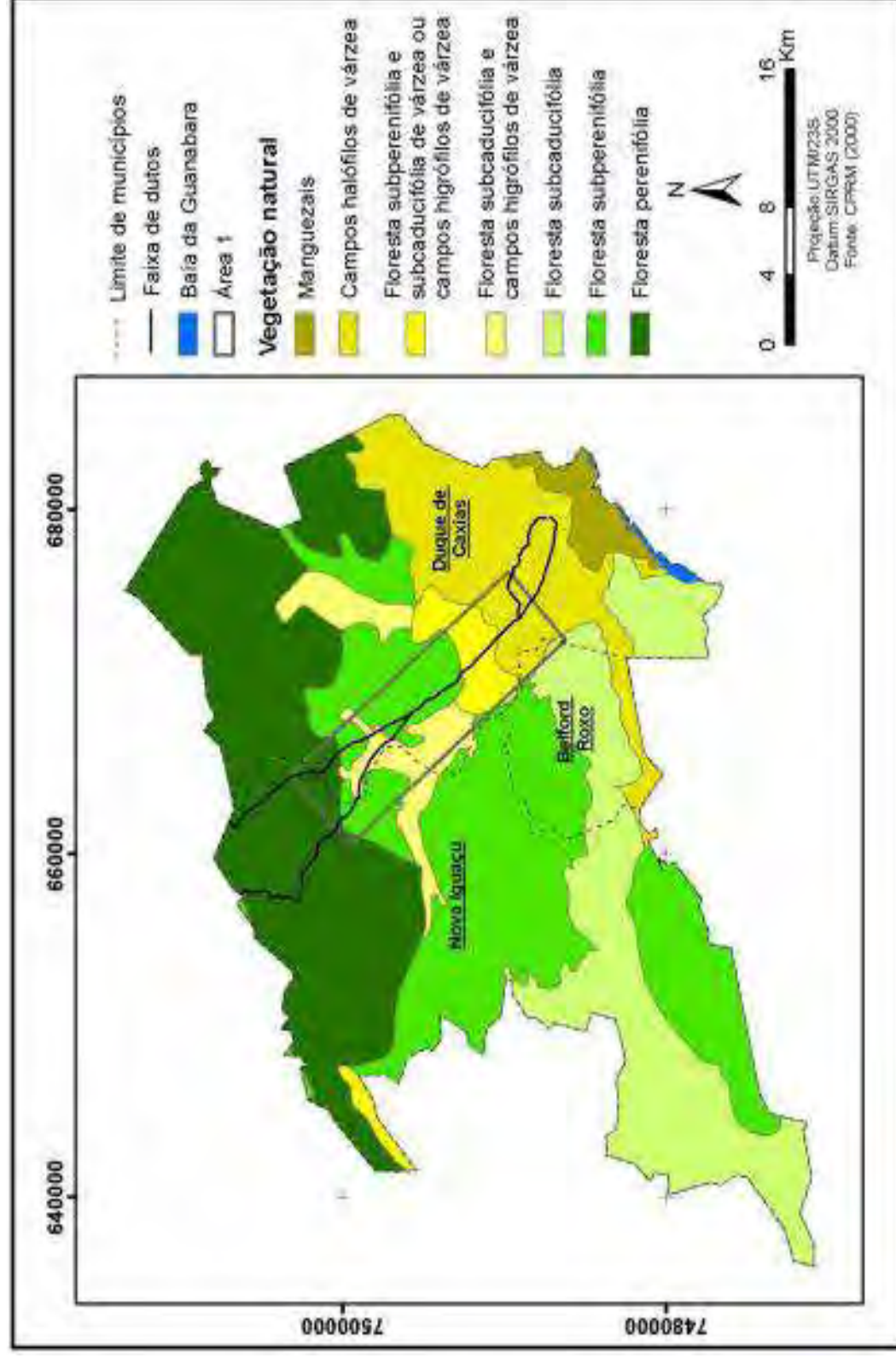
Fonte: CPRM (2000). Adaptado por Ferreira (2009).

3.2.4. Vegetação

Segundo o IBGE (2006), a área de estudo está localizada no bioma da Mata Atlântica. A área está situada no domínio de Floresta Ombrófila Densa, cujos índices pluviométricos são os mais altos da região litorânea, configurado por uma precipitação bem distribuída durante o ano com ausência de um período seco.

Tomando por base as informações sobre a vegetação natural em conjunto com os dados obtidos através do mapa geoambiental, disponíveis em CPRM (2000), Ferreira (2009) elaborou o mapa de vegetação natural (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de vegetação natural.



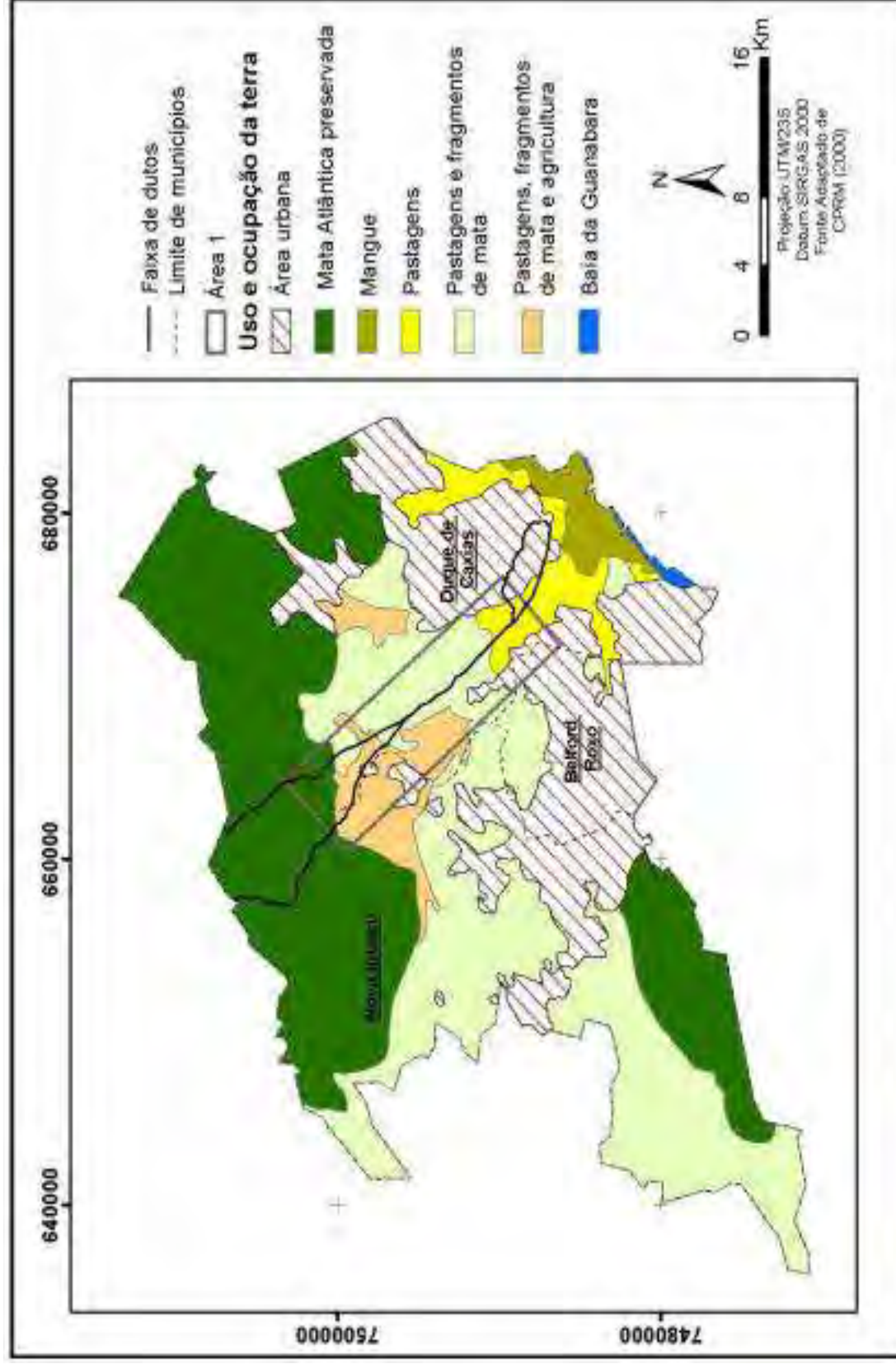
Fonte: CPRM (2000). Adaptado por Ferreira (2009).

Pela análise do mapa, nota-se que o município de Duque de Caxias possui uma diversificada vegetação natural com a presença de Manguezais, Campos halófilos de várzea, Floresta subperenifólia e subcaducifólia de várzea ou, Floresta subcaducifólia e campos higrófilos de várzea, Floresta subcaducifólia, Floresta subperenifólia e Floresta perenifólia.

3.2.5. Uso e Ocupação da terra

Ferreira (2009) elaborou um estudo utilizando técnicas de detecção de mudanças para constatar a evolução do uso e ocupação na área da terra nos municípios de Duque de Caxias, Belford Roxo e Nova Iguaçu, ambos situados na região metropolitana do Rio de Janeiro, bem como determinou os melhores métodos para tal. Para elaborar um mapa indicativo do uso e ocupação da terra (Figura 6), Ferreira (2009) utilizou as informações referentes à vegetação natural, uso e ocupação atual e o mapa geoambiental encontradas em CPRM (2000). É válido salientar que a Figura 8 foi considerada um mapa indicativo, pois algumas classes representam mais de um uso, não sendo possível determinar com exatidão qual é o uso da área. Pode-se observar que a área urbana ocupa área de planícies fluviais, marinhas e lagunares, seguido pelas áreas de colinas e morros baixos, enquanto que a vegetação natural ocupa regiões das escarpas serranas e de maciços alcalinos (FERREIRA, 2009).

Figura 6 - Mapa indicativo de uso e ocupação.



Fonte: CPRM (2000). Adaptado por Ferreira (2009).

Através da análise do mapa, nota-se que a área de estudo possui cinco tipos de uso e ocupação da terra, sendo eles: Mata Atlântica preservada, Mangue, Pastagens, Pastagens e fragmentos de mata e Pastagens, fragmentos de mata e agricultura.

O resultado do mapa de uso e ocupação da terra para a área total dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e Nova Iguaçu obtido por Ferreira (2009) é mostrado numericamente na Tabela 1. Relacionando o mapa indicativo de uso e ocupação e a Tabela 1, pode-se deduzir que a porcentagem referente à classe denominada “vegetação alterada” corresponde às áreas de pastagens, pastagens e fragmentos de mata e pastagens, fragmentos de mata e agricultura. A classe “vegetação densa” pode ser atribuída, principalmente, às áreas de Mata Atlântica preservada. Já as classes denominadas de “urbano denso” e “urbano esparso” não podem ser diferenciadas no mapa indicativo, sendo atribuída a estas classes toda a área urbana representada na Figura 6.

Tabela 1 - Área total relativa das classes para os municípios.

Classes	Uso e ocupação (2005)
Água	0,23%
Nuvem	0,06%
Sombra	3,72%
Urbano denso	18,53%
Urbano esparso	24,66%
Vegetação alterada	27,90%
Vegetação densa	24,90%

Fonte: Ferreira (2009) adaptado por Rezende (2010)

3.3. Caracterização dos aspectos socioeconômicos

O município de Duque de Caxias é um dos mais populosos do Brasil devido à presença de importantes parques industriais e pela proximidade com a capital do estado do Rio de Janeiro, o que configura uma dinâmica socioeconômica acelerada na área de estudo.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os dados populacionais e econômicos do município estudado.

Tabela 2 - Dados populacionais do município.

Município	População total (2000)	População urbana (total)	População rural (total)	População total (2010)	Densidade Demográfica (hab/km²)
Duque de Caxias	775.456	852.131	2.915	855.046	1.828,51

Fonte: IBGE (2010)

Tabela 3 - Dados econômicos do município.

Município	PIB total 2006 (em milhões de reais)	Serviços e comércio	Indústria	Agropecuária	PIB per capita (em reais)
Duque de Caxias	19900	58,8%	41.17%	0,03%	26.392

Fonte: IBGE (2008)

A evolução da população do município de Duque de Caxias de 1940 a 2000 pode ser visualizada na Tabela 4, segundo dados do CPERJ (2009).

Tabela 4 – População residente na região metropolitana e municípios de 1940 a 2000.

Município	1940	1950	1960	1970	1980	1991	1996	2000
Duque de Caxias	29.613	92.459	243.619	431.397	575.814	667.821	715.089	770.865

Fonte: CPERJ (2009)

A dinâmica socioeconômica do município de Duque de Caxias está diretamente relacionada com a região metropolitana do Rio de Janeiro do qual ele faz parte. A região metropolitana do Rio de Janeiro, também conhecida como Grande Rio foi instituída pela Lei Complementar nº 20, de 1º de julho de 1974, após a fusão dos antigos estados do Rio de Janeiro e da Guanabara. Com 12.578.485 habitantes (IBGE, 2010), é a segunda maior área metropolitana do Brasil (FERREIRA, 2009).

No que tange seus limites, estes sofreram alterações, em anos posteriores, com a exclusão dos municípios de Petrópolis (1993), Itaguaí (julho de 2002), Mangaratiba (julho de 2002) e Maricá (outubro de 2001) da região metropolitana, os quais também faziam parte dela, de acordo com a primeira legislação. No ano de 2009, os municípios que fazem parte da região metropolitana são: Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São Gonçalo,

São João de Meriti, Seropédica, Mesquita e Tanguá. Na Figura 7, podem-se observar os municípios da região metropolitana e os municípios do seu entorno (FERREIRA, 2009).

