

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

VINICIUS MELGAREJO MONTENEGRO SILVEIRA

GERAÇÃO DE SUBSÍDIOS TÉCNICOS PARA O MONITORAMENTO DE ÁREAS
URBANAS A PARTIR DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E
MODELAGEM ESPACIAL

PORTO ALEGRE

2015

VINICIUS MELGAREJO MONTENEGRO SILVEIRA

GERAÇÃO DE SUBSÍDIOS TÉCNICOS PARA O MONITORAMENTO DE ÁREAS
URBANAS A PARTIR DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E
MODELAGEM ESPACIAL

Projeto Cartográfico do Curso de Engenharia Cartográfica apresentado na forma de monografia ao Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana S. da Silva

PORTO ALEGRE

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

VINICIUS MELGAREJO MONTENEGRO SILVEIRA

GERAÇÃO DE SUBSÍDIOS TÉCNICOS PARA O MONITORAMENTO E CRIAÇÃO
DE CENÁRIOS FUTUROS EM ÁREAS URBANAS A PARTIR DE TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO E MODELAGEM ESPACIAL

Projeto Cartográfico do Curso de Engenharia Cartográfica apresentado na forma de monografia ao Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo

Banca Examinadora:

Examinador 01: Profa. Dra. Flavia Cristiane Farina

Examinador 02: Prof. Dr. Cláudio Wilson Mendes Júnior

Examinador 03: Me. Fernando Comerlato Scottá

PORTO ALEGRE

2015

AGRADECIMENTOS

Agraço a minha família pelo apoio incondicional. Em especial aos meus pais Cândido e Eunice, meus avós Leya e Eubaldo e minha irmã Francyele.

Aos colegas de curso, sempre presentes nos bons e maus momentos de uma longa graduação.

Aos amigos do Colégio Tiradentes da Brigada Militar, sempre confiantes.

Aos colegas de trabalho pelo apoio.

Aos colegas de laboratório pelo companheirismo.

A minha orientadora, Tatiana Silva, pela paciência e perseverança.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo investigar as possibilidades do uso de imagens noturnas para a estimação de indicadores socioeconômicos, através da determinação de relações matemáticas; investigar o uso da combinação entre imagens noturnas e índices de vegetação na detecção e monitoramento de áreas urbanas; gerar um banco de dados especializados com informações socioeconômicas para a área de estudo; e elaborar produtos cartográficos de apoio ao planejamento adaptativo. Com isso, trazer alternativas técnicas para o planejamento urbano na zona costeira continental do estado do Rio Grande do Sul e margens do Guaíba. Para isso, imagens LANDSAT5 e DMSP-OLS foram utilizadas. Imagens de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) geradas a partir de dados LANDSAT. Reclassificou-se as imagens NDVI, gerando imagens *booleanas*, isolando as áreas possivelmente urbanas (valores no entorno de zero). As imagens de iluminação urbana (DMSP-OLS) também foram reclassificadas, isolando os valores superiores a 25 ou 30, áreas possivelmente urbanas em imagens *booleanas*. Ambas as imagens foram combinadas através de uma operação de *overlay*, resultando nas áreas urbanas. O uso combinado de imagens de NDVI e DMSP-OLS otimiza o mapeamento de áreas urbanas em escala regional, chegando a valores de acurácia global de 88,3%. Também foram adquiridas e compiladas informações censitárias, gerando um banco de dados coeso e sem falhas para a área de estudo, contendo os dados dos censos de 2000 e 2010. Foram realizados testes buscando uma relação matemática, via regressão linear, entre variáveis censitárias e níveis de iluminação das imagens noturnas. Nesses testes chegou-se a coeficientes de correlação pouco maiores de 0,5 para os anos de 2000 e 2010. Por fim, foram produzidos mapas das áreas urbanas da área de estudo para os anos de 1992, 2000 e 2010.

Palavras chaves: Área Urbana, Geoprocessamento, Índices de Vegetação, Imagens Noturnas, Informações Censitárias.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the possibilities of using night images to estimate socioeconomic indicators, through the determination of mathematical relationships; investigate the use of combination of night images and vegetation indices for detection and monitoring of urban areas; generate a specialized database with socioeconomic information for the study area; and elaborate cartographic products to support adaptive planning. From that, to bring alternative techniques for urban planning on continental coastal zone of Rio Grande do Sul state and Guaíba Lake margins. To accomplish this, Landsat5 and DMSP-OLS images were used. NDVI images (Normalized Difference Vegetation Index) generated from LANDSAT data. The NDVI images are reclassified, generating Boolean images, possibly isolating the urban areas (zero values in the surroundings). The urban lighting pictures (DMSP-OLS) have also been reclassified, isolating values above 25 or 30, possibly Boolean images in urban areas. Both images were combined using a overlay operation, resulting in urban areas. The combined use of NDVI and DMSP-OLS images optimizes the mapping of urban areas on a regional scale, reaching global accuracy values of 88.3%. They were also acquired and compiled census data, generating a cohesive database and flawless for the study area containing the data from the 2000 census and 2010. Tests were carried out seeking a mathematical relationship, via linear regression between census variables and levels lighting of night images. These tests come up a little higher correlation coefficients of 0.5 for the years 2000 and 2010. Finally, maps were produced in urban areas of the study area for the years 1992, 2000 and 2010.

Key words: Urban Area, GIS, Vegetation Index, Nocturnal Images, Census Information

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo.	13
Figura 2 - Imagem do tipo <i>stablelights</i> do ano de 2010 (F182010).	22
Figura 3 - Fluxo das atividades desenvolvidas.	26
Figura 4 - Cloud-free Coverages, recortadas para a área de estudo, dos dados F14 e F15 para o ano 2000.	30
Figura 5 - Conjunto das imagens noturnas dos anos 1992, 2000, 2010.	31
Figura 6 - Localização das cenas Landsat utilizadas.	32
Figura 7 - Localização das cartas topográficas	34
Figura 8 - Localização das cartas topográficas nas cenas LANDSAT	36
Figura 9 - Resultados da aplicação do NDVI para os anos de 1992, 2000 e 2010. ...	39
Figura 10 - Resultados do NDVI reclassificado para os anos de 1992, 2000 e 2010.	40
Figura 11 - Imagens noturnas reclassificadas para a identificação das áreas urbanas.	41
Figura 12 - Áreas urbanas resultantes dos cruzamentos entre os NDVI e as imagens noturnas.	41
Figura 13 - Localização dos pontos amostrados para a verificação de acuracidade.	44
Figura 14 - Localização do ponto 29 sobre a área urbana de Torres.	48
Figura 15 - Localização do ponto 29 nos resultados da reclassificação da imagem noturna para os anos 1992 (A), 2000 (B) e 2010 (C).	48
Figura 16 - Áreas urbanas identificadas na imagem noturna de 1992 para os municípios de Chuí (A), São Lourenço do Sul (B) e Tapes (C).	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de dados disponíveis do DMSP-OLS.....	22
Tabela 2 - Relação das cenas Landsat utilizadas.	33
Tabela 3 - Valores de RMS obtidos no registro das imagens Landsat de 1985.....	36
Tabela 4 - Valores de RMS obtidos no registro das imagens Landsat dos anos 1992, 200 e 2010.	37
Tabela 5 - Coordenadas (SIRGAS2000) e resultados dos pontos de verificação da acuracidade da delimitação das áreas urbanas	46

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 A IMPORTÂNCIA DA ZONA COSTEIRA.....	11
1.2 ÁREA DE ESTUDO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
3 HIPÓTESES DE PESQUISA.....	15
4 REVISÃO TEÓRICA.....	16
4.1 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO.....	16
4.2 SENSORIAMENTO REMOTO E MODELAGEM ESPACIAL: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES NO PLANEJAMENTO E GESTÃO.....	17
4.3 IMAGENS LANDSAT.....	19
4.4 IMAGENS NOTURNAS.....	20
4.5 REGISTRO DE IMAGENS.....	23
4.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: CARACTERÍSTICAS E APLICABILIDADE.....	24
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5.1 MATERIAIS, <i>SOFTWARE</i> E ESTRUTURA FÍSICA UTILIZADOS.....	27
5.2 DADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO.....	28
5.2.1 Limites Políticos.....	29
5.2.2 Informações censitárias.....	29
5.2.3 Imagens DMSP-OLS.....	29
5.2.4 Imagens Landsat.....	31
5.2.5 Cartas Topográficas.....	34
5.3 PROCESSAMENTOS ANALÍTICOS.....	35
5.3.1 Adequação dos dados à área de estudo.....	35
5.3.2 Registro das imagens Landsat.....	35
5.3.3 Construção do banco de dados geográficos.....	38

5.3.4	Delimitação das áreas urbanas	38
5.3.5	Geração dos algoritmos de indicadores socioeconômicos (imagens DMSP-OLS)	41
5.3.6	Testes de acuracidade	43
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1	IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS URBANAS	46
6.2	BANCO DE DADOS CENSITÁRIOS PARA A ÁREA DE ESTUDO	49
6.3	ALGORITMOS DE INDICADORES SOCIOECONÔMICOS	50
7	CONCLUSÃO	53
7.1	RECOMENDAÇÕES E ATIVIDADES FUTURAS	55
8	REFERÊNCIAS.....	56
	APÊNDICE A.....	60
	APÊNDICE B.....	63
	APÊNDICE C	66
	APÊNDICE D.....	70
	ANEXO A	75
	ANEXO B	84

1 INTRODUÇÃO

A velocidade, magnitude e extensão das alterações humanas sobre a superfície do planeta não têm precedentes na história (LAMBIN *et al.*, 2001). Neste contexto, a população humana se torna cada vez mais vulnerável a desastres naturais e eventos extremos, e por consequência mais dependente de soluções técnicas, uma vez que a demanda por infraestruturas não é acompanhada por um processo de planejamento prévio e tomada de decisão com foco na sustentabilidade, em ritmo compatível com todos os processos de mudança atuais.

Os grandes centros urbanos têm sido destino de um processo de migração e local de grandes modificações pela acelerada urbanização. Esse processo traz consigo vários problemas como os de drenagem, tráfego, habitação, saneamento entre outros. O Rio Grande do Sul não é exceção, sendo que a região metropolitana de Porto Alegre tem sido identificada como foco dos deslocamentos no estado (TARTARUGA, 2008; SCP, 2006).

A mitigação desses problemas exige cada vez mais soluções vindas do planejamento ambiental e urbano. Esse é capaz prover a sociedade de ferramentas para que as soluções de problemas existentes ou previstos sejam encontradas. A aplicação de métodos que se utilizam de técnicas a partir de sensoriamento remoto e modelagem espacial trouxe agilidade na comparação com os métodos tradicionais. Contudo ainda podem ser considerados muito onerosos frente às necessidades de informação.

Por possuírem respostas espectrais muito variadas, as áreas urbanas dificultam muito a automatização de processos de mapeamento. Isso ocasiona uma morosidade no processo de avaliação do crescimento urbano, que, por vezes, se mostra lento para acompanhar o crescimento de algumas áreas.

Outra dificuldade está na utilização dos dados socioeconômicos. Esses são, ocasionalmente, oriundos de censos, o que dificulta a compatibilização dos indicadores socioeconômicos com os dados provenientes do processamento das imagens. Essa dificuldade reside no tratamento que deve ser realizado com os dados, em sua maioria tabulares, que devem ser associados a feições vetoriais. Isso torna muito custosa a construção de uma base de dados.

Devido às dificuldades encontradas é notável a necessidade de se investigar e validar novas metodologias para o monitoramento e detecção de mudanças em áreas urbanas. Avanços não só com relação aos aspectos ligados as variações demográficas, mas na detecção e mapeamento de todos os fatores que venham a aumentar a vulnerabilidade socioambiental, servirão como importantes subsídios ao planejamento adaptativo dos municípios.

1.1 A IMPORTÂNCIA DA ZONA COSTEIRA

Definida como “patrimônio nacional” na Constituição Federal de 1988, no § 4º do seu artigo 225, a Zona Costeira destaca-se como uma porção do território brasileiro merecedora de atenção especial pela sociedade. Isso se deve a necessidade da preservação do ambiente frente à ocupação e à exploração dos seus recursos naturais.

As zonas costeiras representam um dos maiores desafios para a gestão ambiental do País, especialmente quando abordadas em conjunto e na perspectiva da escala da União. Além da grande extensão do litoral e das formações físico-bióticas extremamente diversificadas, convergem também para esse espaço os principais vetores de pressão e fluxos de toda ordem, compondo um amplo e complexo mosaico de tipologias e padrões de ocupação humana, de uso do solo e dos recursos naturais e de exploração econômica (BRASIL, 2013).

Na Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988, foi instituído o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). Esse plano hoje já está em sua segunda versão (PNGC II), aprimorada pelas atividades realizadas desde a criação de sua primeira versão, visando o atendimento das novas demandas surgidas e o redirecionamento de suas atividades, levando em consideração que:

- A Zona Costeira abriga um mosaico de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é marcada pela transição de ambientes terrestres e marinhos, com interações que lhe conferem um caráter de fragilidade e que requerem, por isso, atenção especial do poder público, conforme demonstra sua inserção na Constituição Brasileira como área de patrimônio nacional;
- A maior parte da população mundial vive em Zonas Costeiras, e há uma tendência permanente ao aumento da concentração demográfica nessas regiões. A

saúde, o bem-estar e, em alguns casos, a própria sobrevivência das populações costeiras depende da saúde e das condições dos sistemas costeiros, incluídas as áreas úmidas e regiões estuarinas, assim como as correspondentes bacias de recepção e drenagem e as águas interiores próximas à costa, bem como o próprio sistema marinho. Em síntese, a sustentabilidade das atividades humanas nas Zonas Costeiras depende de um meio marinho saudável e vice-versa (Programa de Ação Mundial para a Proteção do Meio Ambiente Marinho das Atividades Baseadas em Terra-item I.I); e

- A atividade de gerenciamento deste amplo universo de trabalho implica, fundamentalmente, a construção de um modelo cooperativo entre os diversos níveis e setores do governo, e deste com a sociedade.

Merecem destaque os instrumentos que, segundo o 7º do Decreto 5.300/04, aplicam-se para a gestão da zona costeira: Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, Plano de Ação Federal da Zona Costeira, Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro, Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro, Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira, Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira, Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro e Macrodiagnóstico da zona costeira.

Além dos planos e políticas voltados diretamente para a gestão costeira, outros instrumentos também são incidentes sobre estas regiões. Como é o caso das Políticas de Recursos Hídricos, Resíduos Sólidos, Saneamento, a legislação sobre Patrimônio da União e o Estatuto das Cidades, além das ações relacionadas a áreas protegidas, pesca, exploração de recursos naturais, turismo, navegação e defesa nacional, entre outras. (MMA, 2013).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é constituída pela Zona Costeira do Estado do Rio Grande do Sul e margens do Lago Guaíba. Localiza-se na porção Leste do Estado e abrange uma área de aproximadamente 25600 km², composta por 29 municípios, são eles: Imbé, Mostardas, Osório, Palmares do Sul, Pelotas, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, São José do Norte, São Lourenço do Sul, Tapes, Tavares, Terra de Areia, Torres, Tramandaí, Turuçu, Viamão, Xangri-Lá, Arambaré, Arroio do Sal, Balneário Pinhal, Barra do Ribeiro, Camaquã, Capão da Canoa, Capivari do Sul, Chuí, Cidreira,

Eldorado do Sul e Guaíba. A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo, que também é objeto de apresentação do Mapa de localização da área de estudo e do Mapa de localização dos municípios da área de estudo (APÊNDICE A).

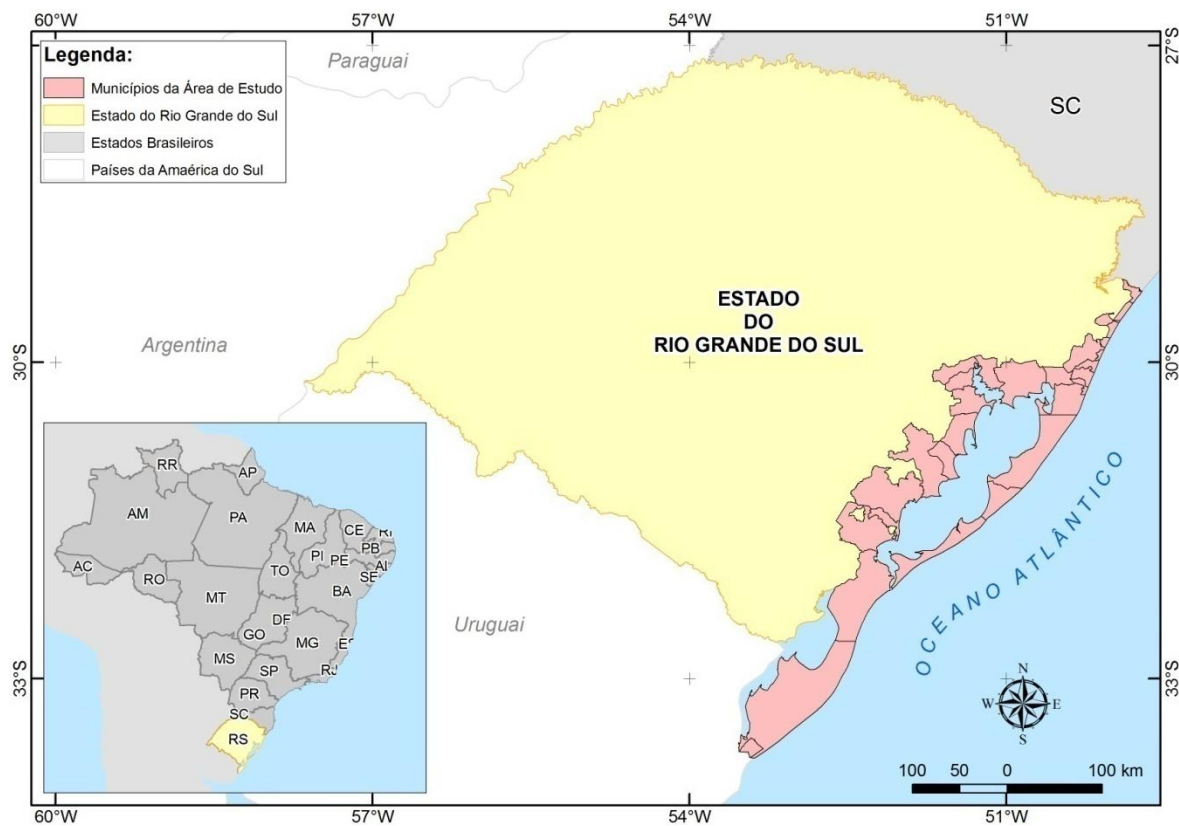


Figura 1 - Localização da área de estudo.

2 OBJETIVOS

O trabalho possui como objetivo geral gerar subsídios técnicos para o monitoramento de áreas urbanas para a região da planície costeira do Rio Grande do Sul (RS) e margens do Lago Guaíba. A realização dos trabalhos teve como base o sensoriamento remoto, o processamento digital de imagens e a modelagem espacial.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Criar um banco de dados espaciais da área de estudo e seus respectivos valores de população e densidade populacional para as últimas duas décadas;
- Aplicar índices de vegetação (NDVI) em conjunto com imagens noturnas (sensor DMSP-OLS) no mapeamento de áreas urbanas;
- Avaliar a aplicabilidade do uso de imagens noturnas como um indicador de parâmetros relacionados ao crescimento urbano e demográfico;
- Gerar produtos cartográficos de apoio ao planejamento adaptativo.

3 HIPÓTESES DE PESQUISA

Esse trabalho se baseia em duas hipóteses. A primeira de que é possível mapear áreas urbanas combinando imagens de luz artificial (DMSP-OLS) e imagens de índices de vegetação (NDVI – LANDSAT), mantendo o detalhamento e a geometria das imagens LANDSAT. A segunda de que é possível relacionar matematicamente os níveis de iluminação das imagens noturnas (DMSP-OLS) com indicadores socioeconômicos.

4 REVISÃO TEÓRICA

4.1 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) “caracteriza-se pelo conjunto de estações que representam o controle horizontal e vertical necessários à localização e representação cartográfica no território brasileiro”. (DALAZOANA, 2001).

O desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, composto pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica pode ser dividido em duas fases distintas: uma anterior e outra posterior ao advento da tecnologia de observação de satélites artificiais com fins de posicionamento. No Brasil, essa tecnologia possibilitou, por exemplo, a expansão do SGB à região amazônica, permitindo o estabelecimento do arcabouço de apoio ao mapeamento sistemático daquela área. (BRASIL, 2015).

A tecnologia de observação de satélites artificiais também possibilitou a mudança do referencial geodésico brasileiro para um sistema moderno e adequado às técnicas de obtenção do posicionamento modernas. No *caput* do Art. 1º, da Resolução da Presidência nº 1/2015, o IBGE define “a data de 25 de fevereiro de 2015 para término do período de transição para adoção no Brasil do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização de 2000,4 (SIRGAS2000)”. (BRASIL, 2015).

O SIRGAS foi concebido em 1993, adotando uma concepção de um Sistema de Referência Moderno. Esse sistema foi adotado como Referencial Geodésico Brasileiro em 2005, sendo concomitante com o SAD69 até fevereiro de 2015, quando encerrou o período de transição.

No encerramento desse período, o IBGE lançou a Resolução da Presidência 1/2015, que estabelece os parâmetros de conversão entre o SIRGAS e os sistemas: Córrego Alegre 1961, Córrego Alegre 1970+1972, SAD 69 e SAD 69/96. Também são disponibilizados os parâmetros de conversão entre o SAD69 e o WGS 84 (Doppler).

Cabe aqui ressaltar que “para posicionamentos tridimensionais realizados após 01/01/1994, os referenciais WGS 84 e SIRGAS2000 são considerados idênticos para fins práticos, não existindo parâmetros de transformação entre eles.” (BRASIL, 2015).

As duas resoluções da presidência do IBGE, nº 001/2015 e nº 001/2015, que tratam da adoção do SIRGAS como Sistema de Referência para o país estão em anexo nesse trabalho, respectivamente, como: ANEXO A e ANEXO B.

4.2 SENSORIAMENTO REMOTO E MODELAGEM ESPACIAL: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES NO PLANEJAMENTO E GESTÃO

Scarlato e Pontin, citados por Medeiros (2012), definem o planejamento como sendo a soma de um conjunto de decisões baseadas em características técnicas do meio ambiente, nas necessidades da sociedade e nos fatores operacionais para uma dada região. Para tanto, faz-se necessária a aplicação de métodos que reúnam esse conjunto de informações acerca de um determinado território. “Assim, uma base de dados com informações georreferenciadas sobre um território permite o aperfeiçoamento da gestão deste espaço a partir de suas características sócio-econômico-ambientais.” (MEDEIROS, 2012).

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento. O conceito de desenvolvimento sustentado, consagrado na Rio-92, estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo. (MEDEIROS; CÂMARA, 2001).

Segundo Silva (2002), o Planejamento Adaptativo (PA) busca sintetizar princípios de abordagens compreensivas com as incrementais e incorpora às teorias de planejamento necessidades de introdução de valores compartilhados na discussão do problema inicial e a participação dos vários grupos atingidos no processo.

Citados por Silva (2002), Trist e Melo resumem os fundamentos do PA à: ênfase na apreciação; preocupação com a criação de organizações sociais capazes de aprendizado contínuo; primazia do nível normativo; postura pró-ativa; necessidade de participação de grupos com interesses diversificados, como condição para a implementação; retroalimentação contínua, para fins de avaliação e autocorreção; pesquisa-ação; e flexibilidade.

O sensoriamento remoto é hoje uma das principais fontes de dados espaciais, pois possibilita a aquisição de diversas informações para áreas de grande extensão de maneira pouco onerosa quando comparado a outras técnicas. Os avanços tecnológicos têm proporcionado aos usuários informações cada vez mais detalhadas e diversificadas. Destacando-se as informações sobre os recursos naturais e as alterações dos ambientes.

O sensoriamento remoto é a ciência (e, em certa medida, a arte) de aquisição informações sobre a superfície da Terra sem realmente estar em contato com ela. Isto é feito através da detecção e registro da energia refletida ou emitida e processamento, análise e aplicação dessa informação. (LILLESAND *et al.*, 2007).

No que trata de imageamento por satélite, o projeto Landsat merece destaque por se tratar do primeiro sensor de monitoramento sistemático da superfície terrestre (iniciou suas atividades na década de 70) (USA, 2013a). Também pela aplicabilidade na avaliação dos recursos naturais e suas modificações, principalmente pelo grande período em que o projeto se mantém ativo, possibilitando a avaliação da evolução de diversos fenômenos e parâmetros ao longo do tempo.

Burrough (1986) afirma que um SIG é um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenagem, recuperação e exibição de dados do mundo real para determinados propósitos. Tais funcionalidades tornam o SIG uma ferramenta poderosa para o processamento dos dados e a transformação desses em informação adequada aos usos pretendidos.

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum -- a localização geográfica. (CÂMARA; QUEIROZ, 2001).

Os procedimentos que envolvem cruzamento de dados, também conhecidos como procedimentos de *overlay*, relacionam diferentes parâmetros a um mesmo local no espaço. Isso torna possível a geração de novos planos de informação a partir da combinação e análise estatística.

O que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são as funções que realizam análise espacial. Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais e buscam fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros. (CORDEIRO; BARBOSA; CÂMARA, 2001).

O armazenamento das informações em um SIG pode ser realizado através da utilização de um Banco de Dados Geográfico (BDG). A utilização de um banco de dados com suporte espacial é uma alternativa ao armazenamento tradicional das informações, em que se tem diferentes arquivos divididos por feição, tema, geometria, etc. Um Banco de dados que se preste ao armazenamento de dados espaciais oferece uma tipologia de dados (geometrias), consultas e operações de análise espacial (CAMARA, 2001).

O Sensoriamento Remoto e a modelagem espacial em SIG trazem subsídios importantes para o planejamento e gestão em diferentes escalas. Proporcionam segurança na gestão da informação, o diagnóstico e prognóstico, considerando o contexto. Isto é de extrema valia como auxílio na tomada de decisão e adaptação dos sistemas de uso humano frente às rápidas mudanças experimentadas na atualidade.

4.3 IMAGENS LANDSAT

O Projeto Landsat representa a maior coleção mundial continuamente adquirida de média resolução espacial de dados de sensoriamento remoto. As quatro décadas de imagens fornecem um recurso único para aqueles que trabalham na agricultura, geologia, silvicultura, planejamento regional, educação, mapeamento e pesquisa em mudanças globais. As imagens Landsat também são de valor inestimável para a resposta de emergência e assistência em catástrofes. (USA, 2015).

A série de lançamentos do Projeto Landsat iniciou em 1972 com o lançamento do Landsat1– com sensores *Multispectral Scanner (MSS)* e *Return Beam Vidicon (RBV)* - e segue com plataformas ativas. A última a ser lançada foi o Landsat 8, em 11 de fevereiro de 2013, equipado com sensores *Operational Land Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* (USA, 2013a).

Das plataformas lançadas destaca-se o Landsat 5 pela longa operação. Seu lançamento deu-se em 1º de março de 1984 e seguiu em operação até 2013. A

plataforma operava a 705 km de altitude e possui uma órbita sol-síncrona quase-polar, com inclinação de 98,2°. O período revisita era de 16 dias. Dos sensores a bordo da plataforma, serão utilizadas as imagens oriundas do sensor *Thematic Mapper (TM)*. Esse produz imagens de sete bandas, incluindo uma térmica, São elas:

- Banda 1: Visível (0,45-0,52 μm)
- Banda 2: Visível (0,52-0,60 μm)
- Banda 3: Visível (0,63-0,69 μm)
- Banda 4: Infravermelho próximo (0,76-0,90 μm)
- Banda 5: Infravermelho próximo (1,55-1,75 μm)
- Banda 6: Térmica (10,40-12,50 μm)
- Banda 7: Infravermelho médio (2,08-2,35 μm)

A resolução espacial das imagens é de 30m, com exceção da térmica, que possui uma resolução espacial de 120m. As imagens são adquiridas por varredura, em uma faixa com 185 km de largura e divididas em cenas de 170 km x 185 km. (USA, 2015a).

Foram utilizadas nos trabalhos as bandas 1, 2 e 3 para composições em cor verdadeira e falsa cor, utilizadas para a interpretação visual. E as bandas 3 e 4, utilizadas para a geração do índice de vegetação.

4.4 IMAGENS NOTURNAS

O *Defence Meteorological Satellite Program (DMSP)* é um programa de satélites que entrou em operação na década de 60. Iniciando com satélite de uso militar, com dados destinados a defesa de território, teve seus dados disponibilizados a comunidade civil, com destaque às pesquisas nas áreas de meteorologia e geofísica. O programa está sob responsabilidade do *Air Force Space and Missile Systems Center (SMC)*. (USA, 2015c).

Os satélites DMSP possuem órbitas sol-síncrona, quase polar, com altitude de 830 km. Essa série de satélites tem como característica imagear objetos que refletem pouca quantidade de luz (USA, 2015c). Entre os sensores disponíveis na série de satélites destacam-se:

- OLS – *Operational Linescan System*
- SSM/I – *Microwave Imager*
- SSMT/2 – *Atmospheric Water Vapor Profiler*
- SSJ/4 – *Precipitating Electron and Ion Spectrometer*
- SSM/T – *Atmospheric Temperature Profiler*
- SSIES – *Ion Scintillation Monitor*
- SSM – *Magnetometer*

Neste trabalho utilizamos os dados adquiridos pelo sensor OLS, que podem ser obtidos através do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e *National Geophysical Data Center* (NGDC). Essas são agências que disponibilizam diversos dados, entre eles os adquiridos pelos sensores da série DMSP.

Os sensores na faixa do visível e infravermelho (OLS) coletam imagens em uma faixa de 3000 km. Essa faixa proporciona cobertura global duas vezes ao dia, com combinação dia/noite e amanhecer/anoitecer. Os telescópios são calibrados a bordo em cada varredura e os pixels do visível têm valores relativos.

O instrumento OLS é composto por dois telescópios e um tubo fotomultiplicador (PMT). O telescópio visível é sensível à radiação 0,40-1,10 μm (0,58-0,91 μm FWHM) e 03/10 - 05/10 watts por centímetro quadrado. O telescópio infravermelho é sensível à radiação 10,0-13,4 μm (10,3-12,9 μm FWHM) e 190 a 310 graus Kelvin. A PMT é sensível à radiação 0,47-0,95 μm (0,51-0,86 μm FWHM) no 05/10 - 09/10 watts por centímetro quadrado.

As imagens utilizadas são as do tipo *stable lights*. Essas imagens são compostas por uma média anual das imagens noturnas colhidas pelo sensor. Dessa forma são eliminadas todas as fontes eventuais de iluminação. Isso faz com que somente as fontes de iluminação permanente sejam mantidas nas imagens. E a iluminação permanente é característica de áreas urbanas, possibilitando o seu mapeamento através de imagens noturnas. A Figura 2 apresenta a imagem de 2010.

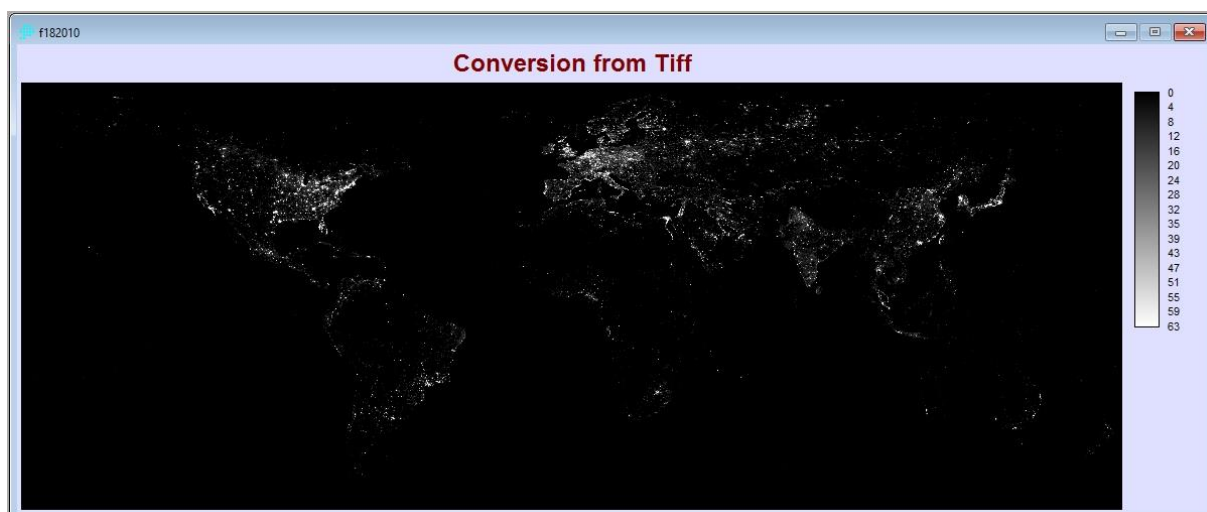


Figura 2 - Imagem do tipo *stablelights* do ano de 2010 (F182010).

Quanto à acurácia posicional, Elvidge *et al.* (2004b) chegaram a valores menores que um pixel para a acurácia posicional das imagens DMSP-OLS, com resolução espacial de 2,7 km. Nesse trabalho serão utilizadas as imagens do tipo *fine mode* que possuem resolução de 0,55 km. A calibração a bordo é realizada a cada varredura e refinada durante o processamento das imagens.

Os dados obtidos, através do site do NOAA, são os das composições da versão 4. Esses dados são apresentados em formato GeoTIF, e estão disponíveis para diversos anos e satélites (Tabela 1).

Tabela 1 - Relação de dados disponíveis do DMSP-OLS.

Ano\Sat.	F10	F12	F14	F15	F16	F18
1992	F101992	-----	-----	-----	-----	-----
1993	F101993	-----	-----	-----	-----	-----
1994	F101994	F121994	-----	-----	-----	-----
1995	-----	F121995	-----	-----	-----	-----
1996	-----	F121996	-----	-----	-----	-----
1997	-----	F121997	F141997	-----	-----	-----
1998	-----	F121998	F141998	-----	-----	-----
1999	-----	F121999	F141999	-----	-----	-----
2000	-----	-----	F142000	F152000	-----	-----
2001	-----	-----	F142001	F152001	-----	-----
2002	-----	-----	F142002	F152002	-----	-----
2003	-----	-----	F142003	F152003	-----	-----
2004	-----	-----	-----	F152004	F162004	-----
2005	-----	-----	-----	F152005	F162005	-----
2006	-----	-----	-----	F152006	F162006	-----
2007	-----	-----	-----	F152007	F162007	-----
2008	-----	-----	-----	-----	F162008	-----

Ano\Sat.	F10	F12	F14	F15	F16	F18
2009	-----	-----	-----	-----	F162009	-----
2010	-----	-----	-----	-----	-----	F182010
2011	-----	-----	-----	-----	-----	F182011
2012	-----	-----	-----	-----	-----	F182012
2013	-----	-----	-----	-----	-----	F182013

No *download* é possível obter três composições. A primeira delas indica a quantidade de observações livres obtidas a cada posição. A segunda apresenta as observações obtidas sem filtragem. A terceira, que é de interesse desse trabalho, apresenta a luminosidade captada, excluindo-se fontes de luz eventual.

4.5 REGISTRO DE IMAGENS

A sobreposição de informações espaciais depende diretamente do correto posicionamento das informações. Isso exige por vezes “procedimentos de correção geométrica de imagens, às vezes chamados de geo-referenciamento ou geocodificação, outras vezes excessivamente simplificados e reduzidos ao registro de imagens.”(D’ALGE, 2001).

Quando da análise de dados de diferentes épocas, a necessidade do correto posicionamento das informações fica mais clara. Pois, se desejamos conhecer as alterações ocorridas em um determinado local com base em dados de diferentes datas, necessitamos que esses tenham a mesma referência espacial.

Em imagens de satélite, a grande altitude resulta num deslocamento mínimo devido ao relevo, sendo o georreferenciamento normalmente feito através de um processo de transformação sistemática que suavemente “empena” a imagem (através de equações polinomiais) com base nas posições conhecidas de um conjunto de pontos de controle dispersos. (EASTMAN, 2003).

O processo de reamostragem resulta no posicionamento da nova imagem de acordo com as posições dos pontos de controle utilizados. Os valores das novas células são obtidos de pela busca dos valores correspondentes nas imagens antigas. Essa correspondência pode ser baseada na célula antiga mais próxima (critério do vizinho mais próximo) ou na média ponderada pela distância das quatro células antigas mais próximas. Essa última técnica é conhecida como interpolação bilinear. “A rotina

bilinear é apropriada para dados quantitativos como imagens de sensoriamento remoto”. (EASTMAN, 2003).

Também deve ser observada a função de mapeamento utilizada. Opta-se pela “função de ordem mais baixa que produza um resultado aceitável” (EASTMAN, 2003). Cabe aqui comentar que cada função proporciona, em suas características, diferentes alterações na geometria da imagem. O conhecimento dessas características e o quão é adequado alterar a geometria da imagem também devem ser objetos de análise para essa escolha.

A qualidade do processo realizado é acompanhada pelos valores do *Root Mean Square* (RMS) ou Erro Médio Quadrático e do resíduo individual de cada ponto de controle. “O RMS total descreve o erro de posicionamento característico de todos os pontos de controle em relação à equação. Ele descreve a probabilidade com a qual uma posição mapeada poderá variar sua localização verdadeira.”. (EASTMAN, 2003).

4.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: CARACTERÍSTICAS E APLICABILIDADE

Existe grande variedade de índices de vegetação desenvolvidos para ajudar no monitoramento ambiental. Índices de vegetação são baseados nas diferentes interações entre a vegetação e a energia eletromagnética. Em sua maioria exploram os comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo. A resposta na faixa do vermelho se caracteriza pela absorção da Radiação Eletromagnética (REM) pelos pigmentos foliares. Já a resposta na faixa do infravermelho é caracterizada pela elevada reflectância devido à dispersão causada pela estrutura celular das folhas.

De todos os índices de vegetação, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é o mais amplamente utilizado, e é calculado pela equação (1):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

Onde:

NIR = Infravermelho próximo

R = Vermelho

O NDVI resulta em um valor modulado, que varia de -1 a +1. O resultado do índice “se aproxima de 1 em áreas de densa vegetação, valores negativos para áreas com total ausência de vegetação (água), e solos expostos ficando com valores que se aproximam de zero.”.(MENESES; ALMEIDA, 2012).