Figura 7 - Municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro.



Fonte: Ferreira (2009)

A região metropolitana do Rio de Janeiro, segundo Abreu (1987 apud FERREIRA, 2009) é dividida em quatro faixas (núcleo, periferia imediata, periferia intermediária e periferia distante) com o intuito estritamente metodológico. As faixas exibem limites imprecisos, mas que, devido às características físicas do espaço metropolitano e em virtude do desenho da estrutura viária condicionante da expansão, são de modo geral circulares e concêntricos. A divisão foi elaborada para a antiga região metropolitana, em que sua área de abrangência é maior e ainda não havia os municípios que foram emancipados após 1987 (FERREIRA, 2009).

Segundo Abreu (1997 apud FERREIRA, 2009), a primeira faixa é denominada de núcleo, e caracteriza-se pela área comercial e financeira central (o antigo centro histórico da

cidade) e por suas expansões em direção à orla oceânica (a zona sul) e ao interior (cujos limites seriam os bairros da Tijuca, de Vila Isabel, de São Cristóvão, e do Caju), incluindo também o centro e a zona sul de Niterói. A segunda faixa é chamada de periferia imediata e engloba os subúrbios mais antigos do Rio de Janeiro, que se formaram ao longo das linhas das estradas de ferro (os limites vão de Benfica Riachuelo e Méier até Penha, Irajá e Madureira) e a zona norte de Niterói. Insere-se também nesta faixa a Barra da Tijuca e a parte de Jacarepaguá. A terceira faixa denomina-se periferia intermediária e abrange o restante do tecido urbano carioca localizado além dos limites da periferia imediata, mais a conurbação do Grande Rio, composta por Nilópolis, São João de Meriti, grande parte de Duque de Caxias, São Gonçalo e Nova Iguaçu, e parte de Magé. Por último, a quarta faixa é chamada de periferia distante e agrega o restante da região metropolitana, ainda não conurbada com a área metropolitana.

O núcleo reúne as funções centrais (administrativas, econômicas, financeiras e culturais) da área metropolitana. Proporciona os melhores padrões de infraestrutura urbanística e de equipamento social urbano, além de possuir como residentes, na sua maioria, representantes das classes média e alta da metrópole. A inicial função residencial da área central do núcleo foi gradualmente sendo substituída por zonas comerciais e financeiras. No entanto, estas áreas são cercadas por regiões avaliadas como decadentes (ABREU, 1987 apud FERREIRA, 2009).

O local de residência da baixa classe média é essencialmente a periferia imediata. Nela estão os prolongamentos das zonas industriais mais antigas, que se expandiram radialmente a partir do núcleo. Oferece centros de prestação de serviços de importância regional, com hierarquia seguidamente inferior aos do núcleo. A infraestrutura urbanística, extensão daquela do núcleo, é consideravelmente adequada conforme aos padrões predominantes na área metropolitana. A ocupação desta área ocorreu por meio dos primitivos polos residenciais ao redor das paradas de trem suburbano, que atualmente se apresentam interligados, constituindo uma densa malha urbana. Entretanto, nota-se a expressiva diferença nas condições de moradia entre o núcleo e a periferia imediata. O núcleo é privilegiado por melhores condições ambientais, infraestrutura superior, sistema de transporte mais eficiente e equipamentos sociais de melhor qualidade (ABREU, 1987 apud FERREIRA, 2009).

Segundo Abreu (1987 apud FERREIRA, 2009), a expansão da metrópole ocorre através da área da periferia intermediária. As taxas de crescimento populacional são muito elevadas. Segundo as informações do censo demográfico de 1970, o crescimento da periferia intermediária foi de 69% na década de 60, o que corresponde à aproximadamente 1,2 milhões

de habitantes, representando mais da metade do crescimento da população de toda a área metropolitana do Rio de Janeiro. Em relação ao crescimento da área da periferia intermediária, este ocorre por fluxos migratórios duplamente induzidos: decorrente da expulsão das populações mais pobres residentes na periferia imediata ou no núcleo e através de pessoas residindo fora da área metropolitana, sobretudo do próprio estado do Rio de Janeiro. Cabe salientar que a população residente nesta área possui elevado índice de pobreza, a qual, em 1970, recebia em quase sua totalidade, não mais que três salários mínimos.

Sobre os centros de serviços presentes nesta área, eles configuram-se como de baixo padrão, devido o poder aquisitivo de seus usuários. Entretanto, apresentam alguma dinamicidade e expressividade. De acordo com Abreu (1987), o crescimento industrial é restrito a determinadas áreas, especialmente no município em estudo, Duque de Caxias, que contribui com 12,5% da produção industrial metropolitana (censo industrial de 1970 – IBGE). No que tange o equipamento social, nota-se uma tendência para a busca daqueles do núcleo ou da periferia imediata. Há uma irregularidade em relação à densidade de ocupação da terra e uma infraestrutura urbanística inexistente ou muito precária (ABREU, 1987 apud FERREIRA, 2009).

No início da década de sessenta, houve a mudança da capital do país e o município do Rio de Janeiro tornou-se cidade-estado, o que acarretou definitivamente na conurbação da periferia intermediária com a imediata. Com o início do período militar, o núcleo começa a ser objeto preferencial de investimento do estado em infraestrutura, o que somente faz aumentar o contraste existente entre o núcleo e a periferia (ABREU, 1987 apud FERREIRA, 2009).

Em relação ao município em estudo, seu histórico inicia-se com a especulação do território motivada pelo interesse dos governos do Rio de Janeiro em colonizar e cultivar as terras que circundam a baía de Guanabara. A partir de 1566, fixaram-se os primeiros colonos em terras do atual município de Duque de Caxias, localizando-se de preferência nos vales dos rios Meriti, Sarapuí, Iguaçu e Estrela, iniciando à exploração do solo e das riquezas naturais (IBGE, 2010).

O Distrito de Caxias foi criado em 1931, e devido ao seu rápido progresso, em 1943 foi elevado à categoria de município, sob a denominação de Duque de Caxias e tendo por sede a antiga Estação de Meriti. O município constituía-se de três distritos, sendo eles Duque de Caxias, Imbariê e Meriti. Em 1950, após o desmembramento do distrito de Meriti, Duque de Caxias passa a ser composto apenas pelos municípios de Duque de Caxias e Imbariê. Em 1954, são criados os distritos de Campos Elíseos e Xerém ambos desmembrados do distrito de Imbariê e anexado ao município de Duque de Caxias, o que configura uma divisão territorial, em 1960, em quatro distritos: Duque de Caxias, Campos Elíseos, Imbariê e Xerém, que é mantida até hoje (IBGE, 2010).

4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Dutos

4.1. 1. Dutos

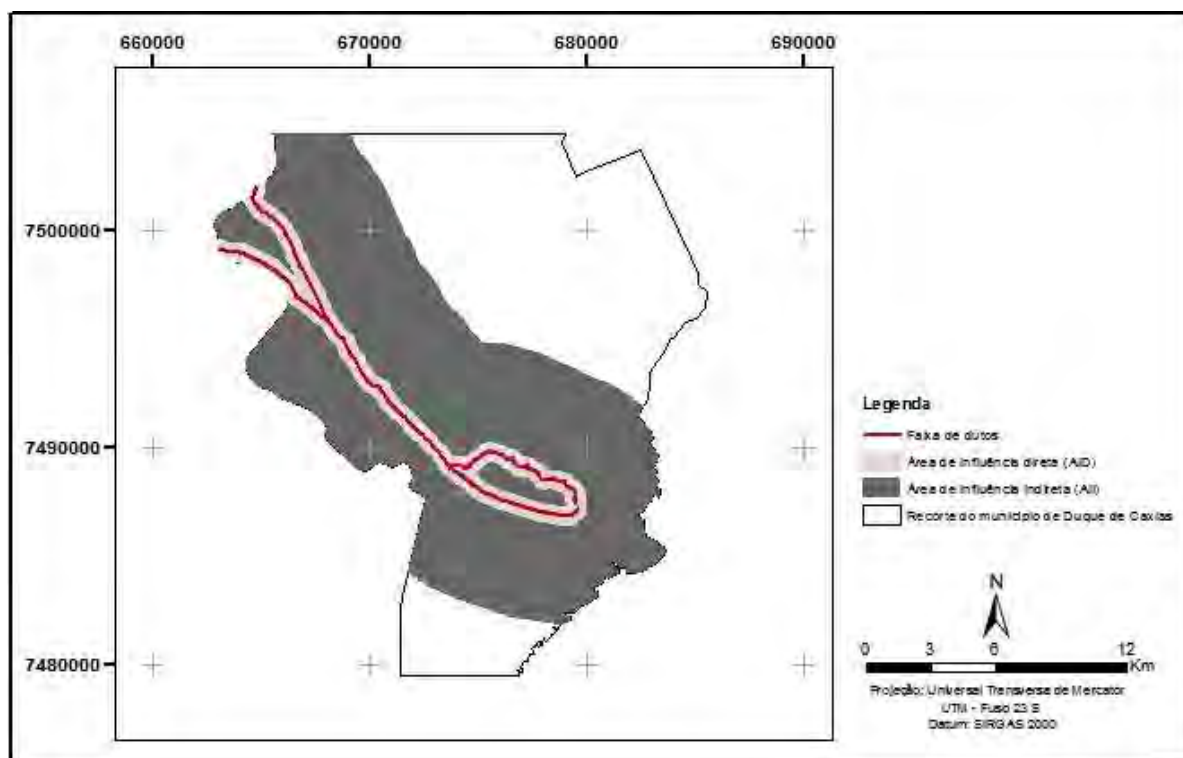
Os dutos ou dutovias, segundo a portaria ANP nº 125 de 2002, podem ser definidos como condutos fechados destinados ao transporte ou transferência de petróleo e seus derivados, gás natural, álcool e produtos químicos por grandes distâncias. Considerando o tipo de produto transportado, as dutovias podem ser classificadas como oleoduto, gasoduto ou poliduto (CETESB, 2009).

Em relação às características de construção deste empreendimento, elas são muito superficiais e envolvem, geralmente, apenas o horizonte de solo e a rocha decomposta. As dutovias têm como principal propriedade a linearidade, aspecto muito significativo em um país continental como o Brasil, pois estes traçados podem atravessar milhares de quilômetros e cruzar diferentes contextos geológicos e morfológicos. Deste modo, nota-se que os empreendimentos dutoviários adquirem proporções grandiosas, tanto em termos logístico e ambiental, como de conservação durante a operação (NOGUEIRA JUNIOR e MARQUES, 1998).

Além destes aspectos, existem áreas que estão sob a influência direta ou indireta dos dutos. Segundo o artigo 5º da resolução Conama 001/86, os relatórios ambientais de dutos definem as áreas de influência direta (AID) e indireta (AII) do empreendimento, como base para o desenvolvimento dos estudos ambientais. A AID é uma faixa de 400 metros para os dois lados do duto, exposta aos impactos diretos da operação do duto e é utilizada para o estudo do risco geotécnico. A AII engloba uma faixa de 5 quilômetros para ambos os lados do duto e corresponde a área que potencialmente estará sujeita aos impactos indiretos da operação do duto. Ela será utilizada para o estudo dos meios físicos e bióticos.

Neste trabalho serão consideradas as AID e AII, além do recorte da área do município de Duque de Caxias, para a análise da influência da expansão urbana na faixa de dutos (Figura 8).

Figura 8 - Áreas de influência do duto.



4.2 O contexto dos dutos no Brasil

O início das atividades petrolíferas no Brasil é marcado pela criação do Conselho Nacional do Petróleo – CNP, pelo Decreto-Lei nº 395, de 1938. Este decreto instituía a nacionalização destas atividades no Brasil e nomeava o CNP como o órgão responsável pela regulamentação, supervisão e execução de todas as atividades. Porém, as atividades petrolíferas no país só ganharam impulso a partir da criação da estatal Petróleo Brasileiro S/A – Petrobras, em 1953 (TERZIAN, 2005).

Por deter o monopólio de exploração do petróleo no Brasil até 1997, a Petrobras foi responsável pela construção da maior parte da malha dutoviária no país. No entanto, a maioria das atividades de transporte e armazenamento de petróleo e derivados, biocombustíveis e gás natural estão sob responsabilidade de sua subsidiária, a Petrobras Transporte S. A. – Transpetro, de acordo com regulamentação do art. 65º da Lei Federal 9.478 de 1997.

Deste modo, é responsabilidade da Transpetro administrar uma rede de transporte de combustíveis com mais de 11 mil quilômetros de dutos, a qual interliga o sistema Petrobras de exploração, refino e escoamento de seus produtos, além dos terminais e a frota de navios petroleiros. A forma mais viável e preferencial para o transporte do petróleo e seus derivados

para os grandes centros consumidores e para o abastecimento das refinarias são os oleodutos, devido a sua segurança, agilidade e capacidade de fluxo na movimentação dos produtos (TRANSPETRO, 2009).

Em relação à rede de oleoduto administrada pela Transpetro, ela encontra-se dividida em quatro gerências regionais, sendo elas Sul, São Paulo, Centro Oeste e Norte/Nordeste/Sudeste, as quais são responsáveis também pelas estações de bombeamento e pelos terminais terrestres (TRANSPETRO, 2009).

4.3. Geotecnologias

Geotecnologias podem ser definidas como o uso de técnicas computacionais para o estudo do espaço geográfico, constituindo uma das principais ferramentas para a gestão de riscos. São especialmente representadas pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), pelo Sensoriamento Remoto (imagens de satélite) e o Sistema de Posicionamento Global (GPS). As geotecnologias permitem a coleta, armazenamento e análise de grande volume de dados, o qual seria praticamente inviável de ser tratado por meio da utilização de métodos analógicos e/ou tradicionais (MARCELINO, 2008).