A partir desta medida, diversas aplicações foram desenvolvidas, inclusive as que estudam a aplicabilidade desses índices na identificação e avaliação de outras feições além da vegetação propriamente dita. Em áreas urbanas, o NDVI se caracteriza por apresentar valores próximos a zero, ao passo grandes concentrações de biomassa apresentam valores altos de NDVI. A partir dessas características, podemos diferenciar áreas com existência ou não de vegetação.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Como pode ser observado na Figura 3, os principais dados utilizados foram: limites políticos, informações censitárias, imagens DMSP-OLS e imagens Landsat. Os principais processos realizados foram: a compatibilização dos dados tabulares e vetoriais dos censos de 2000 e de 2010, as regressões lineares realizadas entre as informações censitárias e as imagens noturnas e o cruzamento entre as imagens noturnas e as imagens NDVI. Como resultados temos: o Banco de Dados Geográficos gerado, os algoritmos que correlacionam as imagens noturnas à algumas variáveis censitárias e as áreas urbanas mapeadas. Esse conjunto de resultado são os subsídios para o monitoramento das áreas urbanas.

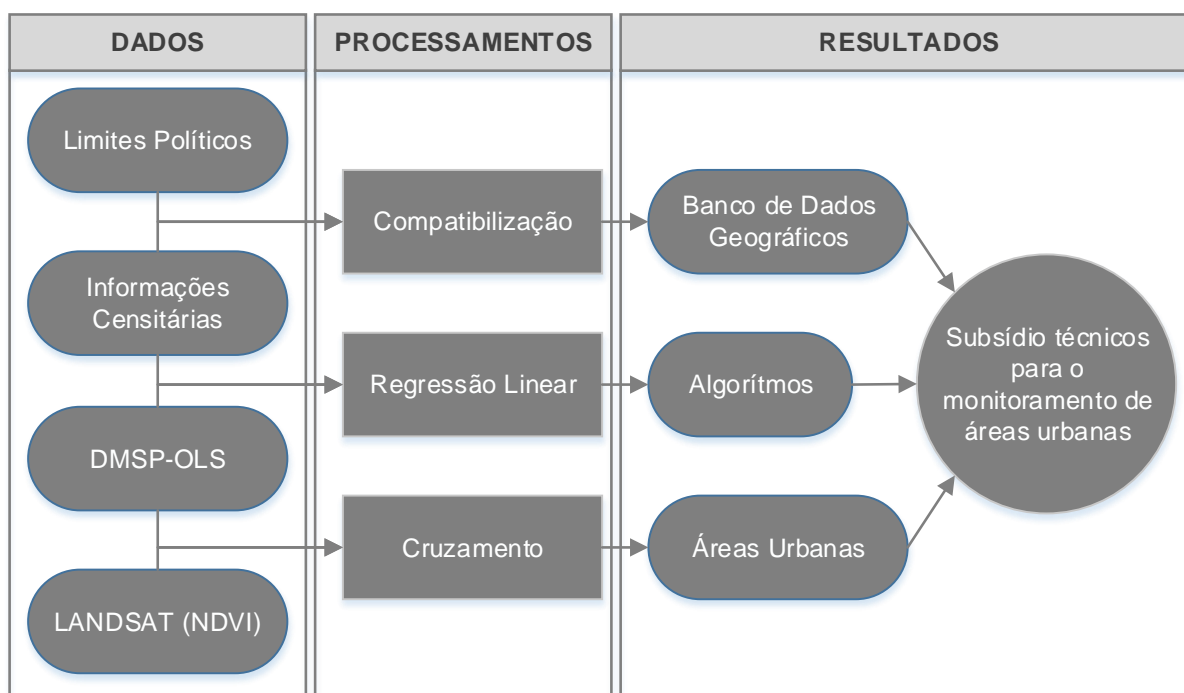


Figura 3 - Fluxo das atividades desenvolvidas.

Os dados, processos e resultados obtidos são os objetos de apresentação, discussão e detalhamento dos itens a seguir.

5.1 MATERIAIS, SOFTWARE E ESTRUTURA FÍSICA UTILIZADOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Modelagem de Bacias (IGEO – UFRGS) que conta com a estrutura computacional adequada para tal, além de material pessoal do discente.

Os *softwares* que foram utilizados, compreendem:

- ArcGis (versões 9.3 e 10) – *Software* para processamento de dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG);
- ENVI (4.5 ou superior) – *Software* para processamento digital de imagens;
- IDRISI Selva – *Software* para análise estatística, modelagem espacial e geração de cenários;
- Google Earth (versão 7 ou superior) - *Software* para visualização de imagens de alta resolução online; e
- Microsoft Office – Suíte de aplicativos para edição de texto, dados tabulares, imagens e apresentações.

As licenças desses *softwares* são de propriedade da universidade e alguns de propriedade do estudante.

Os *hardwares* utilizados no foram:

- Computador portátil de propriedade do discente;
- Mouse de propriedade do discente;
- HD Externo portátil de propriedade do discente;
- Pendrive de propriedade do discente; e
- Estação de trabalho completa, instalada no Laboratório de Modelagem de Bacias, cedida para uso temporário pela orientadora desse trabalho.

Os principais dados utilizados para a realização do trabalho foram:

- Limites políticos – disponíveis para *download* no *site* do IBGE (http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm);
- Limites dos setores censitários – disponíveis para *download* no *site* do IBGE (http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm);

- Informações censitárias – disponíveis para *download* no *site* do IBGE (http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm);
- Imagens Landsat – disponíveis para *download* no *site* do *Global Land cover Facility* (<http://glcf.umd.edu/data/landsat/>);
- Cartas Topográficas - obtidas em formato digital através da 1ª Divisão de Levantamento do Exército; e
- Imagens do sensor DMSP-OLS - obtidas através do NOAA *National Geophysical Data Center* (<http://www.noaa.gov/about-noaa.html>).

Esses dados e outras informações secundárias são objeto da próxima seção que pormenoriza suas estruturas e fontes.

5.2 DADOS E FONTES DE INFORMAÇÃO

A base de dados utilizada na realização do trabalho inclui uma série de informações, em sua maioria informações espaciais. Os dados utilizados e suas respectivas fontes são listados abaixo:

- Informações obtidas por *download* do *site* do IBGE:
 - Limite Municipal para o Estado do Rio Grande do Sul – 2000;
 - Limite Municipal para o Estado do Rio Grande do Sul – 2010;
 - Limite Municipal para o Estado do Rio Grande do Sul – 2013;
 - Limite dos Setores Censitários – 2000;
 - Limite dos Setores Censitários – 2010;
 - Informações tabulares do Censo de 2000;
 - Informações tabulares do Censo de 2010;
 - Referências metodológicas do Censo de 2000; e
 - Referências metodológicas do Censo de 2010.
- Informações obtidas por *download* do *site* do USGS:
 - Imagens noturnas DMSP-OLS, do tipo *stable lights*.
- Informações obtidas por *download* do *site* do GLFC:
 - Imagens Landsat.
- 1ª Divisão de Levantamento:
 - Cartas topográficas.

5.2.1 Limites Políticos

Os limites políticos utilizados foram obtidos por *download* do site do IBGE. Adquirimos os limites para os anos de 2000, 2010 e 2013. Somados aos limites municipais, obtivemos os limites dos setores censitários para os anos de 2000 e 2010.

5.2.2 Informações censitárias

As informações dos censos dos anos 2000 e 2010 foram obtidas por *download* do site do IBGE. Essas informações são disponibilizadas de maneiras diferentes para os censos e um processo de compatibilização foi necessário. A seguir é descrita a estrutura dos dados obtidos.

Para o ano de 2000 o IBGE disponibiliza os limites dos setores censitários individualizados para os setores urbanos. Os setores urbanos são disponibilizados separadamente para cada município. Já os setores rurais são disponibilizados em arquivo único para todo o estado do Rio Grande do Sul. Além disso existe sobreposição espacial entre os dados, os setores urbanos de um município estão contidos em um ou mais setores rurais. O detalhamento dos limites é diferente, sendo os setores urbanos disponibilizados em uma escala maior que os rurais.

Isso implica na necessidade de uma compatibilização, pormenorizada no item 5.3.3 deste trabalho. Além das informações espaciais foram obtidas as tabelas com os resultados para o universo e a documentação metodológica.

Já para o ano de 2010 não há a separação entre as feições dos setores urbanos e dos setores rurais. Isso elimina a necessidade de adequações na base, tornando necessárias somente verificações lógicas. Essas também são tratadas no item 5.3.3.

5.2.3 Imagens DMSP-OLS

Os dados do DMSP são disponibilizados para *download* pelo site do USGS. Os arquivos adquiridos são da série *stable lights*. Os dados dessa série são resultado de todas as aquisições do sensor, processadas visando a eliminação de focos de luz eventual e ruído de fundo. Os valores de iluminação vão de 1 a 63. (USA, 2015b)

Foram obtidos, via *download* do *site* do USGS, os arquivos disponíveis da série *stable lights* para os anos 1992, 2000 e 2010.

- F101992.v4.tar
- F142000.v4.tar
- F152000.v4.tar
- F182010.v4.tar

Devido à disponibilidade do imageamento de duas plataformas diferentes para o ano 2000, foi necessário selecionar qual dos conjuntos de dados era o mais adequado. Para isso foi utilizado um dos arquivos que acompanha os dados de iluminação, o arquivo de observações livres de nuvens.

Estes arquivos, chamados de *Cloud-free Coverages*, apresentam o número de observações livres de nuvem observadas a cada célula de 30 segundos de arco (USA, 2015). Abaixo a Figura 4 apresenta os recortes para a área de estudo dos dados F14 e F15 para o ano 2000:

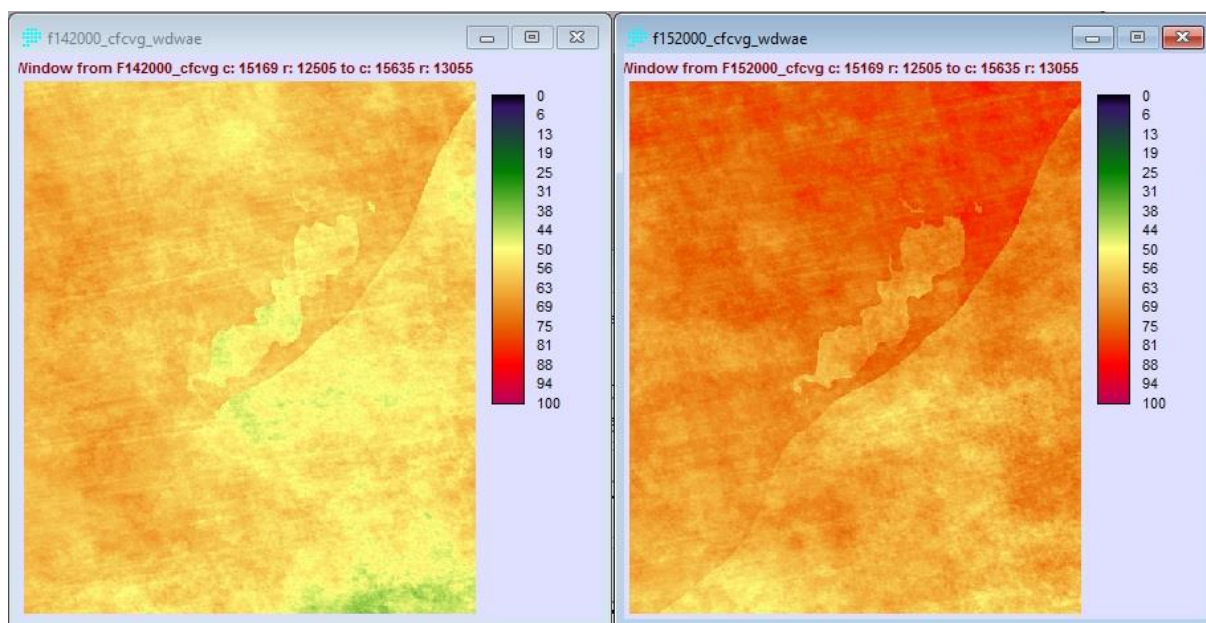


Figura 4 - Cloud-freeCoverages, recortadas para a área de estudo, dos dados F14 e F15 para o ano 2000.

A partir desses dados, selecionamos a informação F15, que apresenta um número maior de observações livres que a informação F14.

Com isso temos o conjunto completo, das três épocas, para a área de estudo apresentado na Figura 5.

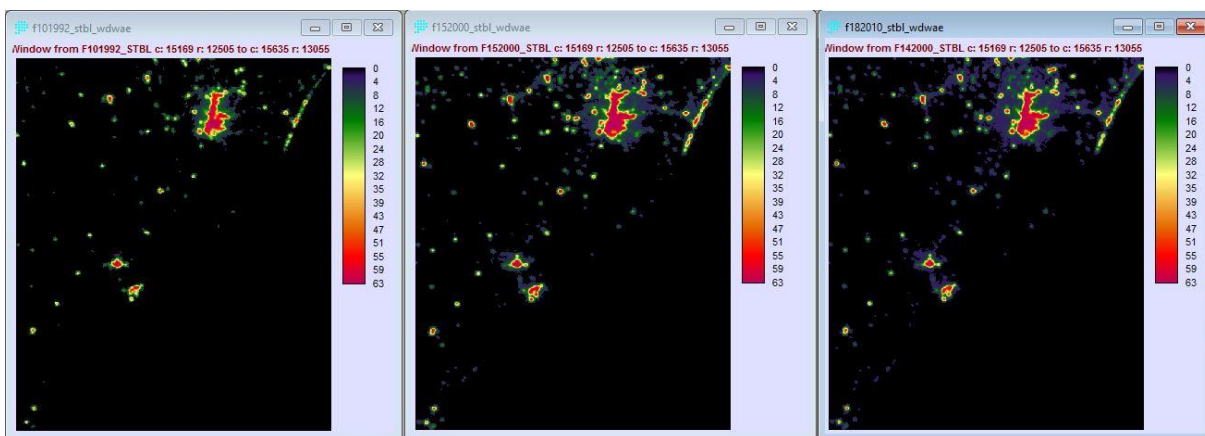


Figura 5 - Conjunto das imagens noturnas dos anos 1992, 2000, 2010.

5.2.4 Imagens Landsat

Para que o mapeamento das áreas urbanas – realizado pelo cruzamento dos resultados de NDVI com a resposta das imagens DMSP-OLS – fosse realizado, necessitamos da cobertura completa da área de estudo pelas cenas Landsat. A **Erro! fonte de referência não encontrada.** apresenta as cenas interceptadas pela área de estudo, que são: 220/80, 220/81, 221/81, 221/82, 221/83 e 222/83.

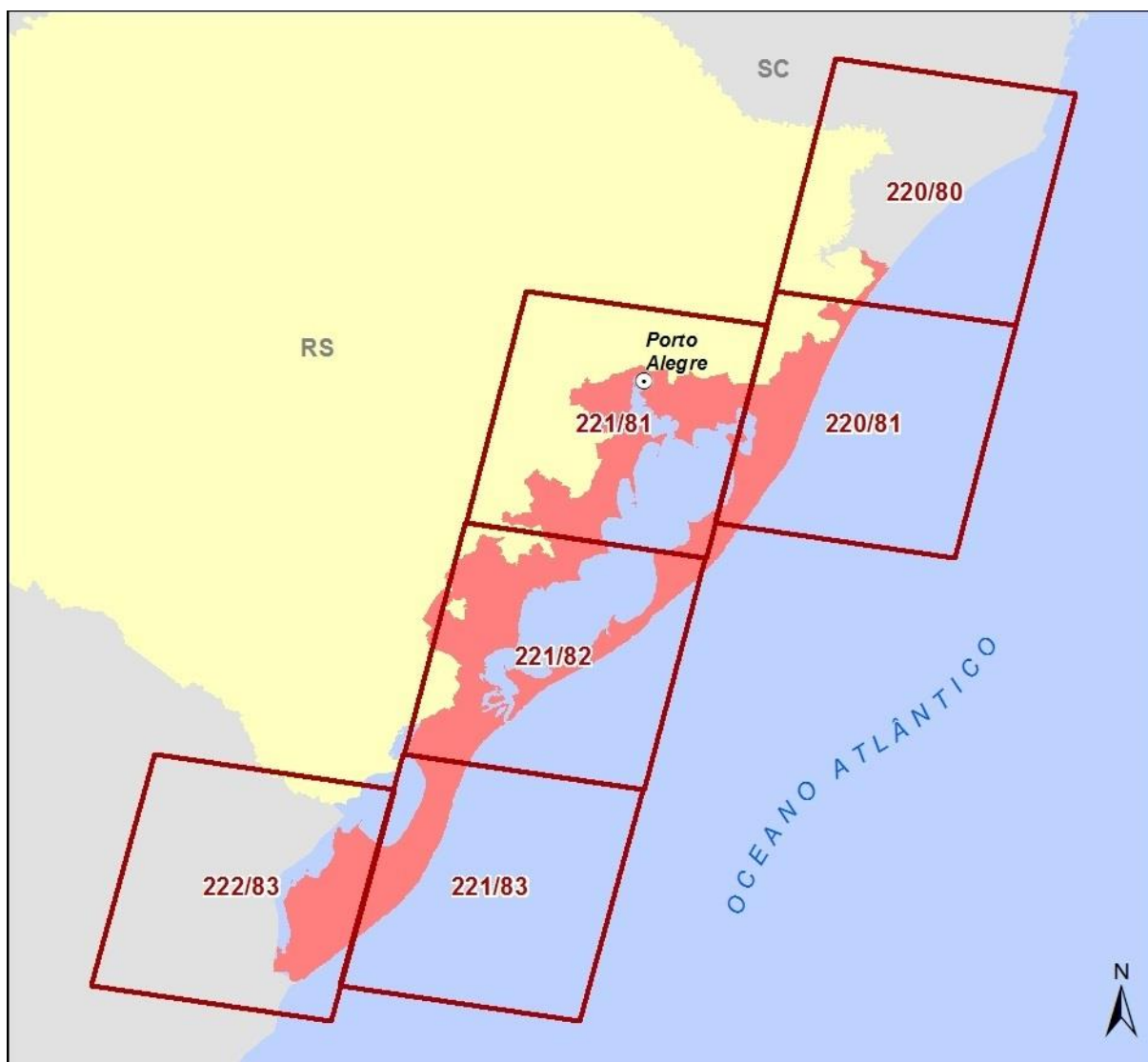


Figura 6 - Localização das cenas Landsat utilizadas.

Cabe aqui informar que os limites da grade de cenas Landsat, obtido por *download* no *site* do Departamento de Geração de Imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/>), representa a área de abrangência das cenas sem a região de sobreposição entre elas. As regiões da área de estudo que não são contempladas nos limites apresentados, estão nessas áreas de sobreposição e são contempladas nas imagens adquiridas.

Para cada cena foram obtidos 4 *sets* de imagens. Um *set* para cada ano de interesse do estudo 1992, 2000 e 2010 e um *set* com o ano mais antigo que fosse possível obter registro para todas as cenas com baixa cobertura de nuvem, 1985. Esse último foi utilizado para o registro das cenas. A seguir a Tabela 2 apresenta as datas das imagens obtidas para cada cena.

Tabela 2 - Relação das cenas Landsat utilizadas.

Órbita	Ponto	Data
220	80	14/11/1985
220	81	14/11/1985
221	81	06/02/1985
221	82	06/02/1985
221	83	17/08/1985
222	83	01/03/1985
220	80	10/04/1993
220	81	30/09/1992
221	81	21/09/1992
221	82	11/01/1993
221	83	11/01/1993
222	83	01/12/1992
220	80	18/07/2000
220	81	19/08/2000
221	81	23/06/2000
221	82	23/06/2000
221	83	27/09/2000
222	83	02/09/2000
220	80	04/02/2010
220	81	19/11/2010
221	81	05/05/2011
221	82	05/05/2011
221	83	02/05/2010
222	83	23/04/2010

A necessidade de um set de imagens mais antigo é oriunda da base utilizada para o registro. Foram utilizadas cartas topográficas, datadas do início da década de 1980 e final da década de 1970.

5.2.5 Cartas Topográficas

As cartas topográficas digitalizadas foram fornecidas pela 1ª Divisão de Levantamento do Exército. Do total das cartas fornecidas foram utilizadas 87 cartas. Parte dos arquivos está em formato raster e parte em formato vetorial. Os arquivos raster são independentes (um arquivo por carta), já as cartas em formato vetorial estão em um único arquivo. Na Figura 7 são localizadas as cartas utilizadas, classificadas pelo formato em que foram fornecidas.

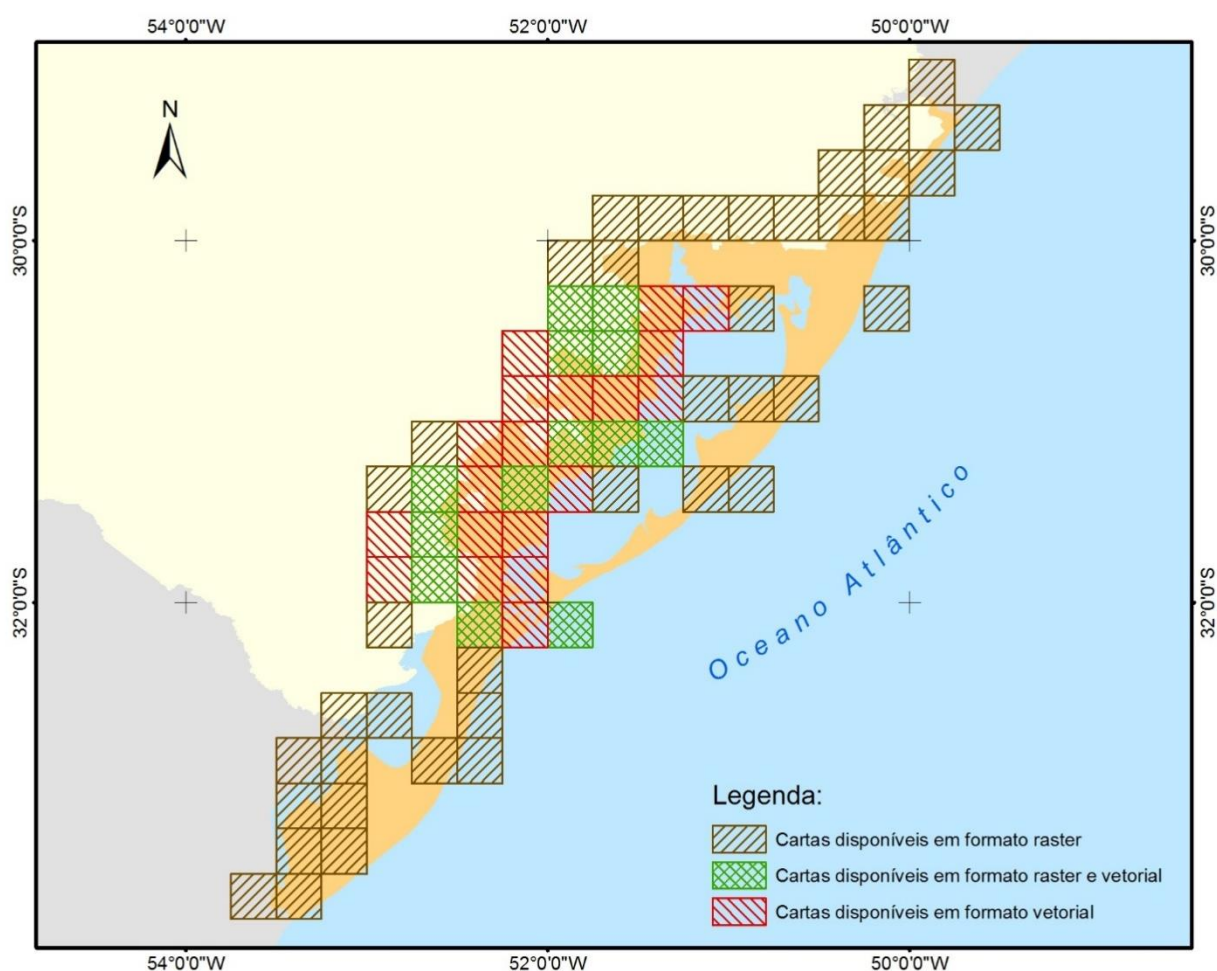


Figura 7 - Localização das cartas topográficas

5.3 PROCESSAMENTOS ANALÍTICOS

5.3.1 Adequação dos dados à área de estudo

O dado base utilizado para a definição da área de estudo foi o limite municipal para o Estado do Rio Grande do Sul disponibilizado pelo IBGE para o ano de 2013. A partir desse limite os dados foram selecionados e/ou cortados.

Os limites políticos e dados censitários foram selecionados a partir dos municípios que constituem a área de estudo a partir de seleção por atributo. Já no caso das imagens utilizamos o procedimento *image windowing*, que extrai parte de um dado matricial a partir de uma delimitação geográfica – no caso foi o retângulo envolvente da área de estudo.

Cabe aqui ressaltar que antes dos processamentos, excetuando o registro das imagens Landsat, todos os dados foram adequados a extensão da área de estudo.

5.3.2 Registro das imagens Landsat

Foram obtidas 24 cenas de Landsat com todas as bandas disponíveis. Não utilizaremos a banda 6, do termal, que possui resolução espacial de 120 m. As imagens são adquiridas com um pré-processamento que aproxima essas do seu posicionamento geodésico real.

Para o registro das imagens utilizou-se como referência as cartas topográficas (que tiveram suas características pormenorizadas no item 5.2.5). O sistema de referência das imagens adquiridas é o WGS 84 (que não possui diferença prática do SIRGAS, como já comentado no item 4.1) e o sistema de referência das cartas é o Córrego Alegre (que possui seus parâmetros de conversão definidos para o SIRGAS – item 4.1). Os dados das cartas topográficas foram convertidos para o SIRGAS (cujos parâmetros de conversão constam no ANEXO B)

Realizou-se o registro das imagens Landsat em duas fases. A primeira compreende o registro do *set* de imagens do período mais antigo (1985). Essas foram registradas

por um procedimento *Map-to-Image*, em que como referência foram utilizadas as cartas topográficas.

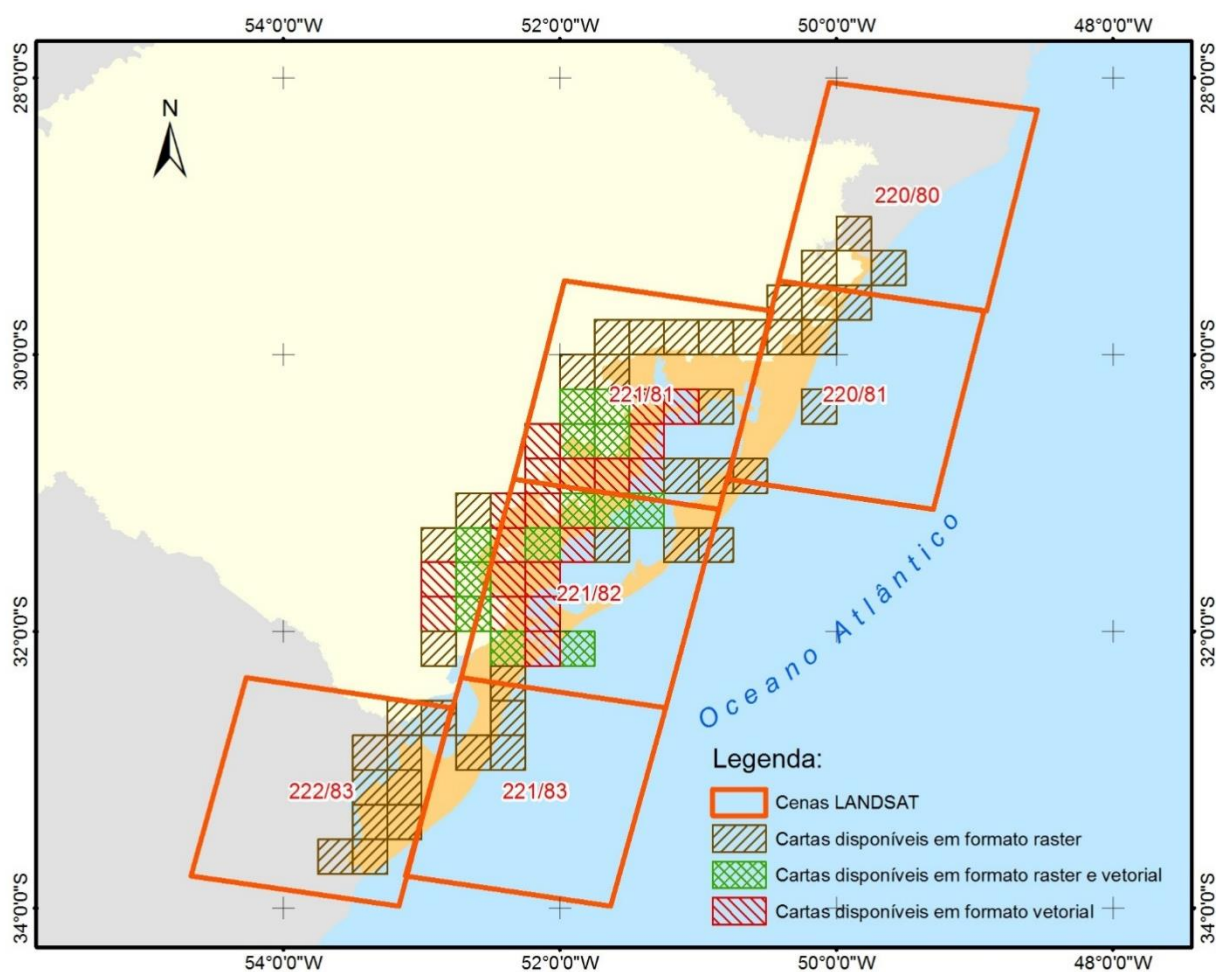


Figura 8 - Localização das cartas topográficas nas cenas LANDSAT

Na Figura 8 podemos observar que para o registro de cada cena Landsat, várias cartas foram necessárias. A relação de cartas utilizadas para o registro de cada cena é apresentada no APÊNDICE B.

O RMS obtido foi inferior a 1 pixel para todas as imagens e as imagens registradas estão referenciadas ao SIRGAS2000. Os resultados dos registros, expressos em valores de RMS, são apresentados para cada cena na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de RMS obtidos no registro das imagens Landsat de 1985.

Orbita	Ponto	Data	RMS (m)
220	80	14/11/1985	27.72
220	81	14/11/1985	24.77
221	81	06/02/1985	25.82
221	82	06/02/1985	25.02
221	83	17/08/1985	27.84

222	83	01/03/1985	27.29
------------	----	------------	-------

A segunda fase corresponde ao registro dos três *sets* restantes de imagens, essas foram registradas por um procedimento *Image-to-Image*, tendo como referência o set de imagem mais antigo, já registrado. Foram obtidos os valores de RMS apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de RMS obtidos no registro das imagens Landsat dos anos 1992, 200 e 2010.

Orbita	Ponto	Data	RMS (m)
220	80	10/04/1993	19.97
220	81	30/09/1992	21.85
221	81	21/09/1992	17.52
221	82	11/01/1993	3.62
221	83	11/01/1993	12.73
222	83	01/12/1992	13.93
220	80	18/07/2000	23.32
220	81	19/08/2000	13.88
221	81	23/06/2000	23.33
221	82	23/06/2000	14.75
221	83	27/09/2000	20.81
222	83	02/09/2000	28.41
220	80	04/02/2010	20.93
220	81	19/11/2010	20.63
221	81	05/05/2011	23.60
221	82	05/05/2011	18.38
221	83	02/05/2010	17.50
222	83	23/04/2010	27.22

Todos os dados, utilizados e obtidos, no processo de registro tem como sistema de referência o SIRGAS2000 e como sistema de coordenadas o UTM (Fuso 22S). O RMS obtido para o registro de cada cena não foi superior a 1 *pixel*.

Não é possível realizar procedimentos relacionados ao registro e correções geométricas de imagens DMSP-OLS já que a natureza do dado não permite o reconhecimento de feições. Entretanto, sabe-se que a qualidade posicional deste sensor varia entre 3 a 5 pixels (ELVIDGE *et al.*, 2004).

5.3.3 Construção do banco de dados geográficos

A construção do banco de dados se inicia na aquisição das informações que serão os componentes do banco. Iniciamos pela divisão municipal para as épocas do estudo. Acessando o *site* do IBGE, temos disponíveis os limites municipais para os anos de 1991, 2000, 2010 e 2013 entre outros.

Após a aquisição desses limites, foram adquiridos os dados dos censos demográficos dos anos 2000 e 2010. Os censos possuem estruturas de dados tabulares e espaciais diferentes, por isso foi necessário um trabalho de adequação da base cartográfica do censo de 2000 - que traz setores urbanos separados dos rurais – para que fosse possível a utilização para o trabalho.

Os setores urbanos foram incluídos na base cartográfica dos setores rurais. Quando da necessidade de aglutinação de área, sempre se buscou a generalização, tendo o cuidado de tratar cada variável de maneira adequada. As variáveis absolutas foram somadas e as relativas às áreas dos setores foram recalculadas para as novas áreas. Dessa forma foi obtido um banco de dados sem falhas lógicas nas ligações entre os dados tabulares e espaciais e nem falhas topológicas nos dados espaciais.

Todas as operações foram realizadas em *Access Database*, com a utilização dos *softwares* Access (pacote office) e ArcGIS. O Access foi utilizado nos trabalhos especificamente tabulares e o ArcGIS em tarefas de edição e operações com os dados espaciais, cálculos de área, operações tabulares e verificação da consistência lógica e topológica dos dados.

Como resultado, obtivemos um banco de dados que contém os setores censitários para a área de estudo (esses com seus limites espaciais inclusos) e as tabelas dos censos de 2000 e 2010.

5.3.4 Delimitação das áreas urbanas

A delimitação das áreas urbanas segue a metodologia proposta por Montenegro *et al.* (2014), em que as imagens noturnas são utilizadas junto à índices de vegetação. O método utiliza o NDVI para identificar as áreas livres de vegetação e as imagens

noturnas para diferenciar, nas áreas livres de vegetação, as áreas urbanas das não urbanas.

A delimitação das áreas urbanas nas imagens Landsat foi realizada a partir da aplicação de NDVI. Para esse procedimento foi utilizado o processo existente no software IDRISI. Acessado por *Image Processing/Transformation/VEGINDES*. A partir desse menu é possível a escolha do índice a ser utilizado. Os resultados podem ser visualizados na Figura 9.

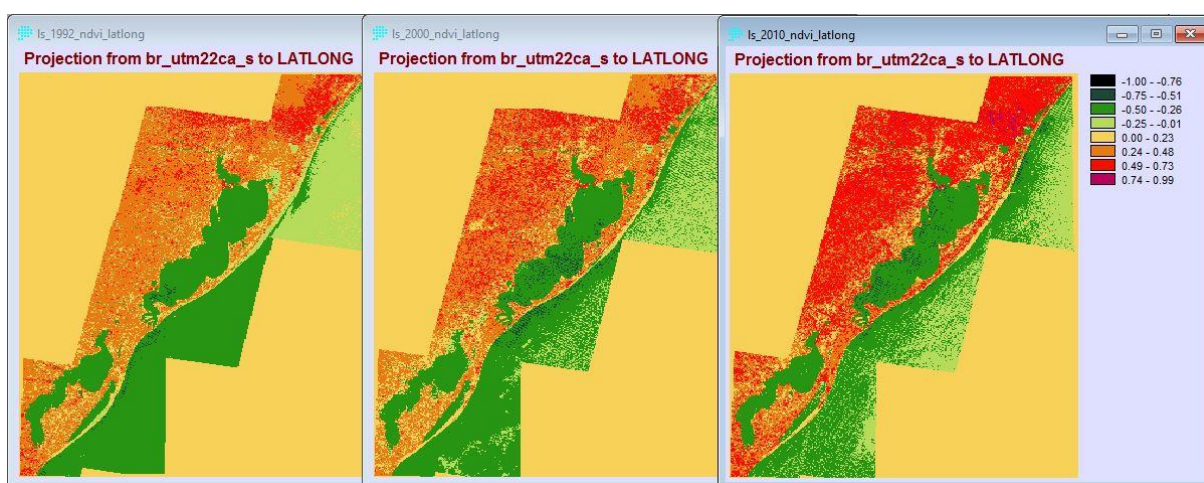


Figura 9 - Resultados da aplicação do NDVI para os anos de 1992, 2000 e 2010.

Observou-se que o índice resulta em valores semelhantes para áreas urbanas e não urbanas (como solo exposto). Com esse intervalo definido, as imagens foram reclassificadas de forma a separar em uma imagem *booleana* as áreas urbanas e de solo exposto. A partir dos resultados obtidos foi definido o intervalo que parte de -0,2 e vai até 0,2, seguindo o que é proposto por Montenegro *et al* (2014), que abrange valores de repostas para as áreas urbanas. Utilizou-se a ferramenta *Reclass*. Os resultados são apresentados, já adequados à área de estudo, na Figura 10.

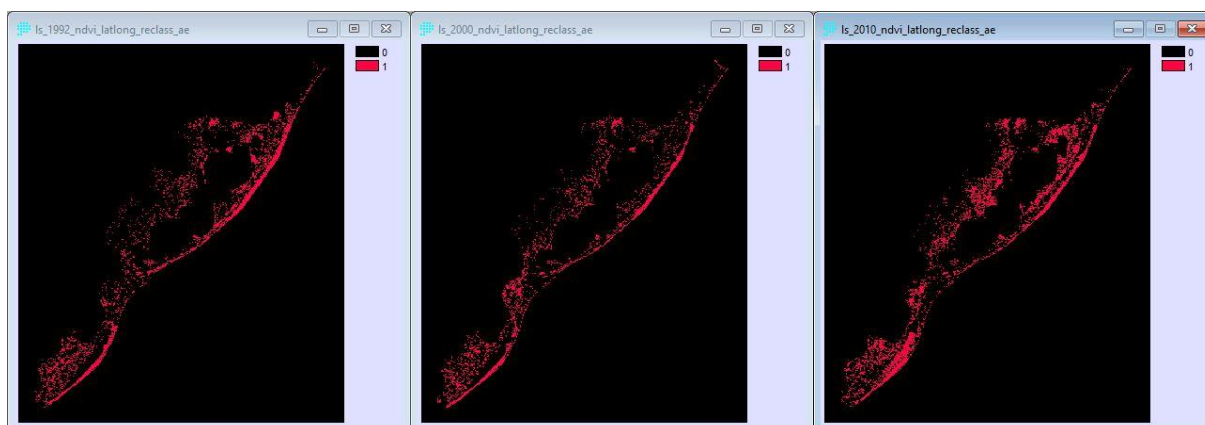


Figura 10 - Resultados do NDVI reclassificado para os anos de 1992, 2000 e 2010.

Na análise preliminar do resultado da classificação para o NDVI, foi detectado que a faixa utilizada para a identificação das áreas urbanas nas imagens de 2010 não identificava algumas áreas urbanizadas. Essa análise foi realizada por interpretação visual das imagens Landsat nos municípios de Porto Alegre (por ser parte do maior aglomerado urbano da AE) e de Mostardas (por conter um dos menores aglomerados urbanos). Expandimos o intervalo em 0.2, mantendo a simetria entre os valores positivos e negativos. Com isso os resultados abrangeram as áreas urbanizadas.