Com o auxílio desta ferramenta, as informações podem ser produzidas e manipuladas em um curto intervalo de tempo, bem como a custos baixos. Podem-se combinar dados espaciais de diversas fontes com o intuito de analisar as interações existentes entre as variáveis envolvidas no estudo, além de permitir a elaboração de modelos preventivos e proporcionar o suporte para as tomadas de decisões (BONHAM-CARTER, 1996).

Segundo Rosa (2005), as geotecnologias também podem ser reconhecidas como “geoprocessamento”, e configuram-se como “o conjunto de tecnologias para a coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica” (p. 81). Ao se trabalhar com o geoprocessamento, deve-se entender que as informações temáticas estão vinculadas à superfície terrestre através de um sistema de coordenadas.

No que concerne o monitoramento de riscos ao longo de faixas de dutos, o uso das geotecnologias apresenta-se como uma ferramenta fundamental, devido às grandes extensões deste empreendimento e os diferentes e diversos contextos que eles atravessam. Estas características fazem com que o monitoramento dos potenciais riscos seja complexo e muitas vezes ineficaz e/ou inviável, quando realizado somente *in loco* (COSTA, 2010).

As geotecnologias empregadas no desenvolvimento do presente trabalho são representadas pelo Sensoriamento Remoto e pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o propósito de identificar na área de estudo a expansão urbana e os padrões de ocupação das áreas de expansão no decorrer de um período de 23 anos, visando à segurança da faixa de dutos.

4.3.1. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser caracterizado como a ciência e arte de se obter informações sobre um determinado objeto, área ou fenômeno, por meio da utilização de um equipamento que não esteja em contato com os elementos selecionados (LILLESAND e KIEFFER, 1979). Novo (2008) define sensoriamento remoto:

“como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 2008, p. 4).

Em relação aos sistemas sensores, estes são responsáveis pela conversão da energia derivada dos objetos para registros na forma de imagem ou gráfico que combinem a distribuição das interações existentes em suas propriedades químicas, físicas, geométricas ou biológicas. Algumas degradações da informação podem ocorrer durante o processo de conversão, exigindo a aplicação de algoritmos para correções geométricas e radiométricas. (NOVO, 2008).

O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta importante e eficiente na aquisição de dados que possibilitem a análise de áreas extensas em um intervalo de tempo curto, quando comparado ao monitoramento por terra ou outros sistemas. As dutovias, por possuírem consideráveis extensões territoriais e atravessarem regiões com aspectos físicos e socioeconômicos diversos, exigem que haja um monitoramento das atividades que podem ocasionar riscos à integridade deste empreendimento, considerando que estes transportam produtos que podem causar impactos à sociedade e ao meio ambiente. As informações obtidas e analisadas através do sensoriamento remoto devem ser verificadas em campo para conferir a veracidade destas informações (ROSSI, 2010).

Estudos comparativos entre diferentes cenários podem ser efetuados através do imageamento multitemporal da superfície terrestre, por meio de produtos de sensoriamento remoto, os quais irão auxiliar na observação de fenômenos superficiais dinâmicos. Assim, para observação e identificação das diferenças no estado ou comportamento de determinado objeto ou fenômeno, em intervalos de tempos distintos, utiliza-se das técnicas de detecção de mudanças (SINGH, 1989).

De acordo com Lu et al. (2004), as técnicas de detecção de mudanças são aptas a identificar as áreas com mudanças, quantificá-las e apontar a trajetória das mesmas na superfície do planeta. A aplicação mais convencional destas técnicas refere-se à detecção de mudanças na cobertura vegetal, uso da terra, danos florestais, áreas urbanas, culturas, detecção de áreas de deslizamentos, mudanças na paisagem e queimadas.

4.3.1.1. Técnicas de Detecção de Mudanças

Segundo Ferreira (2009), a visão integradora do espaço e a capacidade de aquisição repetitiva da informação, colocam os produtos de sensoriamento remoto em posição de destaque como fontes de informação no processo de detecção de mudanças.

As técnicas de detecção de mudanças podem ser agrupadas de acordo com as possibilidades dos resultados. Considerando a semelhança de trabalho dos métodos de processamento, Lu et. al. (2004) reúnem essas técnicas em seis categorias principais: Álgebra, Transformação, Classificação, Modelos Avançados, Sistema de Informação Geográfico (SIG) e Análises Visuais.

No trabalho de Ferreira (2009), essas categorias são descritas detalhadamente, iniciando com a Álgebra, que abrange técnicas de razão de imagem, imagem diferença, diferença de índices de vegetação, etc. e conta, para a determinação das áreas que mudaram e não mudaram, com o estabelecimento de um limiar. Na categoria Transformação, são reunidas as técnicas de análise das principais componentes, *gramm shimidt* e *chi-square*, e apresenta um comportamento semelhante à Álgebra, tendo como vantagem o destaque das informações diferentes nas componentes derivadas e a redução da redundância de informação entre as bandas da imagem.

Sobre a Classificação, terceira categoria descrita por Lu et al. (2004), estão incluídas as técnicas de comparação de resultados de classificação supervisionada e não supervisionada, análises espectro temporais, redes neurais e outros métodos híbridos de detecção de mudanças. A seleção das amostras de treinamento para uma análise multitemporal influi

diretamente na qualidade dos resultados, da mesma forma que requer bastante tempo do usuário. Ferreira (2009) aponta que o ponto positivo dessa categoria é a obtenção de uma completa matriz de mudança pelo usuário e a redução do impacto causado pelas diferenças atmosféricas e do meio, entre imagens de diferentes datas. Entretanto, os erros cometidos nessa etapa irão ser ampliados ao longo de todo processo.

No que se refere à categoria denominada por Lu et al. (2004) de Modelos Avançados, ela é composta pelos métodos de modelo de refletância de Li Strahler, modelo espectral de mistura e modelos elaborados através de parâmetros biofísicos. A dificuldade de se utilizar esta técnica, conforme Ferreira (2009), é que ela demanda muito tempo para a determinação correta dos modelos de conversão, os quais irão converter, através dos métodos propostos nesta categoria, os valores da imagem refletância em parâmetros físicos básicos, através de modelos lineares e não lineares.

A quinta categoria, tratada por Lu et al. (2004), é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), composta por métodos de detecção de mudança que integram ferramentas de análise espacial, presentes nos SIG's, e os métodos e produtos do sensoriamento remoto, os quais permitem que se utilizem informações de diversas fontes de dados, do mesmo modo que atrela seu desempenho à qualidade e precisão das diferentes fontes de informação.

A última categoria descrita é a Análise Visual, a qual contém os trabalhos em que se emprega a interpretação visual e a extração manual das áreas de mudanças. Como aponta Ferreira (2009), a experiência do usuário é a principal ferramenta dos métodos dessa categoria e por ele fazer uso de conjuntos muito complexos para implementação computacional, como textura, forma e tamanho, acaba por consumir muito tempo, o que torna este método inviável para extensas áreas. Deste modo, visando organizar e integrar a gama de dados provenientes dos produtos orbitais e de seu processamento, bem como as análises que se pretende executar e os produtos que serão gerados, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) é de suma importância.

Dentre os procedimentos de detecção de mudanças apresentados, o modo mais comum é através de análises visuais. Neste procedimento, dotado de certo grau de subjetividade, analisam-se as imagens após a classificação, o que exige que o analista seja experiente no momento de seleção e aquisição das amostras, para que estas sejam confiáveis. Este tipo de análise apresenta a vantagem de permitir a extração de características e feições não consideradas em métodos computacionais, como alguns elementos de interpretação de imagens, que são consideradas importantes em análises regionais. Como desvantagem, pode-

se comentar o problema da dimensão da área de estudo e o tempo que seria necessário empregar para a aquisição das amostras.

Os elementos de interpretação de imagem, segundo Jensen (2009), compreendem a cor e tonalidade, a localização, a forma, o tamanho, a textura, a sombra, o padrão, a altura e profundidade, volume, declividade, aspecto, sítio, situação e associação. O bom treinamento de um intérprete de imagens requer que este seja capaz de utilizar de maneira integrada os elementos de interpretação, ao invés de analisá-los individualmente, acarretando assim melhores resultados e uma menor incidência de erros de interpretação.

De acordo com Jensen (1996), o sucesso no processo de detecção de mudanças, o qual oferece subsídios para a análise de dados adquiridos de maneira multitemporal, é obtido através da execução das etapas descritas a seguir:

- Objeto de estudo:
 - a) Definição da área de estudo;
 - b) Especificação da frequência da ocorrência do fenômeno;
 - c) Identificação das classes de uso e cobertura da terra;
- Desempenho da detecção de mudanças:
 - a) Considerações em relação ao sistema sensor: resolução temporal, espacial, espectral e radiométrica;
 - b) Considerações em relação ao meio ambiente: atmosfera, hidrosfera, litosfera e organismos.
- Processamento de imagens:
 - a) Obtenção de dados:
 - I) Levantamentos em campo ou *in situ*,
 - II) Sensoriamento remoto;
 - b) Pré-processamento de dados:
 - I) Correção geométrica,
 - II) Correção radiométrica;
 - c) Seleção de algoritmo/técnica de detecção de mudanças apropriada;
 - d) Aplicação de classificação de imagens, se necessário:
 - I) Supervisionada,
 - II) Não supervisionada,
 - III) Híbrida;
 - e) Avaliação do desempenho da técnica de detecção de mudanças:
 - I) Uso de matrizes de detecção de mudanças,

- II) Geração de mapas de mudanças,
- III) Cômputo de dados estatísticos.
- Garantia de qualidade e controle do programa:
 - a) Avaliação da precisão estatística:
 - I) Classificação individual dos dados,
 - II) Produtos da detecção de mudanças.
- Distribuição dos resultados:
 - a) Produtos digitais;
 - b) Produtos analógicos.

4.3.1.2. *Análise visual*

A interpretação visual de imagens orbitais consiste na extração de informações sobre objetos da superfície terrestre, tendo por referência suas respostas espectrais (MOREIRA, 2005). Observar a Terra de uma perspectiva aérea possibilita a identificação de objetos e padrões e permite que se façam inter-relações sobre feições humanas que talvez não pudessem ser plenamente compreendidas se ficassem restritas a uma perspectiva terrestre.

A obtenção das informações dos objetos da superfície terrestre sem entrar em contato direto com eles é o princípio básico do sensoriamento remoto. Sobre a aplicação dos dados de sensoriamento remoto para estudos urbano, Foresti e Pereira (1987) comentam que o espaço urbano é composto por diversos materiais como o asfalto, o concreto, as coberturas cerâmicas e metálicas dos edifícios, os vários tipos de vegetação e as áreas sem cobertura. Assim, a utilização das técnicas de sensoriamento remoto sobre o conjunto destes materiais, que no espaço urbano ocorrem em pequenas áreas, ou seja, possuem um contexto muito variado em uma pequena proporção do espaço, resultam em variações de tonalidades, texturas, formas, organização e padrões consideravelmente complexos.

Para solucionar esta questão utilizam-se os princípios de interpretação de imagens. Esta interpretação é usualmente feita por análise visual, técnica que permite a identificação de detalhes, especialmente em estudos urbanos. (LUCHIARI, 2001). Dentre estes princípios, o mais elementar corresponde aos elementos de interpretação de imagens que são utilizados no processo de fotointerpretação, sendo eles: localização, tamanho, forma, sombra, tom e cor, textura, padrão, altura, profundidade e sítio, situação e associação.

O elemento localização refere-se ao local onde o objeto está situado e sua dinâmica de associação com as áreas e atividades do entorno. O tamanho pode ser compreendido, segundo

Moreira (2001), como sendo um dos elementos primordiais para a diferenciação e identificação dos objetos e pauta-se na variação do tamanho destes. O elemento forma corresponde ao contorno que um objeto apresenta na superfície terrestre e é uma característica significativa para auxiliar o intérprete na sua identificação, quando este observa uma fotografia ou uma imagem de satélite. Deve-se considerar que muitos objetos possuem formas mais ou menos definidas e conhecidas pelo usuário. Além disto, outras características que agregam o elemento forma e auxiliam na interpretação dos objetos é o tamanho, peso, onde é usado e etc. (MOREIRA, 2001).

Outro atributo importante para auxiliar na identificação de diferentes objetos nas imagens de satélite, descrito por Moreira (2011) é a sombra, o qual, apesar de útil para a interpretação de determinados objetos, pode ser muito prejudicial, quando o sombreamento é provocado pelo relevo ou por presença de nuvens no local de estudo. Já o elemento tonalidade refere-se às diferentes quantidades de energia refletida pelos objetos da superfície da Terra e foi estabelecido em níveis de cinza, os quais englobam valores que variam de Zero (muito escuro) a 255 (muito claro). Assim, cada número representa uma quantidade de tom de cinza. É muito comum dizermos “tonalidade alta ou baixa” para referir a um objeto bastante claro ou escuro (MOREIRA, 2001).

Os dois últimos elementos que são guias para interpretação das imagens de satélite são cor e padrão. O primeiro é muito empregado no lugar de tonalidade, porque os olhos do ser humano estão muito mais habituados a enxergar objetos coloridos do que em tons de cinza. Assim, os objetos que refletem mais serão representados em cores mais intensas, enquanto que os que refletem menos em cores menos intensas. Por fim, o elemento padrão é uma característica muito importante utilizada para interpretação visual de imagens de satélites, pois revelam, como o próprio nome já diz, características representativas da área que de tão marcantes acabam configurando um padrão, como por exemplo o padrão de drenagem (MOREIRA, 2001).