Para detecção das áreas urbanas na imagem DMSP-OLS, buscou-se a obtenção de limiares de luminosidade que coincidam com a ocorrência dessas áreas. Foi definido, como indicado por Montenegro *et al* (2014), um limiar próximo a 50%, que coincide com o valor 30 para a imagem noturna. A partir dessa definição, a imagem noturna foi reclassificada de forma a separar em uma imagem booleana as áreas urbanas das não urbanas.

Novamente, para o ano de 2010, notamos que o limiar escolhido não abrangia na totalidade as áreas urbanas. Então utilizamos um limiar mais baixo, com valor de 25 para a reclassificação da imagem. Na Figura 11 são apresentados os resultados.

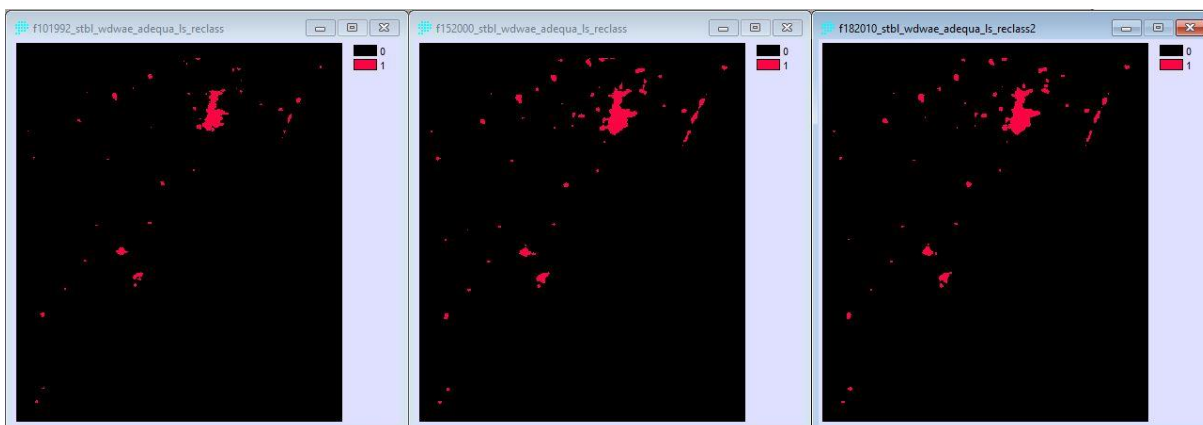


Figura 11 - Imagens noturnas reclassificadas para a identificação das áreas urbanas.

Com os produtos obtidos para as duas imagens pode-se realizar uma operação de *overlay* que combinou a imagem LANDSAT com a DMSP-OLS. O resultado dessa combinação é uma imagem que possui para as áreas urbanas apenas valores diferentes de zero. Os resultados são apresentados na Figura 12.

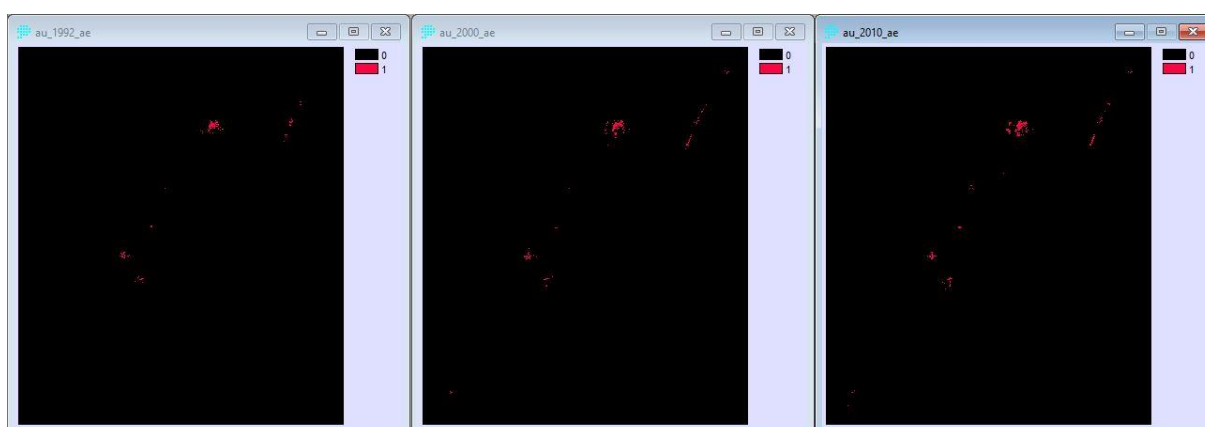


Figura 12 - Áreas urbanas resultantes dos cruzamentos entre os NDVI e as imagens noturnas.

As áreas urbanas delimitadas também são apresentadas no APÊNDICE C, onde estão os mapas das áreas urbanas dos municípios da área de estudo.

5.3.5 Geração dos algoritmos de indicadores socioeconômicos (imagens DMSP-OLS)

Os testes para a geração de algoritmos que constituem uma relação matemática para a determinação de indicadores socioeconômicos a partir dos valores das imagens noturnas realizou-se por regressão linear.

A ferramenta *Regress* do *software* IDRISI possibilita, através do *input* de duas imagens, a análise dos resultados da regressão. Através dessa ferramenta testou-se dois *sets* de imagens geradas para os anos de 2000 e 2010 dos seguintes resultados dos censos:

- Número de moradores;
- Número de domicílios;
- Número de moradores por domicílio; e
- Renda.

Os dados em formato *raster* foram gerados a partir das planilhas dos censos já compatibilizadas aos limites, em formato vetorial, dos setores censitários. Esses vetores, já com o banco de dados associado (compatibilização do banco de dados descrita no item 5.3.3) foram rasterizados. Compatibilizou-se as dimensões das imagens geradas para cada variável dos censos às dimensões das imagens noturnas, para tornar possíveis os testes de associabilidade dos temas. Com esses dados realizou-se os testes para geração de uma relação matemática entre as imagens DMSP-OLS.

Testou-se, além da regressão com os dados brutos, a regressão com dados transformados. Essas transformações foram realizadas através da ferramenta *Transform*, que possibilita diversas transformações geométricas nas imagens. Transformou-se a imagem noturna, escolhida segundo as características do seu histograma que, devido escala dos dados – variando de 1 a 63 -, indica a necessidade de uma transformação para se aproximar da forma dos histogramas das variáveis censitárias. Foram aplicadas as seguintes transformações:

- *Reciprocal*;
- *Natural logarithm*;
- *Natural antlog*;
- *Logit*;
- *Square root*;
- *Square*;
- *Sine*;
- *Cosine*;

- *Tangent*;
- *Arcsin*;
- *Arccos*;
- *Arctan*;
- *Radians*;
- *Degrees*; e
- *Absolut*.

As transformações *Arcsine* e *Arccos* não foram utilizadas porque essas necessitam que os dados de *input* possuam valores numéricos de -1 a 1. As transformações *Square*, *Degrees* e *Absolut*, para os dados testados, apresentaram resultados próximos. Utilizou-se nos testes somente os dados gerados a partir da transformação *Square*.

Com todos os dados gerados, fez-se os testes de regressão para as 11 imagens geradas para cada ano, junto às 4 variáveis censitárias de cada ano, totalizando 88 testes de regressão realizados.

5.3.6 Testes de acuracidade

Realizou-se os testes de acuracidade para os produtos gerados no trabalho. As áreas urbanas identificadas pelo cruzamento do NDVI com as imagens noturnas, para esse produto aplicou-se a metodologia proposta por USA (2010).

5.3.6.1 Identificação e delimitação das áreas urbanas

Tesou-se a acuracidade do método a partir de amostras coletadas. Definiu-se a quantidade de pontos a serem visitados de acordo com o proposto por USA (2010), em que é indicado o valor de 30 pontos por classe para classes abundantes, com mais 50 ha. O resultado da classificação possui duas classes, áreas urbanas ou não urbanas. Sendo assim, distribuiu-se na AE 60 pontos de controle.

Sendo as áreas urbanas o objeto a ser mapeado, utilizamos como amostras as sedes dos 29 municípios da área de estudo para compor a amostra. Outros 31 pontos foram distribuídos de foram a manter a homogeneidade do conjunto. A Figura 13 apresenta

a distribuição dos pontos na área de estudo e as coordenadas desses pontos são apresentadas junto aos resultados na Tabela 5 (item 6.1).

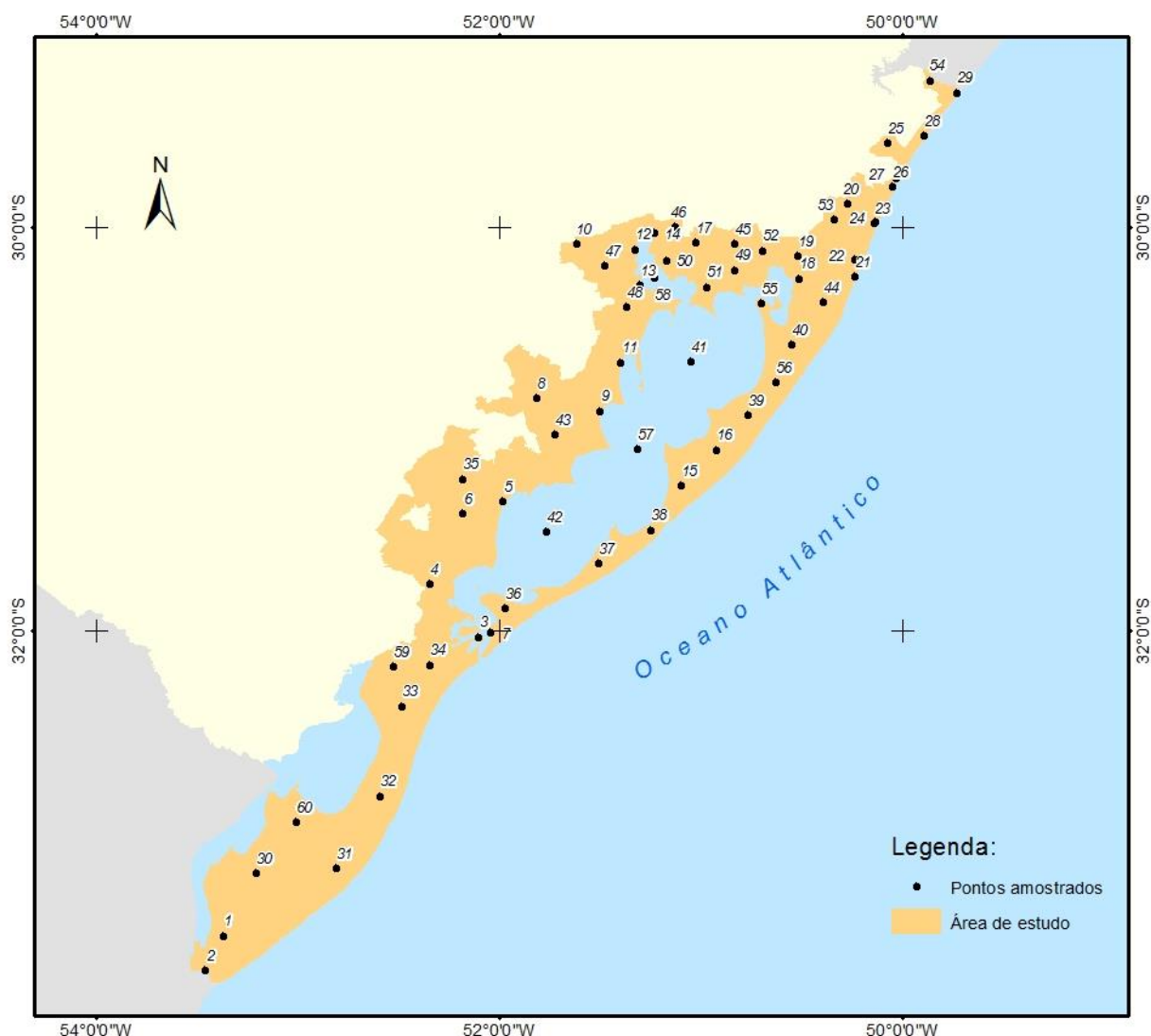


Figura 13 - Localização dos pontos amostrados para a verificação de acuracidade.

A posição de cada ponto de controle foi visitada, nas próprias imagens Landsat e no *software* Google Earth, para as imagens das três épocas. Foi realizado um comparativo entre o resultado da delimitação realizada a partir do cruzamento dos resultados do NDVI com as imagens noturnas e a interpretação visual das composições em cor verdadeira das imagens Landsat.

5.3.6.2 Algoritmos de indicadores socioeconômicos

A acuracidade das relações matemáticas entre os indicadores socioeconômicos e as imagens noturnas foi testada pelo coeficiente de correlação r , obtido como resultados

da regressão linear aplicada. Para isso, avaliou-se os coeficientes da equação obtida na regressão, os desvios padrão das variáveis e também os resíduos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS URBANAS

Para os dados de 1992 encontramos – dos 60 pontos de controle – 45 pontos corretos e 15 pontos incorretos, chegando a uma taxa de 75% de áreas identificadas corretamente. Já para os dados de 2000 e 2010 foram 53 pontos corretos e 7 incorretos, 88,3% de acuracidade.

As áreas urbanas não identificadas nos dados dos anos de 2000 e 2010 são as dos municípios: Arroio do Sal, Terra de Areia, Capivari do Sul, Palmares do Sul, Mostardas, Tavares e Arambaré. Todas essas áreas também não foram identificadas nos dados do ano de 1992 e para esse ano somam-se às áreas dos municípios: Chuí, São Lourenço do Sul, São José do Norte, Eldorado do Sul, Tapes, Barra do Ribeiro, Xangri-lá, e Torres.

Cabe aqui ressaltar que não houve identificação falsa de áreas urbanas, ou seja, em regiões em que não há ocupação urbana, a metodologia não apresenta falha. As falhas encontradas são de não identificação de áreas urbanizadas ou de identificação de áreas solo exposto ou corpos d'água que apresentam grande quantidade de sedimentos suspensos, no entorno de áreas urbanas, como áreas urbanizadas.

A Tabela 5 apresenta os resultados para cada ponto por ano e também as coordenadas (SIRGAS2000) correspondentes.

Tabela 5 - Coordenadas (SIRGAS2000) e resultados dos pontos de verificação da acuracidade da delimitação das áreas urbanas

Ponto	1992	2000	2010	Latitude	Longitude
1	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-33,519411	-53,36858
2	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-33,691411	-53,45758
3	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-32,035416	-52,099577
4	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,772411	-52,343578
5	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,365416	-51,978574
6	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,422413	-52,178575
7	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-32,015417	-52,042576
8	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,851421	-51,812569
9	INCORRETO	INCORRETO	INCORRETO	-30,915426	-51,498564
10	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,084434	-51,616544
11	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,67343	-51,39656

Ponto	1992	2000	2010	Latitude	Longitude
12	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,114438	-51,325545
13	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,291436	-51,30155
14	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,033442	-51,230538
15	INCORRETO	INCORRETO	INCORRETO	-31,287436	-51,094555
16	INCORRETO	INCORRETO	INCORRETO	-31,10744	-50,921551
17	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,081446	-51,023538
18	INCORRETO	INCORRETO	INCORRETO	-30,258454	-50,510541
19	INCORRETO	INCORRETO	INCORRETO	-30,145455	-50,515542
20	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,887461	-50,27054
21	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,247459	-50,233543
22	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,16146	-50,234543
23	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,985462	-50,134541
24	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,975462	-50,128541
25	INCORRETO	INCORRETO	INCORRETO	-29,585463	-50,071536
26	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,801463	-50,044539
27	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,761464	-50,030538
28	INCORRETO	INCORRETO	INCORRETO	-29,551464	-49,889534
29	INCORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,335464	-49,727529
30	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-33,20884	-53,206817
31	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-33,183217	-52,805387
32	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-32,824492	-52,59186
33	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-32,380356	-52,480826
34	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-32,175371	-52,344169
35	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,252935	-52,181889
36	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,896135	-51,968807
37	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,671209	-51,50435
38	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,504706	-51,244371
39	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,938011	-50,762388
40	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,587477	-50,549147
41	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,669269	-51,045736
42	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,513469	-51,764329
43	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,031486	-51,720512
44	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,377158	-50,391407
45	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,087968	-50,829574
46	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,000334	-51,127527
47	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,193128	-51,475139
48	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,400526	-51,364137
49	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,216497	-50,832495
50	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,169759	-51,168422
51	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,301209	-50,966866
52	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,1201	-50,68936
53	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,965281	-50,338827
54	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-29,275607	-49,862686
55	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,382708	-50,695203
56	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,774136	-50,628017
57	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-31,104222	-51,311557
58	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-30,2571	-51,229766
59	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-32,182111	-52,523817
60	CORRETO	CORRETO	CORRETO	-32,955713	-53,003584

A divergência dos resultados encontrados para os dados de 1992 quando comparados com os resultados encontrados para os dados de 2000 de 2010 não encontra explicação na metodologia, pois a mesma é aplicada para as três séries de dados. Assim sendo, uma hipótese para essa divergência, que não seja a má qualidade dos dados de entrada, surge da observação dos resultados sobrepostos.

A Figura 14 apresenta a localização do ponto de verificação sobre a área urbana do município de Torres. E a Figura 15, em sequência, apresenta um comparativo entre os resultados da reclassificação das imagens noturnas para os três anos na mesma área.



Figura 14 - Localização do ponto 29 sobre a área urbana de Torres.

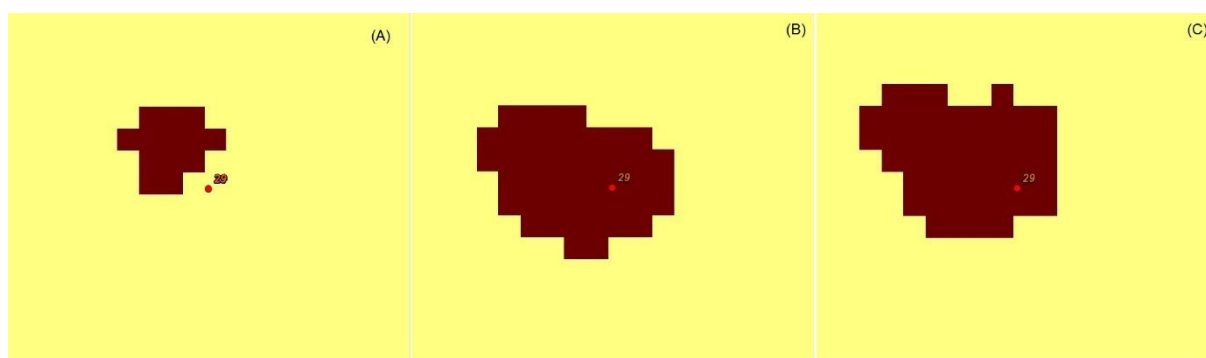


Figura 15 - Localização do ponto 29 nos resultados da reclassificação da imagem noturna para os anos 1992 (A), 2000 (B) e 2010 (C).

Por esse comparativo é possível constatar que o limiar escolhido para reclassificação das imagens noturnas de 1992 não foi eficiente, mesmo que tenham sido realizados os mesmos testes e utilizados os mesmos critérios para as outras duas épocas.

Analisando outras áreas urbanas não identificadas para o ano de 1992, uma outra hipótese surge. Como pode ser notado na Figura 16, o dado apresenta uma tendência de deslocamento à noroeste nas áreas urbanas identificadas.