Deste modo, com base nestes elementos, podem-se analisar visualmente as imagens de satélite e delas extrair as informações e interpretações sobre os objetos que configuram a superfície terrestre.

4.3.4. Análise digital – Classificação de imagens

A classificação digital de imagens caracteriza-se pela distinção e identificação de diferentes classes que possuem comportamentos espectrais diferenciados, que irão permitir a

sua classificação automatizada, e de extensas áreas. Para realização desse processo, faz-se uso de classificadores para extrair as feições de interesse a partir de um espaço multidimensional, geralmente representado pelas bandas da imagem, criando um único nível de informação temática, as classes.

De acordo com a unidade de análise, os métodos de classificação digital podem ser divididos em dois grupos: pixel a pixel e por regiões. A abordagem pixel a pixel trabalha diretamente com o número digital do pixel, enquanto a abordagem por regiões atua a partir do agrupamento de pixel.

4.3.3.1. Classificação pixel a pixel

A técnica de classificação pixel a pixel considera a informação espectral, isoladamente, de cada pixel da imagem. Isso consiste em atribuir cada pixel de uma imagem a uma classe temática. Esta atribuição é realizada a partir de observações da resposta espectral do pixel em si e na sua vizinhança. A classificação pauta-se no agrupamento de valores de intensidade espectral, representados pelos números digitais presentes na imagem e apresenta resultado satisfatório na indicação de tipos de cobertura caracterizados apenas por variações de intensidade (CRÓSTA, 1992).

Os classificadores supervisionados e os não supervisionados compõem os processos de classificação digitais. Os classificadores supervisionados caracterizam-se pelo fornecimento de informações, pelo usuário, por meio de amostras de treinamento que representam a variação espectral de cada classe. Já os não supervisionados, utilizam de algoritmos para identificar e classificar os objetos ou regiões distintas da imagem.

4.3.3.2. Classificação supervisionada

A classificação supervisionada configura-se como o procedimento habitualmente utilizado para extração de informação a partir de imagens, baseando-se em algoritmos que irão identificar os pixels segundo as classes previamente definidas. As classes devem refletir uma necessidade de análise do usuário, o qual necessita selecionar amostras de treinamento através de um conhecimento prévio da área que pode ser obtido através da interpretação da imagem, visitas de campo, mapas, entre outros. Os principais algoritmos para classificação supervisionada são: paralelepípedo, mínima distância, máxima verossimilhança e redes neurais (MATHER, 1987; RICHARDS, 1993; JENSEN, 1996).

De acordo com o método adotado, haverá uma relação direta entre a precisão do conjunto de técnicas com a representatividade e coerência das amostras de treinamento adquiridas. Em relação às formas de análise das amostras, a mais comum é através de uma matriz de confusão produzida a partir da classificação aplicada apenas sobre as amostras (MATHER, 1987).

4.3.3.3. Classificação não supervisionada

Como auxílio ao método supervisionado ou para realização de uma primeira análise da imagem, frequentemente se utiliza a classificação não supervisionada, pois as classes criadas dificilmente irão representar as classes de interesse. Baseia-se em limiares de similaridade para realização dos agrupamentos de pixels. O usuário, de acordo com algumas técnicas, necessita informar o número de classes a serem criadas, além de precisar nomear as classes após a classificação. Os principais algoritmos para classificação não supervisionada são: K-médias, ISODATA, Fuzzy c-médias, Fuzzy ISODATA e classificação hierárquica.

4.3.3.4. Classificação por regiões

A classificação por regiões caracteriza-se pela identificação e rotulação, como uma classe, dos polígonos que têm mesma similaridade de níveis de cinza. Para cada classe o algoritmo confere uma cor específica (MOREIRA, 2005). A classificação por regiões pode operar de forma supervisionada ou não, da mesma forma que os classificadores pixel a pixel.

Os classificadores por regiões empregam, como critério de decisão, a informação espectral de cada pixel da imagem e a informação espacial que compreende a relação entre o pixel e seus vizinhos (MOREIRA, 2005; SANTOS et. al., 2007). Esses classificadores buscam simular o comportamento de um fotointérprete no reconhecimento das áreas homogêneas nos dados orbitais, através das propriedades espectrais e espaciais dessas áreas na imagem.

Inicialmente, segundo Moreira (2005), para separação das regiões, utiliza-se a informação de borda. As áreas com mesma textura são agrupadas por suas propriedades espaciais e espectrais. A grande vantagem de classificar regiões é que o número de variáveis avaliadas na classificação pode aumentar, considerando, além dos dados espectrais, parâmetros de forma, textura e associação entre objetos (SANTOS et. al., 2007). Essa técnica divide-se em quatro fases: segmentação, extração de regiões, classificação e mapeamento.

4.3.4. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O Sistema de Informação Geográfica é uma ferramenta que possibilita o tratamento computacional de dados geográficos e a recuperação de informações através de sua localização espacial e suas características alfanuméricas. Esta tecnologia surgiu em 1964, no Canadá, e teve seu desenvolvimento atrelado à evolução dos computadores, uma vez que estes adquiriam potência, os SIGs se aperfeiçoavam e sofisticavam-se. A utilização desta ferramenta permite que o usuário obtenha uma visão única e integrada de sua área em estudo. Nela, todos os dados e informações disponíveis a respeito de determinado assunto estarão ao alcance do usuário, bem como inter-relacionadas de acordo com a localização geográfica (CÂMARA, 2005).

O principal objetivo de um SIG, para Bonham-Carter (1994), é funcionar como uma ferramenta de suporte à decisão pautado em informação espacial que permita abranger às mais diferentes áreas do conhecimento. O SIG difere de qualquer outro sistema de informação por sua capacidade de armazenamento da geometria dos diversos dados geográficos, como também dos atributos descritivos. O SIG possibilita a integração de dados de diversas fontes, além de facilitar a realização de análises complexas devido a sua propriedade de automatizar funções que antes eram executadas manualmente. Sendo assim, esta ferramenta é capaz de capturar, armazenar, analisar, transformar, integrar e apresentar da melhor forma possível os dados geográficos (CÂMARA, 2005).

No que se refere ao processo de monitoramento dos meios físico e antrópico em áreas do entorno das faixas de dutos, o SIG apresenta-se como um elemento fundamental, pois viabiliza este processo uma vez que ao ser instalado, os dutos podem sofrer influência do ambiente, bem como causar impactos sobre o mesmo. Deve-se considerar também a diversidade de formas de ocupação e contextos geológicos e morfológicos que estas faixas atravessam, bem como sua extensão, atrelando estes fatores ao benefício que esta ferramenta pode proporcionar no custo e tempo de monitoramento.

Quando associado ao uso de produtos de sensoriamento remoto, o SIG oferece ampla contribuição no monitoramento das faixas de dutos, pois irá possibilitar o acompanhamento das mudanças do uso da terra no entorno da faixa, além de auxiliar no reconhecimento de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de eventos naturais e consequente setorização das áreas de risco (FERREIRA, 2009).

4.4. Áreas Urbanas

A cobertura da terra, segundo Jensen (2009), corresponde aos materiais biofísicos encontrados sobre a superfície terrestre. O termo uso da terra caracteriza-se pelo modo como a terra é utilizada pelo homem. Em ambientes urbanos, a informação sobre a cobertura e uso da terra é fundamental para uma ampla variedade de aplicações, as quais incluem a seleção de locais para instalações residenciais, comerciais e industriais. Assim, com o auxílio do sensoriamento remoto, as informações urbanas coletadas para determinada aplicação pode ser útil para a outra (JENSEN, 2009).

Sobre o enfoque das áreas urbanas, este ambiente possui acentuada dinâmica e complexidade, sendo composto por diversos elementos inter-relacionados. A expansão urbana é um processo de conotação espacial com dimensão temporal, que pode ocorrer por diversos fatores. No presente projeto, a dinâmica socioeconômica acelerada pela presença de grandes parques industriais e pela proximidade com a capital do estado do Rio de Janeiro, são os fatores impulsionadores da expansão das áreas urbanas. Tendo em vista estas características de dinamicidade do fato urbano, é de fundamental importância seu estudo, para o monitoramento das faixas de dutos.

Outra característica relevante em relação à expansão urbana é o tipo de residências predominantes nessas áreas. Compreender como é a dinâmica periférica das cidades e os tipos de ocupação, contribui para esboçar um panorama socioeconômico e ambiental dessas áreas. Deste modo, segundo Rossini (2001), pode-se afirmar que a distribuição das áreas residenciais, industriais, comerciais, e das vias de acesso determina o padrão de uso do solo urbano, que por sua vez, configura a forma de expansão urbana. Também nota-se uma similaridade na ocorrência dos fenômenos urbanos, os quais possuem “tendência à aglomeração de pessoas e atividades, buscando a maior proximidade possível entre todas as funções urbanas para facilitar a cooperação” (ROSSINI, 2001, p. 22).

Em relação ao crescimento físico das cidades, Villaça (1998) discorre sobre a alta influência das vias de comunicação (ferrovias e rodovias) neste processo. O mesmo autor aponta que, as ferrovias desencadeiam um crescimento descontínuo e bastante nucleado junto às estações, enquanto que as rodovias, especialmente as expressas, configuram um crescimento mais rarefeito, descontínuo e menos nucleado que o das ferrovias. Este fato se deve as diferenças de acessibilidade oferecidas pelos dois tipos de vias, sendo a acessibilidade na rodovia situada em qualquer ponto e na ferrovia concretizada nas estações.

No que se refere ao espaço urbano, este passou a ser designado como espaço intra-urbano, para evitar confusões com os conceitos e metodologias adotados em relação aos estudos regionais. O espaço intra-urbano é

“(...) estruturado pelas condições de deslocamento do ser humano, seja enquanto portador da mercadoria força de trabalho, como no deslocamento casa/trabalho, seja enquanto consumidor, reprodução da força de trabalho, deslocamento casa-compras, casa-lazer, escola, etc.” (VILLAÇA, 2001, p. 20).

O espaço urbano pode ser analisado sobre diferentes perspectivas. Uma forma de análise do espaço urbano, proposta por Anderson (1976), seria por categorias, na qual irá se denominar como terra urbana ou construída, áreas classificadas com uso intensivo e com grande parte da terra coberta por construções. Inserem-se nesta categoria, as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços de transporte, energia e comunicações, e outras como ocupadas por fábricas, shopping centers, complexos industriais e comerciais, e instituições que podem, em alguns casos, encontrar-se isoladas das áreas urbanas (ANDERSON, 1976).

No espaço urbano, segundo Rossini (2001), o crescimento desordenado e não planejado das cidades e a ocupação e a apropriação indevida do meio físico, desestruturam o equilíbrio ambiental. De acordo com o grau e a intensidade da intervenção da sociedade humana no meio, haverá a possibilidade de ocorrência de problemas tais como o aumento do assoreamento de canais, da instabilidade dos taludes, da susceptibilidade à erosão, dos deslizamentos, dentre outros. Portanto, “para ordenar racionalmente a ocupação do espaço, o planejamento necessita de informações sobre a tendência do crescimento urbano e do padrão de ocupação, bem como das características ambientais sujeitas a interferência humana” (ROSSINI, 2001, p. 26).

Ao passo que ocorre desenvolvimento, terras sujeitas a usos atípicos ou menos intensivos, podem se localizar no meio ou nas proximidades das áreas urbanas ou construídas e serão, geralmente, incluídas nesta categoria de análise proposta por Anderson (1976). A categoria Urbana ou Construída tem prioridade sobre as demais quando ocorrer o mesmo critério para mais de uma categoria. Na Tabela 5, encontram-se as classes e suas respectivas características, elaboradas por Anderson (1976) para classificação do uso e cobertura da terra urbana.

Tabela 5 - Características das classes presentes na categoria Urbana ou Construída.

Classes	Características
Residencial	O uso Residencial da terra varia de alta densidade, representada pelas estruturas de uso múltiplo dos núcleos urbanos, até baixa densidade, onde as casas se encontram em lotes de mais de um acre, na periferia da expansão urbana. Projetos urbanos residenciais lineares ao longo de autoestradas que irradiam de áreas urbanas devem ser incluídos como apêndices residenciais dos centros urbanos, tendo-se o cuidado de distingui-los das faixas comerciais na mesma localidade. As faixas residenciais, geralmente, possuem um tamanho e espaçamento uniformes das estruturas, vias lineares, e áreas gramadas; as faixas comerciais têm maior probabilidade de apresentar construções com tamanho e espaçamento diferentes, vias amplas, e áreas de estacionamento. Áreas de uso residencial esparso, tais como fazendas, serão incluídas nas categorias com as quais se relaciona, a não ser que esteja sendo utilizada uma escala de compilação adequada para indicar tais usos separadamente. Subdivisões residenciais rurais e de recreação, no entanto, são incluídas nesta categoria, uma vez que a terra é quase totalmente destinada a uso residencial, muito embora possa apresentar revestimento dos tipos florestal ou de pastagem.

Continuação Tabela 5

Classes	Características
Comercial e Serviços	Áreas comerciais são aquelas usadas predominantemente para a venda de produtos e serviços. Elas frequentemente confinam com usos residenciais, agrícolas, ou outros, o que ajuda a defini-las. Os componentes da categoria Comercial e Serviços são distritos de negócios de centros urbanos; shopping centers; geralmente em áreas suburbanas e periféricas; faixas de desenvolvimento comercial ao longo das principais rodovias e vias de acesso às cidades; depósito de sucata; estâncias; e assim por diante. As construções principais, estruturas secundárias, e áreas de suporte ao uso básico, são todas incluídas – escritórios, armazéns, estradas, galpões, estacionamentos, áreas paisagísticas e áreas de depósito de refugio.
Industrial	As áreas industriais compreendem uma ampla variedade de usos da terra, desde indústrias leves até usinas de indústria pesada.
Complexos industriais e comerciais	A categoria de complexos industriais e comerciais inclui aqueles usos industriais e comerciais da terra que, tipicamente, ocorrem juntos ou em proximidade funcional íntima. Tais áreas são geralmente descritas sob a denominação de “Parque Industrial”.

Fonte: Anderson (1976)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nos itens descritos a seguir serão especificados os materiais, a metodologia e as etapas utilizadas na elaboração e desenvolvimento deste trabalho.

4.1. Materiais

Os materiais utilizados para compor o banco de dados em ambiente SIG estão descritos no Quadro 1. Eles compõem parte dos dados de um projeto mais amplo denominado “Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento de riscos antrópicos em faixas de dutos – estudo de caso: Duto Orbel”, o qual conta com o financiamento da Petrobras. Com base no exposto, a área de estudo escolhida e a aquisição dos materiais necessários para realização deste estudo, estão atreladas aos objetivos e o orçamento do projeto supracitado.

Quadro 1 - Materiais utilizados.

Tipo	Descrição	Detalhes	Fonte
Imagem de Satélite	Satélite: Landsat 5; Data: Agosto/1987.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1:662587,27261; X2:685781,76157; Y1:7504492,51136; Y2:7479500; Resolução: 30 m	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011)
Imagem de Satélite	Satélite: Landsat 5; Data: Julho/1998.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1:662587,27261; X2:685771,145938; Y1:7504485,72877; Y2:7479500; Resolução: 30 m	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011)
Imagem de Satélite	Satélite: RapidEye; Data: Abril/2010.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1:662587,27261; X2:685767,27261; Y1:7504500; Y2:7479500; Resolução: 6,5 m (nadir) e 5 m para ortoimagens	RapidEye (2010)
Imagem de Satélite	Satélite: Landsat 5; Data: Julho/2010.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1:662587,27261; X2:685752,95449; Y1:7504498,50496; Y2:7479500; Resolução: 30 m	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011)
Imagem de Satélite	Satélite: GeoEye; Data: Julho/2010.	Coordenadas UTM do retângulo envolvente (Fuso 23S): X1:660061,73230; X2:676614,23230; Y1:7503593,44302; Y2:7485871,44302; Resolução: 0,5 m MS e 0,5 m PAN	GeoEye (Base para o registro) (2010)

Continuação Quadro 1

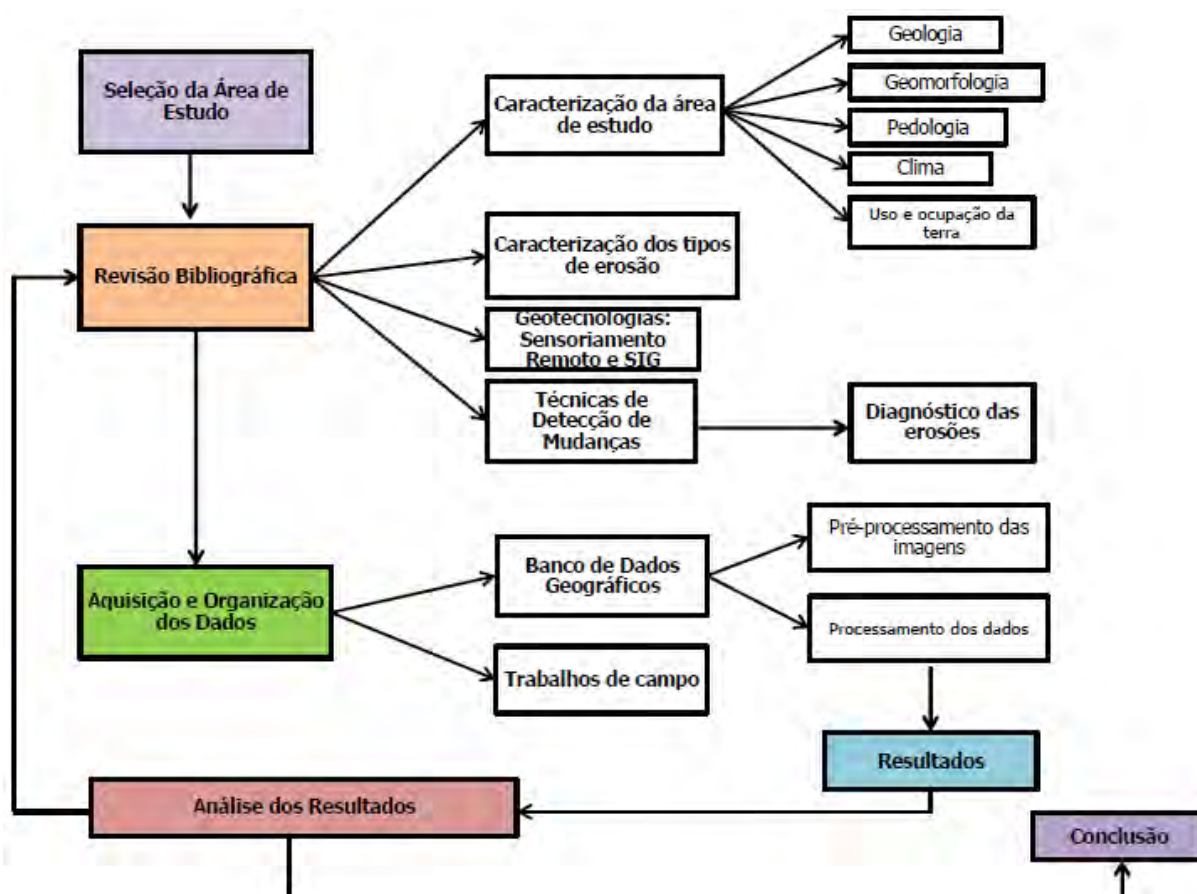
Tipo	Descrição	Detalhes	Fonte
Carta Topográfica	Folha: Vila Militar; Código: SF-23-Z-B-IV-3 Data: 1966	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:50.000.	Diretoria de Serviço Geográfico – DSG
Mapa	Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:400.000.	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (2000)
Mapa	Unidade do Relevo do Estado do Rio de Janeiro	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:400.000.	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (2000)
Mapa	Sistemas de Relevo do Estado do Rio de Janeiro	Formato: Digital/Raster; Escala: 1:250.000	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (2000)
Carta	Geológica do Brasil ao milionésimo; Folha: SF.23; Data: 2004.	Formato: Digital/Vetor; Escala: 1:1.000.000.	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (2000)
Mapa	Traçado Faixa de Dutos (Rio – Belo Horizonte)	Formato: Digital/Vetor; Escala: 1:30.000.	Petrobras Transporte S.A.
Mapa	Área dos municípios.	Formato: Digital/Vetor; Escala: 1:500.000.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Utilizou-se o software ArcGis 10 (ESRI, 2010) para realização das etapas de processamento, correção e análise dos dados.

4.2. Métodos e etapas do trabalho

Com o propósito de detectar as mudanças ocorridas ao longo do tempo na área de estudo selecionada, foi escolhida a técnica de análise visual para identificação, avaliação e quantificação das áreas de expansão urbana, bem como para a caracterização dos padrões de ocupação nas áreas de expansão encontradas. As etapas do trabalho são exemplificadas no fluxograma da Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma das etapas de trabalho.



4.2.1. Aquisição e organização dos dados

Os dados relativos à área de estudo selecionada foram estruturados em um banco de dados geográficos para que todas as informações ficassem agrupadas para facilitar o acesso e gerenciamento destes dados, bem como para possibilitar o estabelecimento das análises.

Em relação às imagens obtidas, podem ser visualizadas no Quadro 2, as suas principais propriedades.

Quadro 2 - Dados nominais dos sensores ópticos.

Satélite	Data	Sensores Ópticos	Bandas	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Tamanho das cenas (km)
LANDSAT 5	Ago. 1987 Jul. 1998 Jul. 2010	TM	B1	0,45 – 0,52	30	16	185 x 172
			B2	0,52 – 0,60			
			B3	0,63 – 0,69			
			B4	0,76 – 0,90			
			B5	1,55 – 1,75			
			B7	2,08 – 2,45			
			B6	10,4 – 12,5			
RAPIDEYE	Abr. 2010	REIS	1	0,44 – 0,51	6,5 (nadir) e 5 para ortoimagens	24 horas (off-nadir) e 5,5 dias (nadir)	77,25
			B2	0,52 – 0,59			
			B3	0,63 – 0,69			
			B4	0,69 – 0,73			
			B5	0,76 – 0,88			
GEOEYE	Jul. 2010	MS	B1	0,45 – 0,51	1,65	3	15,2
			B2	0,51 – 0,58			
			B3	0,65 – 0,69			
			B4	0,78 – 0,92			
		Pan	Pan	0,45 – 0,80	0,41		

Fonte: NASA (2011); RapidEye (2011); GeoEye (2011).

5.2.1.2. Banco de dados geográficos

Para a elaboração de desenvolvimento do presente trabalho, organizou-se um banco de dados geográficos no Arcgis 10 (ESRI, 2010), com o propósito de elencar as informações e agrupá-las de maneira a facilitar o acesso e a manipulação destes dados. Neste banco foram inseridas as imagens Landsat das três datas selecionadas, os polígonos da expansão urbana e as imagens RapidEye e GeoEye.

5.2.2. Pré-processamento das imagens

Nesta etapa, foi executada a digitalização da carta topográfica Vila Militar, descrita no Quadro 3, no contexto do projeto mais amplo. Deste processo, extraíram-se as curvas de nível, pontos cotados e drenagem, os quais foram armazenados em formato vetorial para posteriormente serem utilizados em outras fases do trabalho.

No procedimento de pré-processamento dos dados, basicamente foi realizada a correção geométrica, também denominada de ortorretificação e/ou registro das imagens adquiridas. O princípio do registro das imagens é garantir que as imagens estejam georreferenciadas para que seja possível detectar as mudanças ocorridas ao longo do tempo.

5.2.2.1. Ortorretificação e/ou registro de imagens

O registro das imagens do satélite Landsat 5 foi realizado no software ArcGis 10 (ESRI, 2010). O procedimento de registro de uma imagem acontece através de transformações relacionadas à rotação e translação da mesma a fim de que ela se ajuste a uma imagem já ortorretificada. A realização deste processo pautou-se na seleção de pontos de controle e na identificação destes entre a imagem a ser registra e a imagem de referência para o registro e a aplicação de um modelo matemático computacional (JENSEN, 1996).

Os pontos de controle escolhidos seguiram duas recomendações importantes: estavam ao nível do solo, para diminuir as distorções inerentes ao ângulo de aquisição da imagem e os pontos foram distribuídos homogeneamente por toda a imagem.

Os produtos disponíveis no catálogo de imagens do INPE já haviam passado por procedimentos de correção, apresentando apenas um pouco de deslocamento espacial. Devido este fato, não houve necessidade de aquisição de muitos pontos de controle. O procedimento de registro iniciou-se com as imagens Landsat dos anos de 1987, 1998 e 2010 e foi realizado com base na imagem de referência GeoEye de julho de 2010, sendo processado no software ArcGis 10 (ESRI, 2010). Foram coletados 11 pontos para cada cena.

O erro obtido no procedimento de registro das imagens Landsat 5 de 1987, 1998 e 2010 foi inferior a 10 metros , como pode ser verificado nas Tabelas 6, 7 e 8. Este erro é considerado adequado dentro dos padrões cartográficos, pois está abaixo do valor da metade da resolução espacial do satélite, no caso do Landsat, inferior a 15 metros. Como o presente trabalho insere-se dentro de um projeto mais amplo, a imagem RapidEye já estava georreferenciada e este procedimento foi executado por outro membro da equipe. No pré-processamento desta imagem apenas aplicou-se um ajuste em relação às imagens Landsat.

Tabela 6 - Coordenadas Planas, WGS-84, em metros, dos pontos de controle coletados no software Arcgis da imagem Landsat/1987.

Pontos	X	Y
1	670053.885692	7487609.495355
2	669228.184470	7491636.447244
3	662841.903799	7496565.059793
4	666306.035547	7496545.555582
5	670402.127217	7493407.732030
6	671746.397402	7489024.883481
7	674348.040398	7487794.071281
8	667933.835759	7489686.182523
9	674419.725323	7488756.879618
10	662423.394220	7498869.382538
11	663067.771070	7495416.035668
Erro = 9,41309		

Tabela 7 - Coordenadas Planas, WGS-84, em metros, dos pontos de controle coletados no software Arcgis da imagem Landsat/1998.