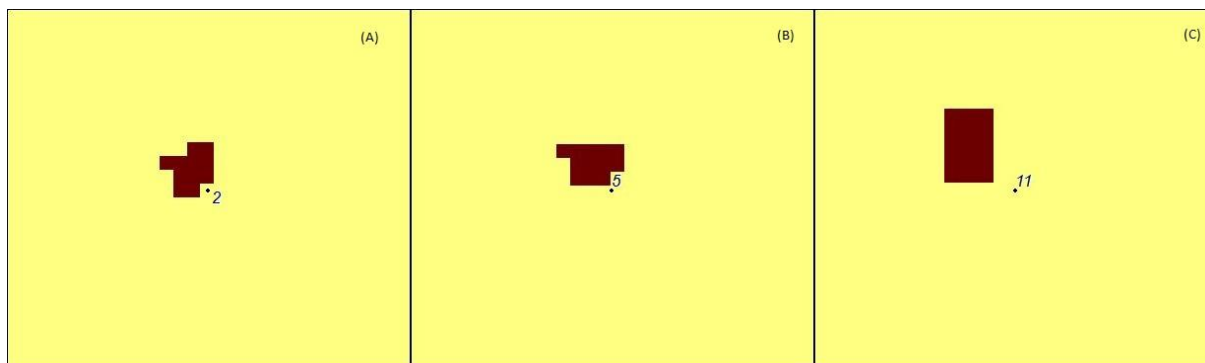


Figura 16 - Áreas urbanas identificadas na imagem noturna de 1992 para os municípios de Chuí (A), São Lourenço do Sul (B) e Tapes (C).

Esse deslocamento faz com que no cruzamento dos resultados das imagens noturnas com os resultados do NDVI, pequenas áreas urbanas não sejam identificadas. Além desse efeito, notamos alterações nos limites das áreas urbanas maiores, nas quais, apesar de identificadas, os limites são menos fidedignos quando comparados aos resultados obtidos para os anos de 2000 e 2010.

6.2 BANCO DE DADOS CENSITÁRIOS PARA A ÁREA DE ESTUDO

O BDG construído possui as informações das planilhas dos censos demográfico de 2000 e de 2010. A informações do Arquivo Básico para o universo estão inclusas no banco de dados associado diretamente aos limites dos setores censitários. As demais planilhas estão inclusas, mas sem as associações realizadas.

As planilhas do ano 2000, salvo a do arquivo básico, não sofreram alterações. Assim sendo carecem da compatibilização realizada para o arquivo básico quanto a generalização da base de setores rurais unida à base de setores urbanos. Ressalta-se que já estão identificadas as alterações a serem realizadas para cada tipo de variável em relação a cada setor.

Para o ano de 2010, não foram encontrados problemas lógicos para a associação das informações tabulares com a base vetorial. Desta forma consideração o banco de dados finalizado para esse ano.

6.3 ALGORITMOS DE INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

Os resultados obtidos para todos os testes realizados são apresentados no APÊNDICE D. Nesse são apresentados, além do coeficiente de correlação, os coeficientes a_1 e a_2 da equação (2) da reta obtida na regressão.

$$Y = a_1 + a_2 * X \quad (2)$$

Nos resultados obtidos para o ano 2000, foram descartados os resultados obtidos para as transformações *Reciprocal*, *Logit*, *Natural Logarithm* e *Square Root*. O mesmo ocorreu para o ano 2010 com as transformações *Reciprocal*, *Logit* e *Natural Logarithm*. O descarte desses resultados se deve ao valor obtido para o coeficiente a_2 , igual a zero.

A seguir são listados melhores resultados obtidos para o coeficiente de correlação para cada variável censitária testada.

6.3.1.1 Resultados para o ano 2000:

- Número de Domicílios

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.503394$

Utilizando a imagem noturna sem transformação: $r = 0.418927$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Square* e *Radians*: $r = 0.418927$

- Renda

Utilizando a imagem noturna sem transformações: $r = 0.526529$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Square* e *Radians*: $r = 0.526529$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.468666$

- Número de Moradores

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.481735$

Utilizando a imagem noturna sem transformação: $r = 0.407585$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Square* e *Radians*: $r = 0.407585$

- Média de moradores por domicílio

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.429685$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Cosine*: $r = -0.330015$

Utilizando a imagem noturna sem transformações: $r = 0.298156$

6.3.1.2 Resultados para o ano 2010:

- Número de Domicílios

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.511079$

Utilizando a imagem noturna com transformação *SquareRoot*: $r = 0.490936$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Cosine*: $r = -0.42147$

- Renda

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.405196$

Utilizando a imagem noturna com transformação *SquareRoot*: $r = 0.377382$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Cosine*: $r = -0.326946$

- Número de Moradores

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.495109$

Utilizando a imagem noturna com transformação *SquareRoot*: $r = 0.479379$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Cosine*: $r = -0.40717$

- Média de moradores por domicílio

Utilizando a imagem noturna com transformação *Arctan*: $r = 0.380405$

Utilizando a imagem noturna com transformação *SquareRoot*: $r = 0.334228$

Utilizando a imagem noturna com transformação *Cosine*: $r = -0.324741$

Os resultados apresentam valores baixos para o coeficiente de correlação. Os melhores resultados chegaram a pouco mais de 0,5. Os resultados obtidos para a

variável de moradores são que mais surpreendem, pois Amaral (2005), em estudo que tem como área de estudo parte da região amazônica, encontra para a população, como pior resultado 0,54. No mesmo trabalho são encontrados resultados melhores quando os grandes centros são separados para a análise. Avaliando separadamente as regiões com grande e pequenas aglomerações, o autor chegou ao valor de correlação de 0,79 entre a população e os valores DMSP-OLS.

Na área de estudo temos a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) como grande centro, tendo os valores apresentados nas imagens noturnas mais altos e concentrados quando comparado com o restante da área de estudo. Também se destacam os aglomerados de Rio Grande e Pelotas, mas com menor relevância.

Amaral (2005) também trata da correlação entre os valores das imagens noturnas e o consumo de energia elétrica e encontra valores de correlação acima de 0,7. Isso nos leva a crer que a variável de renda deve acompanhar a melhora nos resultados da variável de moradores, caso a RMPA seja analisada separadamente.

Outra questão que surge é quanto a variabilidade da dimensão dos setores censitários e sua distribuição. Analisando os histogramas, notamos que a concentração dos pequenos setores urbanos, unida a grande dimensão de alguns setores rurais, não acompanha a variação espacial dos valores das imagens noturnas, menos abrupta. Tais características dos dados podem ter influenciado negativamente as correlações espaciais.

7 CONCLUSÃO

Embora a Cartografia possua e venha ampliando seu espaço e importância no planejamento municipal e regional, o desenvolvimento de técnicas menos custosas e adaptadas às necessidades dos gestores é mais lento que a evolução das necessidades e possibilidades desse campo.

A expansão cada vez mais veloz das cidades e o aumento da complexidade das relações em nível regional. Tornam cada vez mais necessária ao desenvolvimento econômico e social, ferramentas e informações sirvam ao planejamento e à execução de ações e políticas. O desenvolvimento dessas ferramentas e a geração dessas informações representam um campo de atuação ainda em desenvolvimento.

As técnicas de mapeamento de áreas urbanizadas necessitam de atualização e desenvolvimento, que às tornem menos custosas e mais eficazes. A utilização de conceitos amplamente utilizados no mapeamento de outras feições com características diferentes, como a vegetação, é um importante vetor de desenvolvimento.

A utilização do NDVI para a identificação de áreas não vegetadas se mostrou satisfatória, mesmo sem que fossem realizados grandes esforços na compatibilização das respostas das diversas cenas Landsat. Foi possível a definição de um único limiar de identificação, em uma área bastante diversa em usos do solo e em características naturais, como a área de estudo.

O cruzamento de dados com naturezas e escalas tão distintas, como os oriundos dos programas Landsat e DMSP, trouxe muitos desafios de compatibilização. Os resultados obtidos mostram que os processos utilizados são eficientes e reduzem de maneira significativa os custos de identificação e delimitação de áreas urbanizadas.

A construção do banco de dados trouxe à tona as dificuldades na utilização dos dados censitários de 2000 compatibilizados aos dados espaciais do mesmo ano. Para esse processo foram realizadas generalizações que degradaram os dados, visando a não propagação de falsa informação. Cabem estudos mais detalhados sobre a metodologia utilizada pelo IBGE na elaboração dos dados, para que essa compatibilização possa ser realizada sem que se degrade a informação. Com isso

teríamos também um banco de dados unificado, mas com a totalidade do detalhamento das informações disponibilizadas pelo IBGE.

Com a base unificada e consistente foi possível utilizar dessa informação para os testes sobre os algoritmos de indicadores socioeconômicos. As técnicas de transformação e regressão utilizadas se mostraram procedimentos poderosos quando da necessidade de encontrarmos relações matemáticas entre fenômenos espaciais. Visto que, principalmente para o ano de 2010, os testes com os dados transformados apresentaram coeficientes de correlação maiores.

Os coeficientes de correlação obtidos não permitem a utilização das relações matemáticas obtidas. Estes são baixos, pouco maiores que 0,5, nos melhores casos. Das transformações testadas para as imagens noturnas, as que apresentaram melhores resultados foram a *Arctan*, *Square*, *Square Root* e *Cosine*, além da imagem sem transformações. Esses resultados indicam quais formatos de transformações devem ser ainda testados.

A diversidade da área de estudo em termos de uso do solo, exemplificados nas diferenças entre as áreas do extremo sul do estado e no aglomerado urbano da RMPA, são fatores a serem explorados na busca de melhores resultados. Regiões com características tão diferentes nas respostas dos dados DMSP-OLS podem produzir melhores resultados quando analisadas separadamente.

Também supomos que os baixos coeficientes de correlação encontrados podem ser frutos da variabilidade nas dimensões dos setores. Propõe-se que sejam avaliadas técnicas que permitam a adequação das respostas das imagens noturnas aos limites dos setores censitários, por exemplo, utilizando a média de valor das imagens noturnas por setor, em testes futuros.

Outra hipótese vai de encontro aos resultados obtidos na delimitação das áreas urbanas do ano de 1992, que apresentou uma tendência de deslocamento. A regressão, baseada no posicionamento espacial das feições, sofre as influências das incorreções desse posicionamento.

7.1 RECOMENDAÇÕES E ATIVIDADES FUTURAS

No processo de identificação de áreas não vegetadas cabem maiores verificações quanto às áreas de solo exposto, como as existentes no litoral. Essas, possuem características específicas e respostas padronizadas que podem ser exploradas para melhorar a eficiência dos procedimentos aqui propostos. Outro caso que merece atenção é o dos corpos d'água com grande quantidade de sedimento em suspensão.

A adição de algum processo, como a geração do *Normalized Difference Water Index* (NDWI), ou mesmo o incremento em algum dos processos utilizados deve levar à melhor identificação dessas áreas. Também merece ser analisado o melhor período para a aquisição das imagens, que serão as épocas em que ambiente estudado tenha seu máximo de biomassa, considerando nessa análise as áreas agrícolas.

No que toca às imagens noturnas, propomos duas linhas que podem trazer incrementos à metodologia. A primeira trata da avaliação do impacto da quantidade de observações livres de nuvens nos resultados. Utilizando o dado *Cloud-free Coverages* em anos que temos dois ou mais imageamentos, como ocorre em 2000.

O segundo trata da verificação da aplicabilidade de técnicas de registro de imagens nos dados do DMSP-OLS. O aparente deslocamento identificado nas imagens de 1992, em pequenos núcleos urbanos, traz a possibilidade da utilização de pequenos aglomerados urbanos para aferição da qualidade posicional e para o registro dessas imagens.

Além das avaliações já comentadas sobre a identificação e delimitação de áreas urbanas, ficam como sugestões de trabalhos futuros:

- Testes com mais variáveis censitárias;
- Testes com outros tipos de regressão e processos correlatos;
- Avaliação da influência do número de observações livres de nuvens na regressão; e,
- Realização dos testes para a RMPA e para a área de estudo excluindo-se a RMPA.

8 REFERÊNCIAS

AMARAL, Silvana et al. Estimating population and energy consumption in Brazilian Amazonia using DMSP night-time satellite data. **Elsivier: Computers, Environment and Urban Systems**, Filadélfia EUA, n. 29, p.179-195, 2005.

BRASIL. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DGI - Divisão de Geração de Imagens. **DOWNLOAD**. 2015. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/download.html>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SGB - Sistema Geodésico Brasileiro: Introdução**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_sgb_int.shtm?c=1>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BRASIL. INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Governo Federal. **RESOLUÇÃO DO PRESIDENTE: R.PR – 1/2005**. 2005. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/images/inde/rpr_01_25fev2005.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Instrumentos do Gerenciamento Costeiro**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/instrumentos-do-gerenciamento-costeiro>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Gerenciamento Costeiro no Brasil**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro>>. Acesso em: 17 jul. 2013.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II)**. Brasília: 1997. 9 p.

BRASIL. MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrumentos do Gerenciamento Costeiro**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/instrumentos-do-gerenciamento-costeiro>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

BRASIL. Resolução nº 1/2015, de 24 de fevereiro de 2015. **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Resolução da Presidência: R.PR – 1/2015**. Brasil, 24 fev. 2015. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BRENTANO, Tomaz Bohrer. **Desenvolvimento de um Modelo de Webgis Colaborativo para a Gestão e Tomada de Decisão na Estação Ecológica do Taim**. 2014. 127 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BURROUGH, Peter A. **Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment**. New York: Clarendon Press; Oxford University Press, 1986. 193 p. (Monographs on soil and resources survey; nº 12).

CÂMARA, Gilberto; QUEIROZ, Gilberto Ribeiro de. **Geoprocessamento - Teoria e Aplicações - Parte I**: Cap. 3 – Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

CANADA. NRCAN - Natural Resources Canada. **Fundamentals of Remote Sensing**, Canada Centre For Remote Sensing, 2008. 258 p.

CORDEIRO, João Pedro; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria; CÂMARA, Gilberto. **Geoprocessamento - Teoria e Aplicações - Parte I**: Cap. 8 – Álgebra de Campos e Objetos. Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

DALAZOANA, Regiane. **Implicações aa Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS**. 2001. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Pósgraduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2014/04/Dissertacao_Regiane.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

D'ALGE, Júlio César Lima. **Geoprocessamento - Teoria e Aplicações - Parte I**: Cap. 6 - Cartografia para Geoprocessamento. Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

EASTMAN, J.R. **IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing**. 2003. Worcester, Ma: Clark Labs. 328 p.

ELVIDGE, C.D., SAFRAN, J., NELSON, I.L., TUTTLE, B.T., HOBSON, V.R., BAUGH, K.E., DIETZ, J.B., ERWIN, E.H., **Area and position accuracy of DMSP nighttime lights data.**, Ed. Lunetta R.S. and Lyon, J.G., CRC Press, 2004. (*Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment*) p. 281-292

ELVIDGE, C.D.; ERWIN, E.H.; BAUGH, K.E.; ZISKIN, D.; TUTTLE, B.T.; GHOSH, T.; SUTTON, P.C., **Overview of DMSP nighttime lights and future possibilities**, *IEEE Proceedings of the 7th International Urban Remote Sensing Conference*, 2009, 5 Pages

GALLO, K.P., ELVIDGE, C.D., YANG, L., REED, B.C., **Trends in nighttime city lights and vegetation indices associated with urbanization within the conterminous USA**, *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 25(10), 2003 - 2007

LILLESAND, T., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2007. US: Wiley. 6° Ed. 804p.

MEDEIROS, Cleyber Nascimento de. Planejamento e Gestão Territorial Usando um SIG em Ambiente WEB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife - Pe. **Anais...** Recife - Pe: Ufpe, 2012. p. 001 - 009. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SIG/025_5.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2015.

MEDEIROS, José Simeão de; CÂMARA, Gilberto. **Geoprocessamento - Teoria e Aplicações - Parte I: Cap. 10 – Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília - Df: Cnpq, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

MÔNICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo - Sp: Fundação Editora da Unesp, 2008.

MONTENEGRO, Vinicius Melgarejo; SILVA, Tatiana Silva da; AYUP-ZOUAIN, Ricardo. Utilização de Imagens Noturnas para a Otimização na Delimitação de Áreas Urbanas. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2014, Gramado-rs. **Anais**. Gramado-rs: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto - Sbc, 2014. p. 00 - 00. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/343/CT04-69_1404441246.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2015.

SCP. 2006. **Rumos 2015: estudo sobre desenvolvimento regional e logística de transportes no Rio Grande do Sul: documento síntese**. SCP, DEPLAN-DECAPET. Porto Alegre: SCP. 473p.

SILVA, Maria Magdalena Lyra da; MELO, Maria Angela Campelo de. **Planejamento adaptativo: uma resposta para sistemas complexos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 34., 2002, Rio de Janeiro. Anais... . Rio de Janeiro: Ed, 2002. p. 1 - 12. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2002/pdf/arq0015.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

SILVA JUNIOR, O.M.; FUCKNER, M.A. **Análise comparativa dos dados de NDVI obtidos de imagens TM/Landsat 5 na área urbana da cidade de Marabá – PA para os anos de 1984 e 2007**. Marabá, 2008.

SUTTON, P., ROBERTS, D., ELVIDGE, C., and BAUGH, K., **Census from Heaven: an estimate of the global population using night-time satellite imagery**, International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(16), 3061-3076

TARTARUGA, I.G.P. 2008. **Análise especial da centralidade e da dispersão da população do estado do Rio Grande do Sul de 1970 a 2000: metodologias e notas preliminares**. Secretaria do Planejamento e Gestão Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. N° 32. 21p.

USA. GLFC - Global Land Cover Facility. **LandsatImagery**. Disponível em: <<http://glcf.umd.edu/data/landsat/>>. Acesso em: 15 jul. 2013a.

USA. NDGC - National Geophysical Data Center. **OLS - OperationalLinescan System**. Disponível em: <<http://ngdc.noaa.gov/eog/sensors/ols.html>>. Acesso em: 13 jul. 2013b.

USA. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Nighttime Light Publications**. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/about-noaa.html>>. Acesso em: 12 jul. 2013c.

USA. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **About**. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/about-noaa.html>>. Acesso em: 13 jul. 2013d.

USA. USGS – U.S. Geological Survey. **Landsat Missions: Landsat 5 History**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php>. Acesso em: 13 jul. 2013e.

USA. NRR - Natural Resource Report. **Thematic Accuracy Assessment Procedures**. Fort Collins, Colorado, 2010. p. 26-28

USA. USGS – U.S. Geological Survey. **Landsat Project Description**. 2015. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php>. Acesso em: 07 nov. 2015a.

USA. USGS – U.S. Geological Survey. Eog - Earth Observation Group. NOAA - National Oceanic And Atmospheric Administration. **Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series**. Disponível em: <http://ngdc.noaa.gov/eog/gcv4_readme.txt>. Acesso em: 15 nov. 2015b.