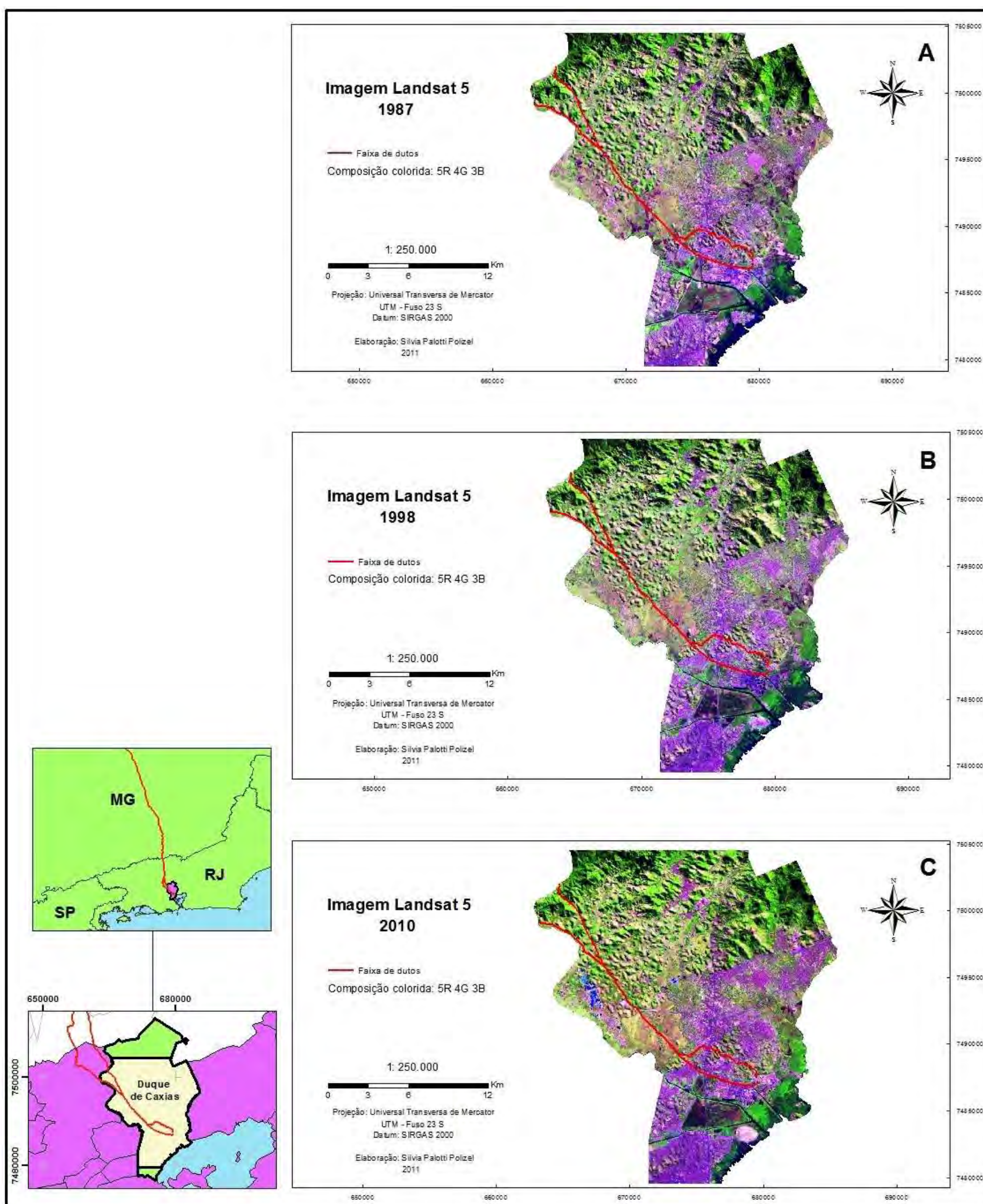
Pontos	X	Y
1	663596.171347	7497515.744418
2	669769.274473	7493739.306669
3	668203.092988	7498174.940844
4	667595.034222	7497354.235681
5	670935.221370	7495476.091473
6	674869.623444	7489902.426671
7	673999.976342	7491340.767223
8	668915.432357	7492771.082841
9	662646.533601	7501102.092410
10	670219.855571	7489539.360836
11	672260.617033	7491130.522726
Erro = 9,70766		

Tabela 8 - Coordenadas Planas, WGS-84, em metros, dos pontos de controle coletados no software Arcgis da imagem Landsat/2010.

Pontos	X	Y
1	674707.935963	7490842.930060
2	664250.541020	7496228.993193
3	669594.518295	7494675.349577
4	670721.039403	7489836.245340
5	672098.347914	7492071.708798
6	674153.582081	7492540.699124
7	668857.381251	7493908.671130
8	667999.040377	7499108.051770
9	662547.477709	7500314.981744
10	672118.635115	7488528.982754
11	665474.720111	7498301.493866
Erro = 9,86294		

Como resultado deste procedimento, podem ser visualizadas as imagens Landsat 5 registradas, dispostas na Figura 10, a seguir.

Figura 10 - Imagem Landsat 5 da área de estudo: A) 1987 B) 1998 C) 2010.



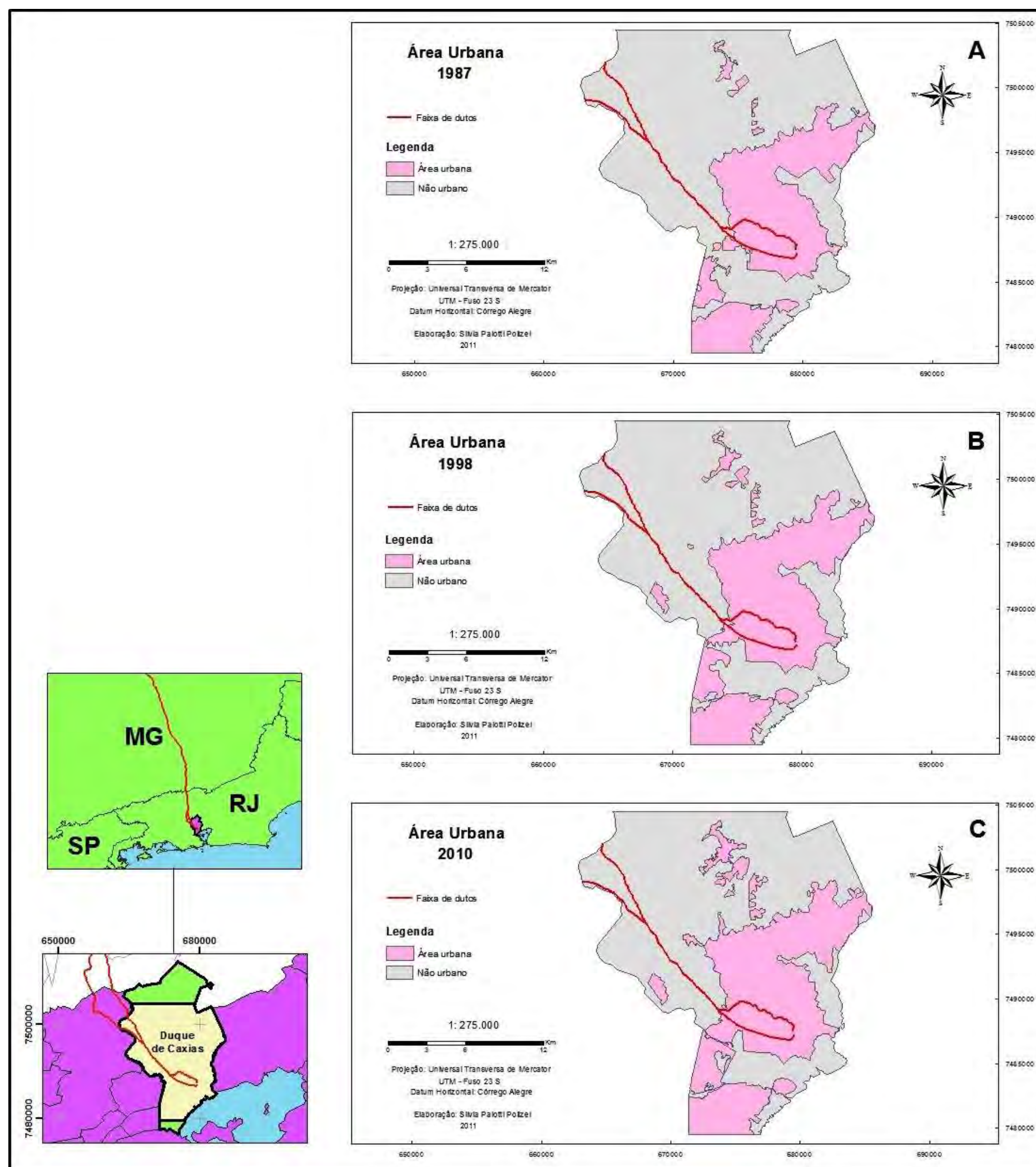
Além do registro das imagens, foi realizado o mosaico das duas cenas RapidEye de abril de 2010 também no software ArcGis, para obtenção do recobrimento da área em estudo. Este procedimento consiste na união das duas cenas para geração de apenas uma imagem. Devido à boa correspondência com a imagem base, não foi necessário o ajuste fino.

5.2.3. Processamento dos dados

5.2.3.1. Classificação de imagens para uso e ocupação da terra por análise visual

O processo de classificação das imagens adquiridas baseou-se na interpretação visual e digitalização manual das feições urbanas diretamente na tela. Os critérios utilizados foram cor/tonalidade, tamanho, padrão/organização e forma. A extração das informações foi feita de forma manual, efetuada diretamente sobre as imagens digitais das datas selecionadas dos satélites Landsat 5 e do RapidEye e depende principalmente da experiência do fotointérprete. Primeiramente, extraiu-se a área urbana do município de Duque de Caxias das três datas das imagens Landsat 5 obtidas, como pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 - Evolução temporal da área urbana do município de Duque de Caxias (RJ): A) 1987 B) 1998 C) 2010.



Com as áreas urbanas no formato *shapefile*, utilizou-se o software ArcGis (ESRI, 2010) e a ferramenta *Symmetrical Difference*, disponível no *Arctoolbox* para gerar as áreas de expansão urbana ao longo dos períodos propostos para estudo.

Este processo baseou-se na sobreposição dos polígonos de áreas urbanas obtidos, considerando os três intervalos de tempo selecionados para análise e as áreas de crescimento foram encontradas pela informação nova gerada de um cenário para o outro. Isto significa que a partir do overlay das três datas, respectivamente, e da sobreposição das áreas urbanas do período todo, a informação adicional que extrapolou a informação contida na data anterior foi considerada como sendo área de expansão urbana.

No interior dos polígonos definidos como áreas de expansão urbana, realizou-se uma análise visual dos padrões de ocupação predominantes nestas áreas, nos períodos de 1987 a 1998, 1998 a 2010 e 1987 a 2010 nas imagens Landsat 5. No entanto, a análise e interpretação destes padrões foi realizada apenas sobre a imagem RapidEye de abril de 2010, devido ser a única imagem de alta resolução do período em estudo.

Assim, com os polígonos de expansão urbana delimitados nas imagens Landsat 5, exportou-se os *shapefile* do período de 1987 a 2010 para a imagem RapidEye e fez-se uma análise dos padrões de ocupação predominantes nestas áreas., sendo encontradas cinco classes diferentes, sendo elas: Residencial, Residencial e/ou Comercial, Industrial, Complexos Industriais e Comerciais e Outros. A diferenciação das classes ocorreu pela análise do contexto intra-urbano, presença de vias de acesso e pela associação com os padrões de ocupação do entorno.

As cinco classes propostas derivaram de uma adaptação das classes apresentadas por Anderson (1976) para áreas urbanas ou construídas, a fim de contemplar todos os objetos encontrados na área de estudo selecionada. O Quadro 3 representa o padrão de uso e ocupação da terra urbana para cada classe proposta, bem como sua chave de interpretação.

Quadro 3 - Visão geral das classes obtidas através de amostras da imagem RapidEye de 2010 e as chaves de interpretação.

Classe	Caracterização	Exemplo de Amostra (Composição 3R2G1B)	Chave de Interpretação
Residencial	Áreas exclusivamente destinadas à habitação residencial.		Cor/Tonalidade: Tons de cinza claro para telhados de zinco ou alumínio e arruamentos. Tons avermelhados para telhados cerâmicos, podendo variar a tonalidade de acordo com o teor de limpeza do telhado. Existência de muitas áreas com tons esverdeados (vegetação) Tamanho: quadras maiores e alongadas, com menor variabilidade de tamanhos. Padrão/ organização: maior organização Textura: Heterogênea
Residencial e/ou Comercial	São aquelas usadas predominantemente para a moradia e venda de produtos e serviços com a presença de vias de acesso rápido e de escoamento próximas.		Cor/Tonalidade: Tons de cinza claro para telhados de zinco ou alumínio e arruamentos. Tons avermelhados para telhados cerâmicos, podendo variar a tonalidade de acordo com o teor de limpeza do telhado. Padrão/ organização: Menor organização Tamanho : Menores e variados Textura: Heterogênea

Classe	Caracterização	Exemplo de Amostra (Composição 3R2G1B)	Chave de Interpretação
Industrial	Áreas com indústrias situadas dentro da área urbana.		Cor/Tonalidade: Tons cinza claro tendendo a branco para telhados de alumínio. Podem apresentar tons azulados quando os telhados de alumínio apresentar curvatura. Tamanho: Grandes dimensões. Formas: Geométricas Textura: Homogênea (considerando telhados)
Complexos Industriais e Comerciais	Áreas com indústrias situadas próximas às áreas urbanas.		Cor/Tonalidade: Tons claros tendendo a branco para coberturas de alumínio e tonalidades cinza médio a cinza escuro para telhados de zinco. Tamanho: Mistura de tamanhos grandes com dimensões pequenas. Textura: Heterogênea
Outros	Objetos que não se enquadram em nenhuma das classes propostas, nos entornos das áreas construídas, podendo ser: aterros, cortes de morros e taludes		Cor/Tonalidade: Tons claros tendendo a branco para área dos aterros e tons marrons-acinzentados nas áreas de cortes de morros. Tamanho: Variável. Forma: Irregular. Textura: Homogênea

5.2.3.2. Detecção de mudanças por análise visual

Foram gerados os polígonos das áreas de expansão para os períodos de 1987 a 1998, 1998 a 2010 e para o período todo, de 1987 a 2010 através da interpretação visual. Para a detecção das mudanças foi utilizado o método de overlay, efetuado por meio do software Arcgis (ESRI, 2010) e o de análise visual. Ambos os métodos são descritos no trabalho de Lu (2004), a qual afirma que o procedimento de análise visual consiste na interpretação visual e a extração manual das áreas de mudanças. Já o método de overlay enquadra-se dentre das operações algébricas, compostas por técnicas de imagem diferença, regressão de imagem, razão de imagem, diferença de índices de vegetação, entre outras.

Com base no exposto, nos três intervalos de tempo selecionados para a análise, verificou-se o comportamento do crescimento urbano em intervalos de aproximadamente 10 em 10 anos e observou-se as mudanças ocorridas de um cenário para o outro. Posteriormente, fez-se uma análise da expansão urbana nos 23 anos totais do estudo. .

Como desvantagem do método de detecção de mudanças por análise visual, pode-se citar o elevado consumo de tempo e a dificuldade de atualização dos resultados (LU et al., 2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados com relação ao processamento dos dados e a discussão pauta-se na identificação da área urbana das três datas selecionadas, na expansão urbana, na análise da proximidade das áreas de expansão ao poliduto e na caracterização dos padrões de ocupação das áreas de expansão.

No decorrer do período total de tempo analisado, a área urbana de Duque de Caxias teve um crescimento de 22,38 % e os valores das áreas da mancha urbana podem ser verificados na Tabela 9.

Tabela 9 - Área da mancha urbana do município de Duque de Caxias.

Anos	Área (ha)
1987	11025,37
1998	12244,75
2010	13492,97

Pela análise dos dados da tabela, constatou-se que no período de 1987 a 1998, a área urbana do município de Duque de Caxias teve um crescimento de 11, 10 %. Já no intervalo de tempo de 1998 a 2010, a expansão da área urbana foi de 10,09 %. Observando os valores do crescimento da área urbana obtidos ao longo de intervalos de, aproximadamente, 10 em 10 anos, pode-se verificar que a expansão do município ocorreu progressivamente e de maneira contínua, além de se manifestar de modo bem distribuída por toda área do município de Duque de Caxias.

Em relação à evolução temporal da representação da área urbana do município em estudo, através dos polígonos gerados no processo de interpretação visual e digitalização manual, pode-se visualizar o crescimento da área urbana de 1987 a 1998, principalmente, na parte sudoeste do município e no aumento do maior polígono de área urbana identificado. No período de 1998 a 2010, verificou-se um adensamento da área urbana na parte sul e sudoeste do município, bem como um crescimento nos polígonos urbanos isolados, localizados na porção norte de Duque de Caxias.

Estas considerações podem ser observadas na Figura 11, a qual apresenta os polígonos da área urbana do município em estudo para os anos de 1987, 1998 e 2010.

Os polígonos de expansão do município podem ser visualizados na Figura 12. Nestes mapas estão dispostas as mudanças ao longo dos três intervalos de tempo analisados neste estudo e, na Tabela 10, podem ser visualizados as áreas dos polígonos de expansão urbana, nos intervalos de tempo dos anos analisados.

Pela associação dos polígonos de expansão gerados e os dados de área obtidos através destes polígonos, pode-se notar que a área de expansão urbana nos períodos de 1987 a 1998 e 1998 a 2010 são bem semelhantes espacialmente e possuem valores próximos. Este fato reflete o aumento progressivo e contínuo das áreas urbanas do município ao longo do período analisado. Pode-se aferir também, que a expansão urbana do município em estudo ocorreu nas mesmas direções nos três intervalos de tempo analisados, sendo concentrada no entorno do maior polígono urbano e na parta sudoeste do município.

Figura 12 - Evolução temporal da área urbana do município de Duque de Caxias (RJ): A) 1987 1998 B) 1998 – 2010 C) 1987 - 2010.

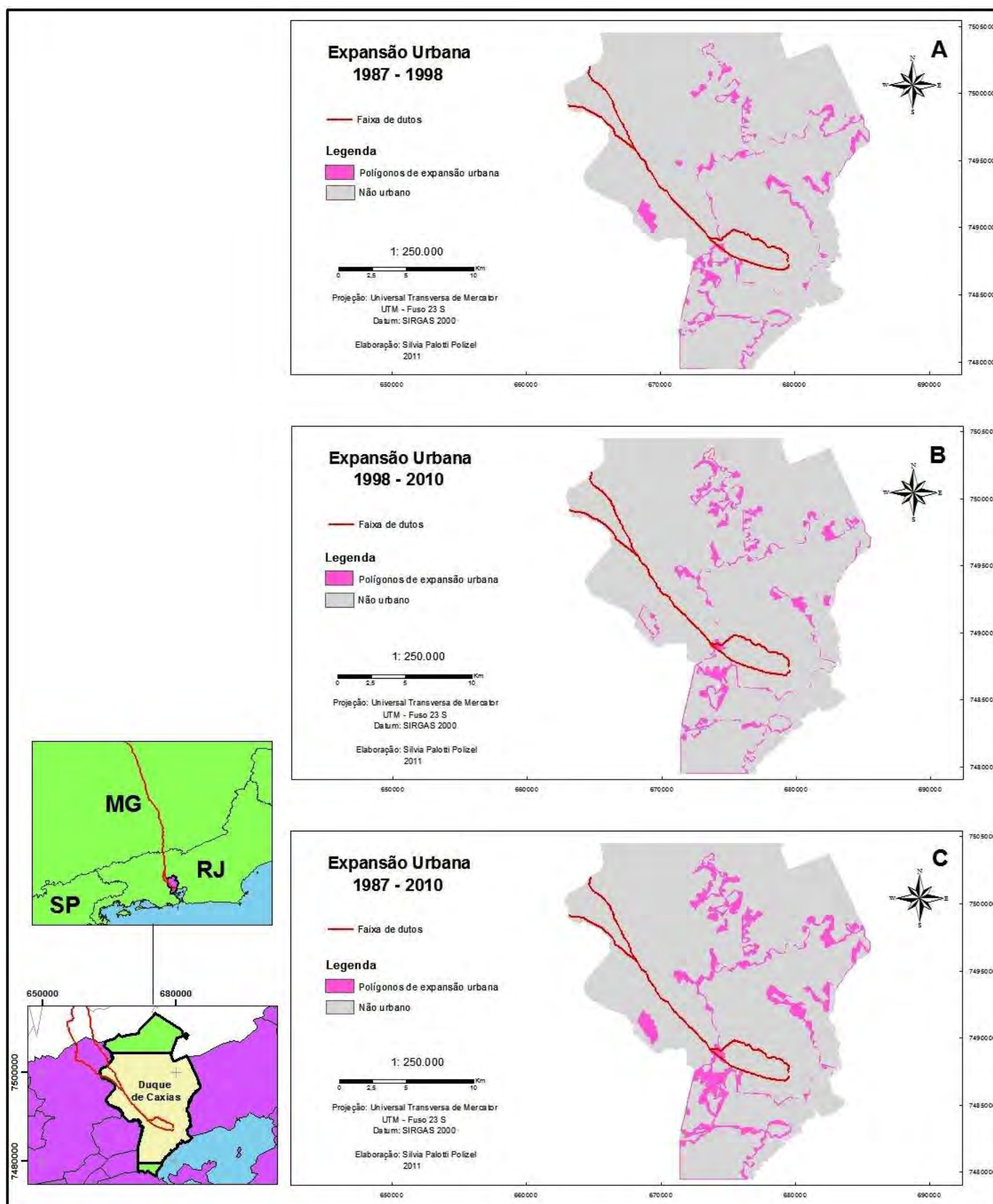
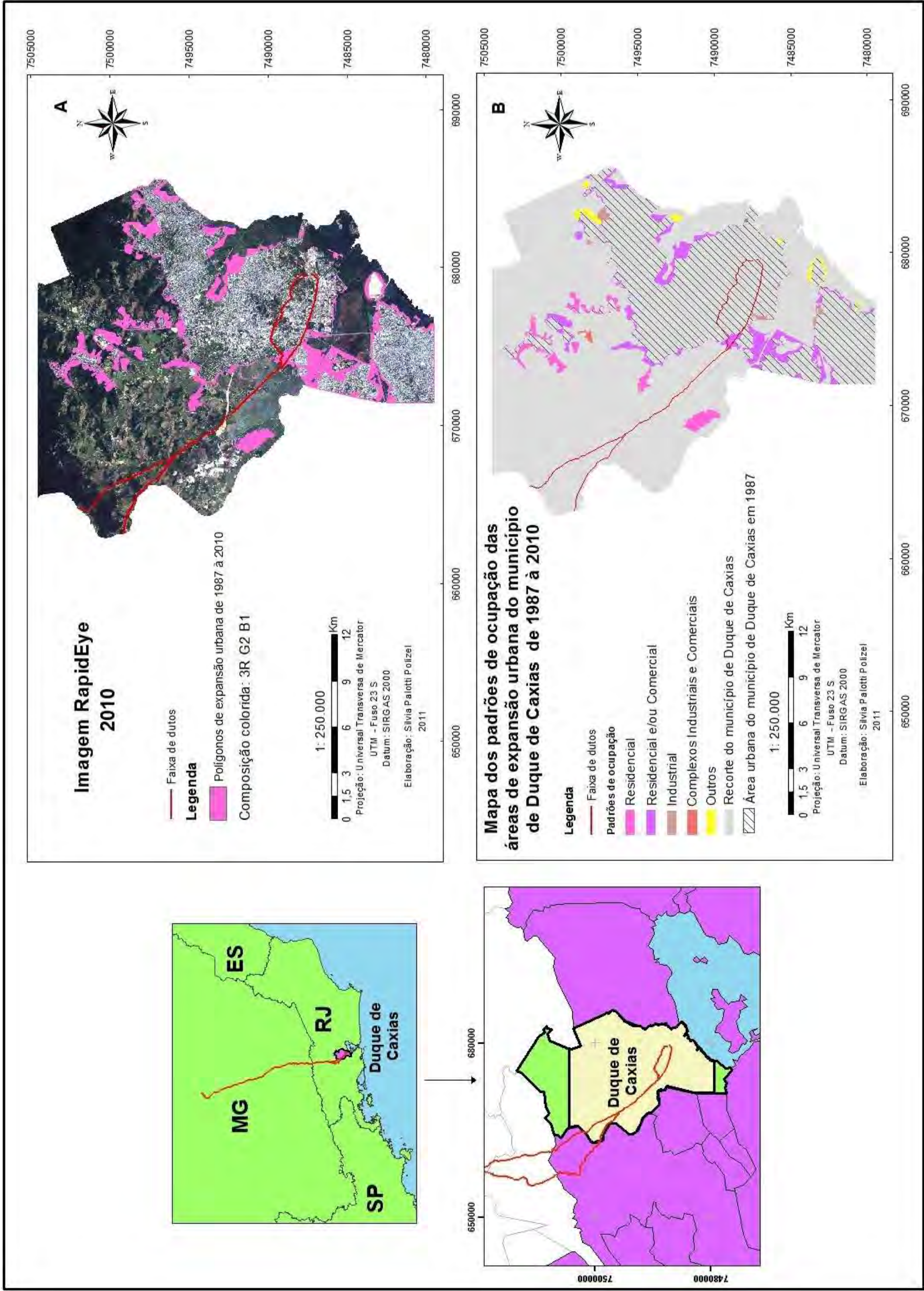


Tabela 10 - Área dos polígonos de expansão da área urbana do município de Duque de Caxias.

Anos	Área (ha)
1987 - 1998	1219,96
1998 - 2010	1249,57
1987 - 2010	2468,27

Considerando os polígonos de expansão urbana, delimitados nas imagens Landsat 5, no período de 1987 a 2010, fez-se uma análise dos padrões de ocupação predominantes no interior destas áreas, com base na imagem RapidEye, a qual pode ser visualizada na Figura 13. Para caracterização destes padrões, foram identificadas cinco classes, as quais já foram mencionadas anteriormente, no item 5.2.3.1.

Figura 13 – Mapa dos padrões de ocupação das áreas de expansão urbana do município de Duque de Caxias (RJ) de 1987 a 2010.



A delimitação das manchas urbanas da área de estudo selecionada permitiu que se verificasse a evolução da expansão urbana ao longo dos 23 anos propostos no estudo e uma análise mais detalhada com intervalos de aproximadamente 10 anos, nos períodos de 1987 a 1998 e 1998 a 2010. Pode-se observar também a distribuição espacial das áreas de expansão ao longo destes intervalos de tempo.

No período de 1987 a 1998, notou-se que a expansão da área urbana ocorreu de forma gradativa e o uso e cobertura da terra foi se alterando de cobertura natural, com vegetação arbórea e gramínea, para urbano. Notou-se que houve um adensamento e aumento da área urbana nos locais que, em 1987, configuravam-se como loteamentos. Pela análise do intervalo de tempo de 1998 a 2010, podem-se verificar as áreas de expansão urbana, concentrando-se na parte sudoeste, e um adensamento bastante expressivo das construções urbanas nas áreas de expansão, a partir da ocupação dos loteamentos, já com arruamentos e infraestrutura presentes no ano de 1998.

Sobre as classes propostas para caracterizar os padrões de ocupação das áreas em que ocorreu a expansão, procurou-se identificar na imagem RapidEye características que permitissem a distinção entre elas. A classe “Residencial” foi composta por agrupamentos de casa com dimensões e formas de telhados semelhantes e que possuíam uma distribuição das vias de acesso homogênea. Para a classe “Residencial e/ou Comercial”, como não foi possível diferenciar nitidamente um perfil residencial de um comercial em decorrência da resolução espacial da imagem RapidEye, optou-se por agrupar estes dois tipos de padrão de ocupação nesta classe e ela difere da classe residencial no tamanho dos estabelecimentos e formas do telhado. Também foi considerada a presença de avenidas e rodovias, bem como vias de acesso rápido que indicam a existência de atividades comerciais, pela necessidade de escoamento da mercadoria e da circulação de pessoas.

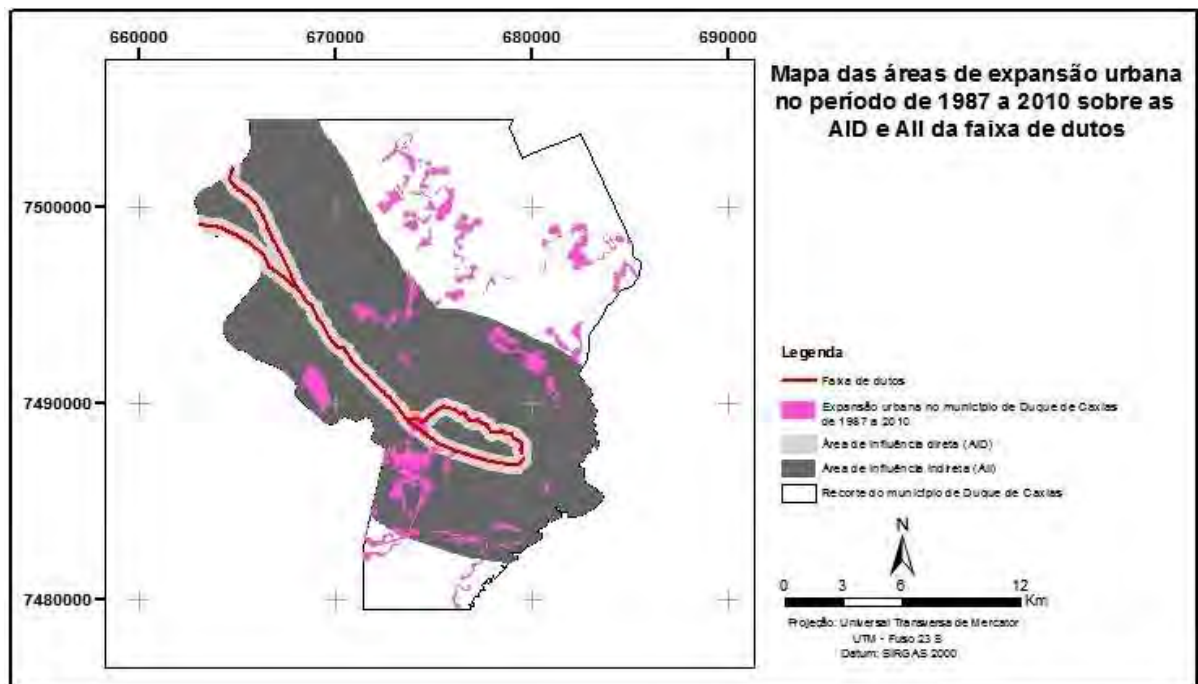
A classe “Industrial” foi composta por aglomerados de indústrias situados na periferia da área urbana do município de Duque de Caxias. Na proximidade destas indústrias havia rodovias e infra-estrutura adequada para o desenvolvimento desta atividade. A classe “Complexos Industriais e Comerciais” foi identificada na parte norte da área de estudo e caracterizou-se pelo pequeno agrupamento de alguns indústrias distantes da área urbana só que com vias de acesso rápido que interligam estas ao ambiente urbano, configurando os “distritos industriais”. Por fim, a última classe denominada “Outros” abarcou a expansão do aterro sanitário de Gramacho, localizado na porção sul da área de estudo e algumas áreas de exploração e modificação de feições naturais para a construção de novos empreendimentos urbanos ou residências.

Pela análise do mapa dos padrões de ocupação das áreas de expansão do município de Duque de Caxias de 1987 a 2010 (Figura 13), nota-se que as classes mais expressivas foram a “Residencial” e a “Residencial e/ou Comercial”, conservando as características comuns e predominantes nas áreas ao entorno destas classes. As demais classes tiveram uma menor representatividade.

A escolha por se trabalhar com o espaço intra-urbano foi proposta pelo fato do município de Duque de Caxias já possuir uma considerável malha urbana no período de 1987 e a hipótese de que sua expansão apresentasse uma tendência de manutenção da evolução dos padrões urbanos. No que se refere às mudanças ocorridas no período estudado, detectou-se que as classes Residencial, Residencial e/ou Comercial, Industrial, Complexos Industriais e Comerciais e Outros extraídas dos polígonos de expansão do período de 1987 a 2010 na imagem RapidEye de 2010, substituíram na sua totalidade, o uso e cobertura da terra natural com presença de vegetação arbórea e gramínea presente nestas mesmas áreas na imagem Landsat 5 de média resolução do ano de 1987.

Em relação às áreas de influência direta (AID) e indireta (AII) do duto, notou-se que a expansão urbana ocorreu de forma pouco expressiva na AID do duto. Já a AII sofreu a pressão do processo de expansão urbana, bem como as demais áreas do município de Duque de Caxias, como pode ser visualizado na Figura 14. As áreas de expansão urbana com maior proximidade da área de influência direta do duto, ou dentro dela, apresentam basicamente padrões de ocupação residenciais e áreas residências e/ou comerciais.

Figura 14 - Expansão urbana no município de Duque de Caxias (RJ) sobre as AID e AII da faixa de dutos no período de 1987 a 2010



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise temporal da expansão urbana no município de Duque de Caxias foi utilizada no monitoramento das mudanças ocorridas na área de estudo no período de 23 anos (1987 a 2010). Com base nesta análise e na interpretação das imagens de satélite adquiridas, verificou-se o aumento da mancha urbana do município e sua distribuição espacial. O aumento foi de aproximadamente 23 %, que corresponde a uma área de 2468, 27 ha, e a distribuição espacial obedeceu a um padrão. Notou-se que de 1987 a 1998 e de 1998 a 2010, períodos intermediários propostos no estudo, a expansão da área urbana ocorreu de forma semelhante e obedecendo a mesma dinâmica de ocupação.

Analizando a proximidade das áreas encontradas com a faixa de dutos, pode-se constatar que a faixa de duto encontra-se sob a mancha urbana do município de Duque de Caxias (RJ) desde o primeiro cenário selecionado (1987) e que as áreas de expansão não se concentram dentro da área de influência direta (AID) do duto. No entanto, em relação à área de influência indireta (AII), notou-se que aproximadamente metade do total da área urbana que expandiu do município de Duque de Caxias concentra-se nesta zona. Ainda neste contexto, pela análise da área em estudo, verificou-se que as áreas de expansão urbana ocorrem de forma bem distribuída por toda a área municipal, não apresentando uma região preferencial ou de concentração deste processo. Além disto, nota-se que estas áreas não afetam faixa de dutos Orbel diretamente, o que configura uma baixa influência da pressão antrópica do local estudado na dutovia aqui trabalhada.

Pela análise das classes obtidas com o processo de classificação, baseada na análise visual, constatou-se que a maior parte das áreas de expansão é composta por padrões de ocupação residenciais e áreas residências e/ou comerciais. Nas áreas encontradas como sendo de expansão, a mudança no uso e cobertura da terra ocorreu de uma vegetação natural, presente no cenário de 1987, para áreas urbanas ou construídas no ano de 2010. Constatou-se também que a expansão urbana aconteceu em formações geológicas e geomorfológicas que contribuem e favorecem este processo, ou seja, formações como as Planícies flúvio-marinhas e Planícies alúvio-colúvio-marinhas.

A detecção de mudanças através do método de análise visual foi extremamente satisfatória para realização deste trabalho, apesar de ser um método que depende diretamente do fotointérprete e demanda mais tempo para realização. Como se trabalhou com o ambiente intra-urbano neste estudo, os métodos computacionais que realizam a classificação não se tornaram viáveis, em virtude da difícil diferenciação dos vários objetos, uma vez que estes

possuem resposta espectral bastante semelhante. Por isso, optou-se pela interpretação visual, com a digitalização manual diretamente sobre as imagens em tela, o que permite que se empregue, com maior facilidade, outros atributos para distinção das classes, além de se considerar o contexto regional do entorno das áreas identificadas, o que minimiza os erros da análise.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Portaria nº 125. 05/08/2002.

ALMEIDA, F. F. M. D. et al. Brazilian structural provinces: an introduction **Earth Science Review**, v.17, n.1-2, abril. 1981. p. 411 - 416.

ALMEIDA, F. F. M. D.; HASUI, Y.; NEVES, B. B. B. The Upper Precambrian of South America. **Boletim Instituto de Geociências**, v.7, n.1. 1976.

ANDERSON, J. R. et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. **Geological Survey Professional Paper n. 964**. 1976. Disponível em: <<http://landcover.usgs.gov/pdf/anderson.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2011.

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic Information Systems for geoscientists: Modelling with GIS**. Ottawa: Pergamon, 1994. 398p.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al (Ed.). **Bancos de dados geográficos**. São Jose dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE, 2005. Cap.1. p.1-44

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Emergências químicas**. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 16 jul. 2011.

COSTA, N. R. **Utilização de geotecnologias no monitoramento de processos erosivos e movimentos de massa em trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte**. 2010. 91f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Rio Claro, Rio Claro, 2010.

CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo, folha SF.23 Rio de Janeiro**. Brasília: Companhia de Recursos Minerais – CPR, 2004. 1 carta geológica. Escala: 1:1.000.000.

CPRM. **Projeto Rio de Janeiro**. Relatórios Técnicos. Brasília, CPRM - Serviço Geológico do Brasil Departamento de Recursos Minerais – DRM – RJ, 2000.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas. Editora UNICAMP. 1992. 170 p.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. **ARC/VIEW v.10** Redlands, 2010. Programa de computador. 1 DVD-ROM.

ERDAS. **ERDAS Field Guide™**: fifth edition, revised and expanded. ERDAS Inc. Georgia: 1999.

FERREIRA, M.V. **Análise das pressões do uso e ocupação da terra sobre o trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte**. 2009. 181 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

FORESTI, A.; PEREIRA, M. D. B. **Utilização de índices vegetativos obtidos com dados do sistema TM/LANDSAT no estudo da qualidade ambiental urbana: cidade de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1987. 24p. (INPE - 4177 - PRE/1071).

FUNDAÇÃO CEPERJ. Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Estado do Rio de Janeiro. **Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <www.ceperj.rj.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2011.

GEOEYE. **Imagery sources**. Disponível em: <<http://www.geoeeye.com/CorpSite/products/imagery-sources/Default.aspx>>. Acesso em: 29 mai 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. Manuais técnicos em geociências 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/manualusodaterra.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades@**. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 10 jul 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades@**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=330170>>. Acesso em: 15 jun 2011.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. (Tradução). São José dos Campos: Parêntese. 2009. 598 p.

LILLESAND, T. M; KIEFER R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: John Wiley, 1979.

LU, D. et al. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.12. 2004.

LUCHIARI, A. Identificação da Cobertura Vegetal em Áreas Urbanas por meio de Produtos de Sensoriamento Remoto e de um Sistema de Informação Geográfica. **Revista de Departamento de Geografia**, n.14, p.47-58. 2001.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Santa Maria: CRS/INPE, 2008.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1ª Ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 208p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 305 p.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. John Wiley & Sons. 1987. 352 p.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **The Landsat Program**. 2011. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 15 mai 2011.

NOGUEIRA JUNIOR, J; MARQUES, A.S. Linhas de Transmissão e Dutovias. In OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, 1998. Cap. 30. P.475-485.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 3ª Edição revista e ampliada, 2008. 363 p.

RAPIDEYE. **Satellite Imagery**. 2011. Disponível em: <<http://www.rapideye.de/products/basic.htm>>. Acesso em: 20 mai 2011.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 2ed. New York: Springer-Verlag. 1993. 340 p.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, Uberlândia, n. 16, p. 81 – 90, 2005. Disponível em: <<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/viewFile/55/45>>. Acesso em: 24 jul 2011.

ROSSI, E. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para monitoramento de atividades de mineração ao longo de dutos: poliduto Rio de Janeiro/Minas Gerais**. 2010. 63f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Rio Claro, Rio Claro, 2010.

ROSSINI, D. **Análise Ambiental e do Padrão Espacial em Áreas de Expansão Urbana em Limeira – SP**. 2001. 171 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

SANTOS, J. Cet al. Seleção de atributos usando algoritmos genéticos para classificação de regiões. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais...** INPE, p. 6143-6150. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.12.38/doc/6143-6150.pdf>>. Acesso em: 14. Mar. 2011.

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely sense data. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 6, p. 883-896. 1989.

TERZIAN, R. L. **Conceitos e Metodologias de Gestão de Projeto e sua aplicação ao caso da Integridade da Malha Dutoviária**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial). Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005. 130 p.

TRANSPETRO. **Relatório Ambiental do Duto Orbel I**. Rio de Janeiro: Terra Byte, 2006.

PETROBRAS TRANSPORTE S. A. – TRANSPETRO. **Atividades**. Disponível em <www.transpetro.com.br>. Acesso em 07 jul. 2011.

VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel; FAPESP; Lincoln Institute, 2001. 373 p.