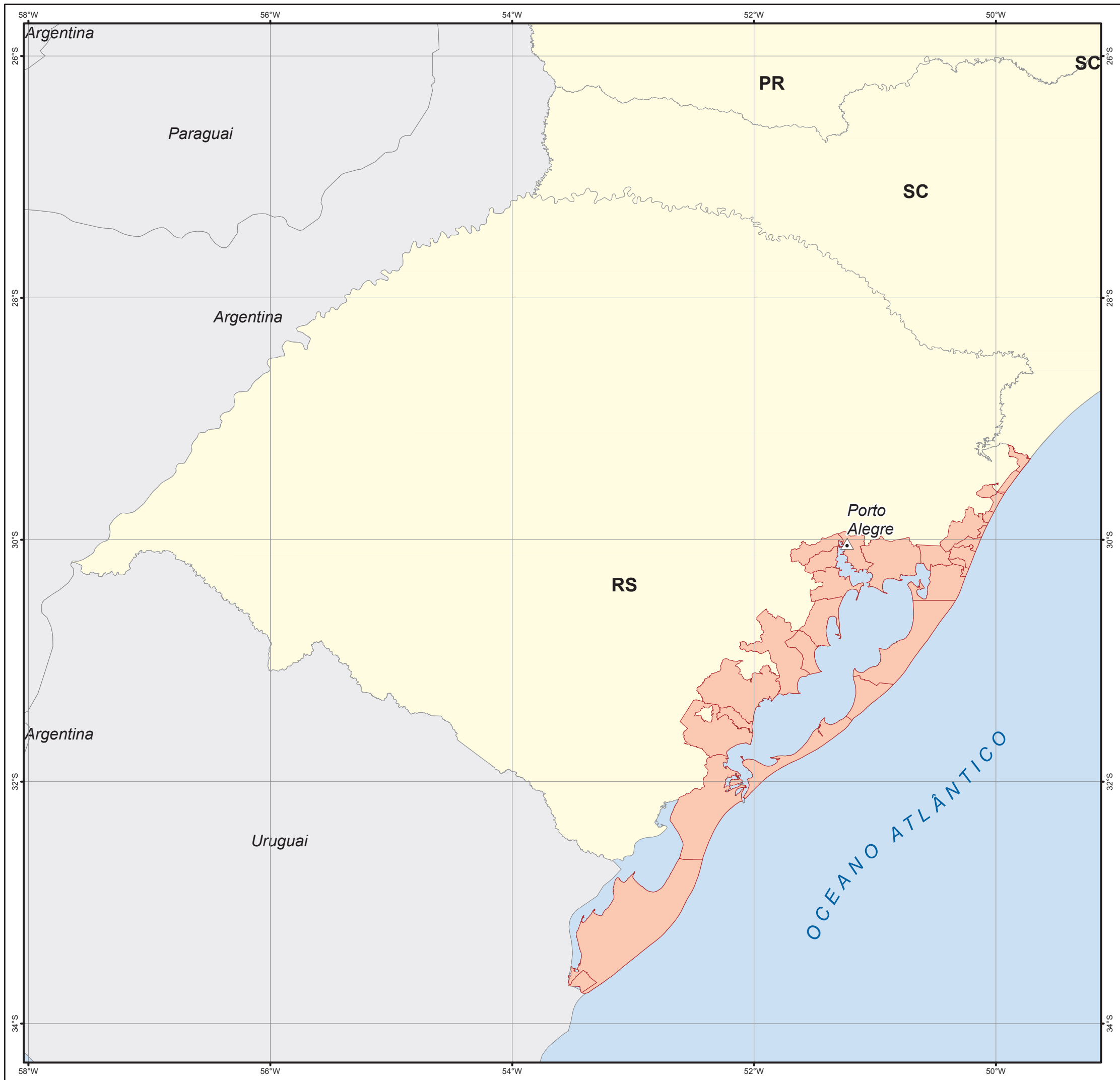
USA. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **DMSP Sensors**. 2015. Disponível em: <<http://ngdc.noaa.gov/eog/sensors.html>>. Acesso em: 15 nov. 2015c.

APÊNDICE A

Mapa de Localização da área de estudo.

Mapa de localização dos municípios da área de estudo.

Mapa de Localização da área de estudo.



Mapa de localização da área de estudo



Legenda:

- Capital estadual
- Municípios da área de estudo
- Limite estadual
- Limite internacional

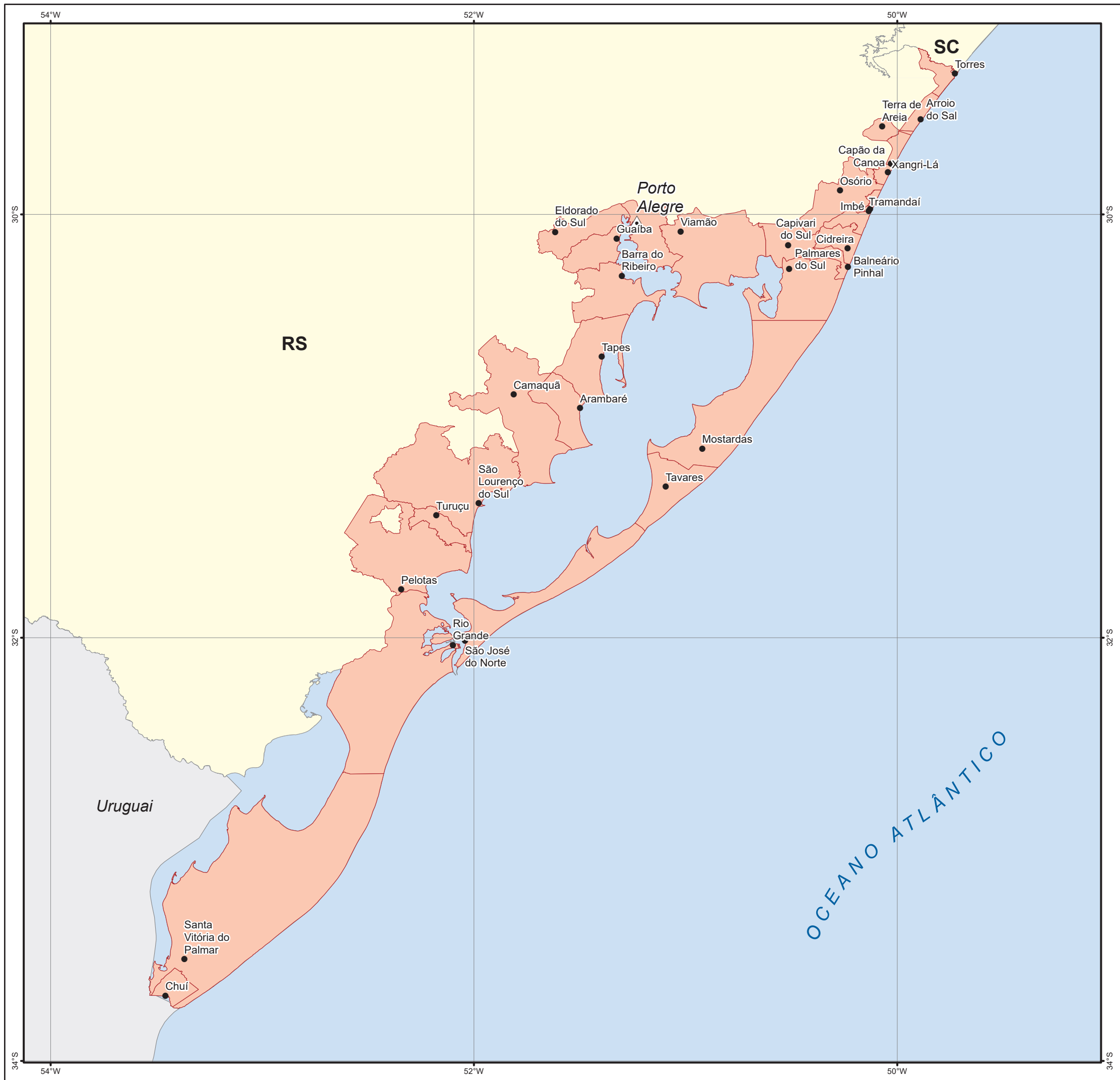
Informações Cartográficas:

ESCALA: 1:3.500.000

0 50 100 200 km

Sistema de Coordenadas Geodésicas
Datum SIRGAS2000

Mapa de localização dos municípios da área de estudo.



Mapa de localização dos municípios da área de estudo



Legenda:

- Sede municipal
- ▲ Capital estadual
- Municípios da área de estudo
- Limite estadual
- Limite internacional

Informações Cartográficas:

ESCALA: 1:2.000.000

0 25 50 100 km

Sistema de Coordenadas Geodésicas
Datum SIRGAS2000

APÊNDICE B

Tabela das cartas utilizadas para o registro das imagens Landsat.

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
220-80	2955-4
	2956-1
	2956-3
	2956-4

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
220-81	2955-4
	2956-3
	2971-3
	2971-4
	2972-1
	2972-2
	2972-3
	2972-4
	2988-3
	3001-3
	3001-4

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
221_81	2969-4
	2970-3
	2970-4
	2971-3
	2971-4
	2972-1
	2972-2
	2972-3
	2972-4
	2986-1
	2986-2
	2986-3
	2986-4
	2987-3
	2987-4
	2988-3
	2998-2
2998-4	

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
221-81	2999-1
	2999-2
	2999-3
	2999-4
	3000-1
	3000-3
	3001-3
	3001-4
	3011-1
	3011-2
	3012-1
	3012-2
	3013-1

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
221_82	2998-4
	2999-3
	2999-4
	3000-3
	3010-2
	3010-4
	3011-1
	3011-2
	3011-3
	3011-4
	3012-1
	3012-2
	3012-3
	3013-1
	3013-4
	3019-1
	3019-3
	3020-1
	3020-2
	3020-3
	3020-4
	3022-2
	3025-1
	3025-2
3026-1	
3026-2	

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
	3026-3
	3026-4
	3027-1

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
221_83	3025-1
	3026-3
	3026-4
	3029-2
	3029-3
	3029-4
	3030-1
	3030-4
	3031-1
	3031-3
	3033-1
	3033-2
	3033-3
	3033-4
	3053-2
3036-1	

ÓRBITA-PONTO	CÓDIGO MI
222_83	3029-2
	3029-3
	3029-4
	3030-1
	3030-4
	3031-3
	3033-1
	3033-2
	3033-3
	3033-4
	3035-2
3036-1	

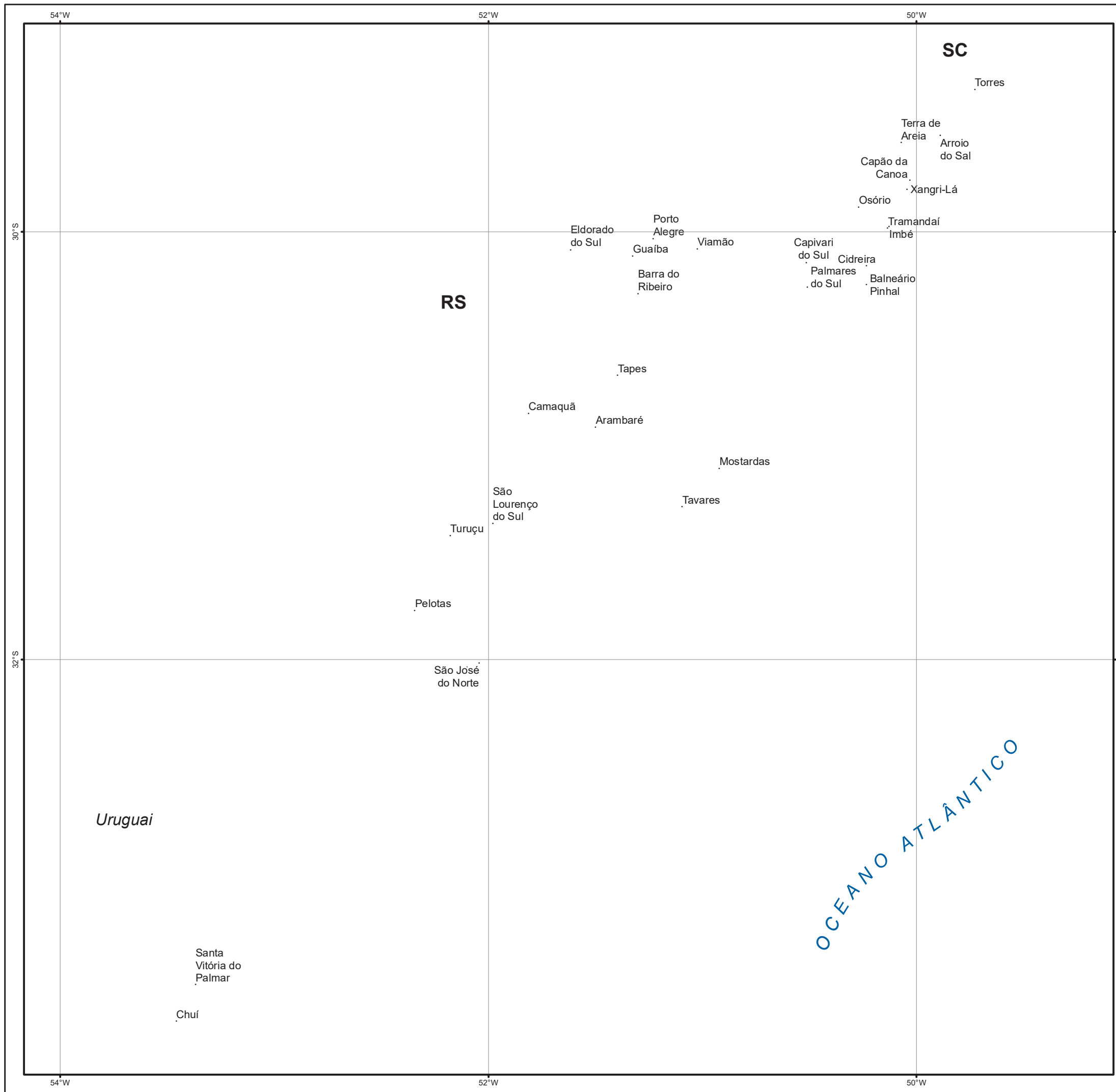
APÊNDICE C

Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 1992.

Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 2000.

Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 2010.




Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 1992.



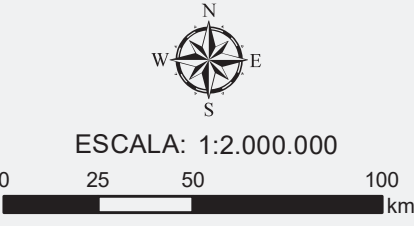
Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 1992 -



Legenda:

-  Área urbana
-  Limite estadual
-  Limite internacional

Informações Cartográficas:

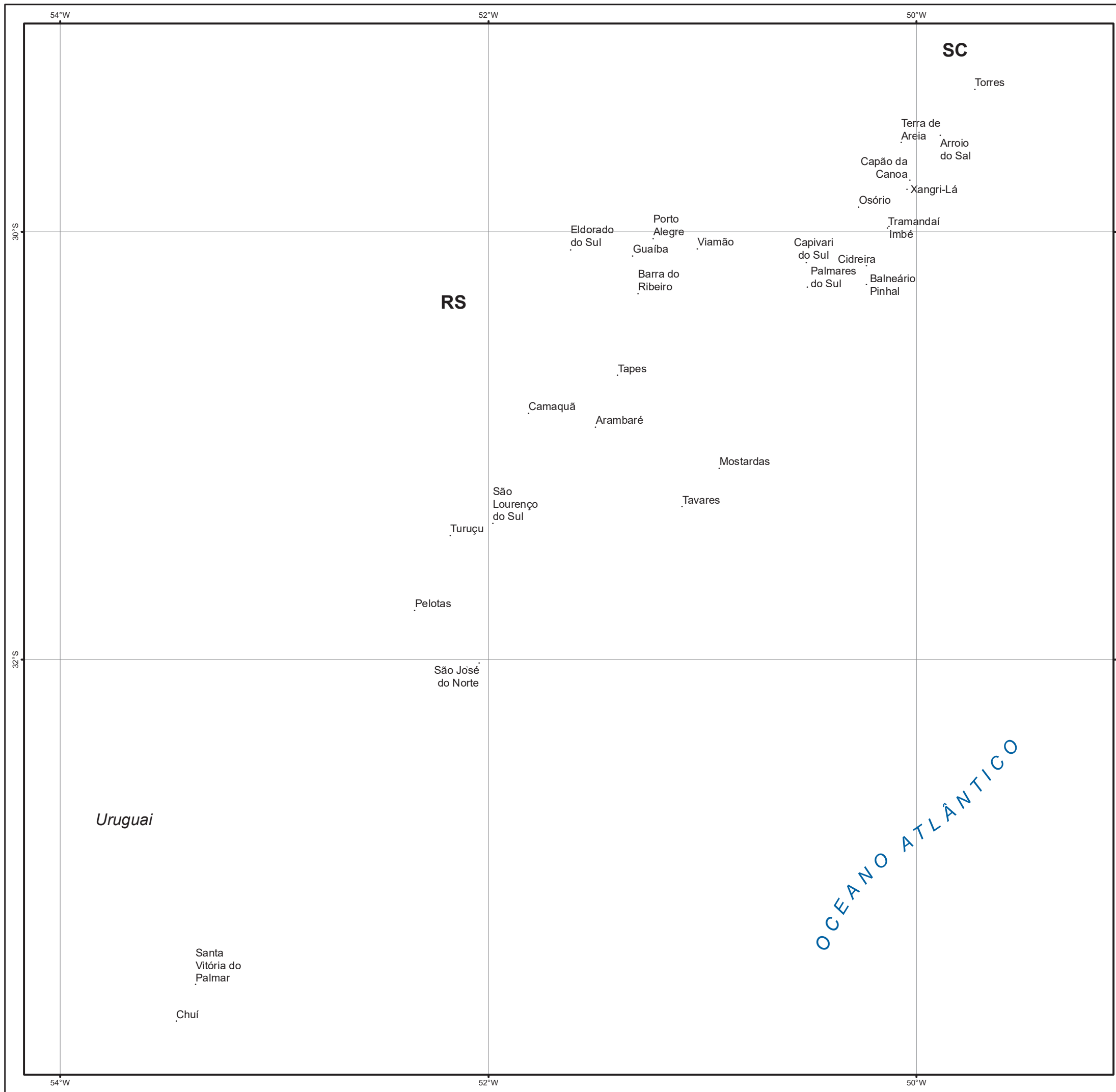


ESCALA: 1:2.000.000

0 25 50 100 km

Sistema de Coordenadas Geodésicas
Datum SIRGAS2000




Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 2000.




Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 2000 -




Legenda:

-  Área urbana
-  Limite estadual
-  Limite internacional

Informações Cartográficas:

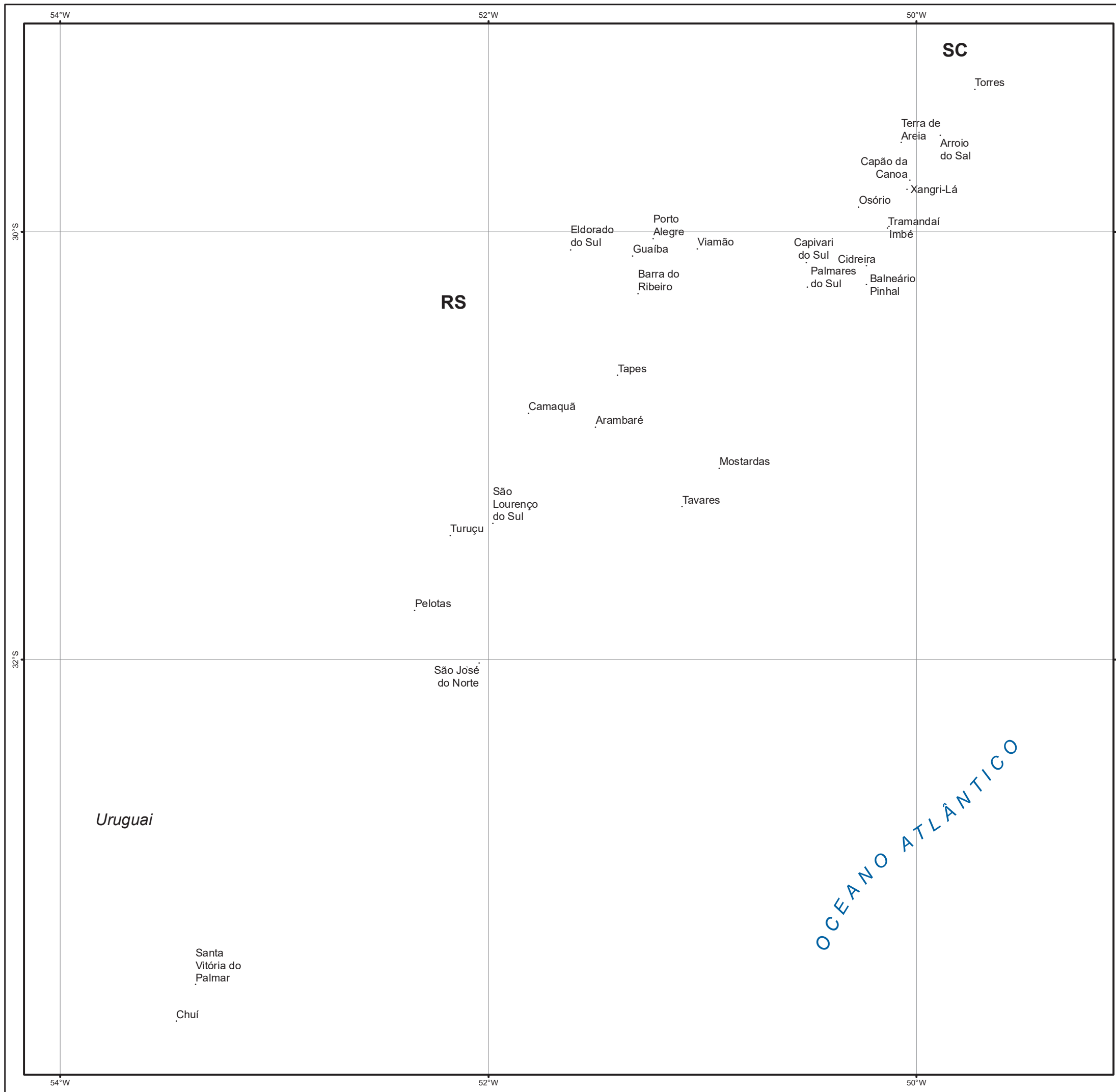


ESCALA: 1:2.000.000



Sistema de Coordenadas Geodésicas
Datum SIRGAS2000




Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 2010.




Mapa das áreas urbanas da área de estudo - 2010 -




Legenda:

-  Área urbana
-  Limite estadual
-  Limite internacional

Informações Cartográficas:



ESCALA: 1:2.000.000



Sistema de Coordenadas Geodésicas
Datum SIRGAS2000

APÊNDICE D

Resultados dos testes de regressão linear para o ano 2000.

VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2000 - VAR01 (NÚMERO DE DOMICÍLIOS)	F152000 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	9.617991	86.753289	0.503394
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	134.536204	0.000000	0.499754
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	134.536204	0.000000	0.499754
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	134.536204	0.000000	-0.499754
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	134.536204	0.000000	0.499754
	F152000 - SEM TRANSFORMAÇÃO	11.250629	4.350630	0.418927
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	11.250629	249.272720	0.418927
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	11.250629	0.075933	0.418927
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	106.412780	-95.466564	-0.384937
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SINE	13.062042	-45.184793	-0.135224
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	13.269604	-0.605400	-0.087212

VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2000 - VAR01 (RENDA)	F152000 - SEM TRANSFORMAÇÃO	4742.018319	3257.842804	0.526529
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	4742.018320	186660.639313	0.526529
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	4742.018306	56.860083	0.526529
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	4252.617925	48121.144620	0.468666
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	72606.470517	0.000000	0.458790
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	72606.470517	0.000000	0.458790
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	72606.470517	0.000000	-0.458790
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	72606.470517	0.000000	0.458790
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	54618.623945	-49420.333710	-0.334464
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SINE	6216.729634	-17762.209250	-0.089220
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	6287.607309	-289.892284	-0.070093

VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2000 - VAR12 (NÚMERO DE MORADORES)	F152000 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	31.978732	281.732702	0.481735
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	437.293380	0.000000	0.477815
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	437.293380	0.000000	0.477815
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	437.293380	0.000000	-0.477815
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	437.293380	0.000000	0.477815
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	37.164694	823.010727	0.407585
	F152000 - SEM TRANSFORMAÇÃO	37.164694	14.324246	0.407585
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	37.164693	0.250703	0.407585
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	347.983414	-310.971102	-0.369493
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SINE	43.184004	-143.930682	-0.126929
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	43.850895	-1.949119	-0.082741

VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2000 - VAR12 (MÉDIA DE MORADORES POR DOMICÍLIO)	F152000 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	3.149249	0.000000	0.430035
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	3.149249	0.000000	0.430035
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	3.149249	0.000000	-0.430035
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	3.149249	0.000000	0.430035
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	0.350900	1.928247	0.429685
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	2.516513	-2.131229	-0.330015
	F152000 - SEM TRANSFORMAÇÃO	0.395108	0.080629	0.298156
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	0.395108	4.619699	0.298156
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	0.395108	0.001407	0.298156
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO SINE	0.425891	-1.216226	-0.139778
	F152000 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	0.431873	-0.014380	-0.079555

Resultados dos testes de regressão linear para o ano 2010.

VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2010 - VAR01 (NÚMERO DE DOMICÍLIOS)	F182010 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	8.600474	84.629047	0.511079
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	127.201646	0.000000	0.507602
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	127.201646	0.000000	0.507602
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	127.201646	0.000000	-0.507602
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	9.196545	30.706830	0.490936
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	81.448447	-71.750806	-0.421470
	F182010 - SEM TRANSFORMAÇÃO	10.425651	4.370572	0.405100
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	10.425651	250.415323	0.405100
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	11.362714	0.066154	0.309610
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SINE	11.853776	-58.279145	-0.173551
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	12.224747	-0.555622	-0.076869


VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2010 - VAR02 (NÚMERO DE MORADORES)	F182010 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	25.761992	250.498102	0.495109
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	376.355531	0.000000	0.491075
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	376.355531	0.000000	0.491075
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	376.355531	0.000000	-0.491075
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	27.452996	91.613759	0.479379
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	240.822581	-211.791623	-0.407170
	F182010 - SEM TRANSFORMAÇÃO	31.084762	13.121326	0.398042
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	31.084762	751.796641	0.398042
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	33.894211	0.198872	0.304622
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SINE	35.414242	-169.622974	-0.165320
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	34.489158	-1.647910	-0.074616

VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2010 - VAR03 (MÉDIA DE MORADORES POR DOMICÍLIO)	F182010 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	2.875629	0.000000	0.381085
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	2.875629	0.000000	0.381085
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	2.875629	0.000000	-0.381085
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	0.314892	1.812055	0.380405
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	0.333347	0.601377	0.334228
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	1.926762	-1.590345	-0.324741
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	0.361336	4.384155	0.246563
	F182010 - SEM TRANSFORMAÇÃO	0.361336	0.076518	0.246543
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	0.380015	0.001000	0.162644
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SINE	0.383943	-1.325292	-0.137193
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	0.392463	-0.012098	-0.058180

VARIÁVEL DEPENDENTE	VARIÁVEL INDEPENDENTE	a1	a2	r
CENSO2010 - VAR11 (RENDA)	F182010 - TRANSFORMAÇÃO ARCTAN	109.836430	633.711096	0.405196
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO LOGIT	999.861292	0.000000	0.403340
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO NAT. LOGARITHM	999.861292	0.000000	0.403340
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RECIPROCAL	999.861292	0.000000	-0.403340
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE ROOT	115.009674	222.938939	0.377382
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO COSINE	644.166809	-525.692635	-0.326946
	F182010 - SEM TRANSFORMAÇÃO	124.409163	30.628544	0.300576
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO RADIANS	124.409163	1754.886385	0.300576
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SQUARE	131.18745	0.448859	0.22242
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO SINE	134.207888	-435.076421	-0.137177
	F182010 - TRANSFORMAÇÃO TANGENT	136.955487	-4.223734	-0.061869

ANEXO A

Resolução da presidência do ibge com os parâmetros de conversão (001/2005)

 <small>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</small>	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA RESOLUÇÃO DO PRESIDENTE	° R.PR – 1/2005
Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro	DATA: 25/2/2005	
	FOLHA 1/1	

Competência: Artigo 24 do Estatuto aprovado pelo Decreto nº 4.740, de 13 de junho de 2003.

O PRESIDENTE da FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, no uso de suas atribuições, e tendo em vista o disposto no art. 2º do decreto nº 3.266, de 29 de novembro de 1999,


RESOLVE:

Art. 1º - Fica alterada, na forma do ANEXO, a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro;

Art. 2º - Esta Resolução entra em vigor nesta data, revogadas as disposições em contrário, em especial a Seção 2.1 do Capítulo I da R.PR nº 22, de 21 de julho de 1983.

Original Assinado

Eduardo Pereira Nunes
Presidente

	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA RESOLUÇÃO DO PRESIDENTE	R.PR- 1/2005
DATA: 25/2/2005		
FOLHA: 1/7		

ANEXO

Apresentação


A definição, implantação, e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é de responsabilidade do IBGE, assim como o estabelecimento das especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos, segundo o disposto no Cap. VIII do Decreto–Lei n.º 243, de 28 de fevereiro de 1967.

Introdução

Para o desenvolvimento das atividades geodésicas, é necessário o estabelecimento de um sistema geodésico que sirva de referência ao posicionamento no território nacional. A materialização deste sistema de referência, através de estações geodésicas distribuídas adequadamente pelo país, constitui-se na infraestrutura de referência a partir da qual os novos posicionamentos são efetuados.

A definição do sistema geodésico de referência acompanha, em cada fase da história, o estado da arte dos métodos e técnicas então disponíveis. Com o advento dos sistemas globais de navegação (i.e. posicionamento) por satélites (GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*), tornou-se mandatória a adoção de um novo sistema de referência, geocêntrico, compatível com a precisão dos métodos de posicionamento correspondentes e também com os sistemas adotados no restante do globo terrestre.

Com esta finalidade, fica estabelecido como novo sistema de referência geodésico para o SGB e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000). Para o SGB, o SIRGAS2000 poderá ser utilizado em concomitância com o sistema SAD 69. Para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN), o SIRGAS2000 também poderá ser utilizado em concomitância com os sistemas SAD 69 e Córrego Alegre, conforme os parâmetros definidos nesta Resolução. A coexistência entre estes sistemas tem por finalidade oferecer à sociedade um período de transição antes da adoção do SIRGAS2000 em caráter exclusivo. Neste período de transição, não superior a dez anos, os usuários deverão adequar e ajustar suas bases de dados, métodos e procedimentos ao novo sistema.

	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA RESOLUÇÃO DO PRESIDENTE	R.PR- 1/2005
DATA: 25/2/2005		
FOLHA: 2/7		

Caracterização do SIRGAS2000

- Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (*International Terrestrial Reference System*)

- Figura geométrica para a Terra:

Elipsóide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*)

Semi-eixo maior $a = 6.378.137 \text{ m}$

Achatamento $f = 1/298,257222101$

- Origem: Centro de massa da Terra

- Orientação:

Pólos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pelo *BIH (Bureau International de l'Heure)*, em 1984,0.

- Estações de Referência:

As 21 estações da rede continental SIRGAS2000, estabelecidas no Brasil e identificadas nas Tabelas 1 e 2, constituem a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional. Está incluída nestas tabelas a estação SMAR, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), cujas coordenadas foram determinadas pelo IBGE posteriormente à campanha GPS SIRGAS2000.

- Época de Referência das coordenadas: 2000,4

- Materialização:

Estabelecida por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência.

TABELA 1 - Estações de Referência SIRGAS2000 situadas no Brasil e respectivas coordenadas cartesianas referidas à época 2000,4

Estação	X (m)	Y (m)	Z (m)
BRAZ	4115014,085	-4550641,549	-1741444,019
BOMJ	4510195,835	-4268322,325	-1453035,300
CAC1	4164559,941	-4162495,407	-2445051,218
CANA	3875253,589	-4292587,088	-2681107,718
CORU	3229969,943	-5095437,766	-2063429,898
CRAT	4888826,036	-4017957,454	-798309,017
CUIB	3430711,406	-5099641,565	-1699432,931
FOR1	4982893,151	-3959968,539	-411742,293
FORT	4985386,605	-3954998,594	-428426,440
IMBI	3714672,427	-4221791,488	-2999637,883
IMPZ	4289656,441	-4680884,944	-606347,331
MANA	3179009,359	-5518662,100	-344401,823
MCAE	4400142,600	-3932040,418	-2412305,322
PARA	3763751,652	-4365113,803	-2724404,694
POAL	3467519,402	-4300378,535	-3177517,730
PSAN	3998232,011	-4969359,526	-6340,615
RECF	5176588,653	-3618162,163	-887363,920
RIOD	4280294,879	-4034431,225	-2458141,380
SALV	4863495,731	-3870312,351	-1426347,813
UEPP	3687624,315	-4620818,606	-2386880,343
VICO	4373283,313	-4059639,049	-2246959,728
SMAR	3280748,410	-4468909,741	-3143408,684



 IBGE <small>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</small>	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA RESOLUÇÃO DO PRESIDENTE	R.PR- 1/2005
		DATA: 25/2/2005
		FOLHA: 4/7

TABELA 2 - Estações de Referência SIRGAS2000 situadas no Brasil e respectivas coordenadas geodésicas referidas à época 2000,4 (elipsóide GRS80)

Estação	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude Elipsoidal (m)
BOMJ	13 15 20,0103 S	43 25 18,2468 W	419,401
BRAZ	15 56 50,9112 S	47 52 40,3283 W	1106,020
CAC1	22 41 14,5337 S	44 59 08,8606 W	615,983
CANA	25 01 12,8597 S	47 55 29,8847 W	3,688
CORU	19 00 01,0131 S	57 37 46,6130 W	156,591
CRAT	07 14 16,8673 S	39 24 56,1798 W	436,051
CUIB	15 33 18,9468 S	56 04 11,5196 W	237,444
FOR1	03 43 34,3800 S	38 28 28,6040 W	48,419
FORT	03 52 38,8046 S	38 25 32,2051 W	19,451
IMBI	28 14 11,8080 S	48 39 21,8825 W	11,850
IMPZ	05 29 30,3584 S	47 29 50,0445 W	105,008
MANU	03 06 58,1415 S	60 03 21,7105 W	40,160
MCAE	22 22 10,3989 S	41 47 04,2080 W	0,056
PARA	25 26 54,1269 S	49 13 51,4373 W	925,765
POAL	30 04 26,5528 S	51 07 11,1532 W	76,745
PSAN	00 03 26,4338 S	51 10 50,3285 W	-15,506
RECF	08 03 03,4697 S	34 57 05,4591 W	20,180
RIOD	22 49 04,2399 S	43 18 22,5958 W	8,630
SALV	13 00 31,2116 S	38 30 44,4928 W	35,756
UEPP	22 07 11,6571 S	51 24 30,7223 W	430,950
VICO	20 45 41,4020 S	42 52 11,9622 W	665,955
SMAR	29 43 08,1260 S	53 42 59,7353 W	113,107

- Velocidade das estações:

Para aplicações científicas, onde altas precisões são requeridas, deve-se utilizar o campo de velocidades disponibilizado para a América do Sul no site <http://www.ibge.gov.br/sirgas>. Com estas velocidades, é possível atualizar as coordenadas de uma estação da época de referência 2000,4 para qualquer outra, e vice-versa, por conta das variações provocadas pelos deslocamentos da placa tectônica da América do Sul.

	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA RESOLUÇÃO DO PRESIDENTE	R.PR- 1/2005
DATA: 25/2/2005		
FOLHA: 5/7		

Caracterização dos Sistemas Córrego Alegre e SAD 69

O Sistema de Referência Córrego Alegre é definido a partir dos parâmetros:

- Figura Geométrica para a Terra: Elipsóide Internacional de Hayford, 1924

Semi eixo maior $a = 6.378.388 \text{ m}$
 Achatamento $f = 1/297$

- Parâmetros referentes ao posicionamento espacial do elipsóide:

Orientação Topocêntrica

Ponto Datum = Vértice de triangulação Córrego Alegre

$\phi_G = \phi_A = 19^\circ 50' 15,14'' \text{ S}$

$\lambda_G = \lambda_A = 48^\circ 57' 42,75'' \text{ W}$

$N = 0 \text{ m}$

Onde:

ϕ_G = Latitude Geodésica

ϕ_A = Latitude Astronômica

λ_G = Longitude Geodésica


λ_A = Longitude Astronômica

N = Ondulação Geoidal

O Datum Sul-Americano de 1969 (*South American Datum of 1969 – SAD 69*) é definido a partir dos parâmetros:

- Figura geométrica para a Terra: Elipsóide Internacional de 1967

Semi eixo maior $a = 6.378.160 \text{ m}$
 Achatamento $f = 1/298,25$

	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA RESOLUÇÃO DO PRESIDENTE	R.PR- 1/2005
DATA: 25/2/2005		
FOLHA: 6/7		

- Parâmetros referentes ao posicionamento espacial do elipsóide:

Orientação geocêntrica

Eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano origem paralelo ao plano meridiano de Greenwich, como definido pelo BIH.

Orientação topocêntrica

Ponto Datum = Vértice de triangulação Chuá

ϕ_G	=	19° 45' 41,6527" S
λ_G	=	48° 06' 04,0639" W
ϕ_A	=	19° 45' 41,34" S
λ_A	=	48° 06' 07,80" W
A_G	=	271° 30' 04,05" SWNE para VT-Uberaba
N	=	0,0 m

Onde:

A_G = Azimute Geodésico

Quando os sistemas Córrego Alegre, SAD 69 e SIRGAS2000 forem empregados, o referencial altimétrico a ser utilizado coincide com a superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que contém o nível médio do mar definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba, no litoral do Estado de Santa Catarina, de 1949 a 1957.

Parâmetros de Transformação entre o SAD 69 e o SIRGAS2000

Os parâmetros de transformação entre o SAD 69 e o SIRGAS2000 são os listados a seguir. A formulação matemática a ser aplicada nas transformações é aquela divulgada na seção 3 do anexo da R.PR nº 23, de 21 de janeiro de 1989.

- SAD 69 para SIRGAS2000

$$a_1 = 6.378.160 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,25$$

$$a_2 = 6.378.137 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,257222101$$

$$\Delta X = - 67,35 \text{ m}$$

$$\Delta Y = + 3,88 \text{ m}$$

$$\Delta Z = - 38,22 \text{ m}$$

- SIRGAS2000 para SAD 69

$$a_1 = 6.378.137 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,257222101$$

$$a_2 = 6.378.160 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta X = + 67,35 \text{ m}$$

$$\Delta Y = - 3,88 \text{ m}$$

$$\Delta Z = + 38,22 \text{ m}$$

Onde:


a_1, f_1 = parâmetros geométricos do elipsóide do sistema de origem

a_2, f_2 = parâmetros geométricos do elipsóide do sistema de destino

$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ = parâmetros de transformação entre os sistemas

ANEXO B

Resolução da presidência do ibge com os parâmetros de conversão (001/2015)

	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência	R. PR nº. 01/2015
		Data: 24/02/2015
Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.		Folha: 1/8

Competência: Art. 24 do Estatuto aprovado pelo Decreto nº 4.740, de 13 de junho de 2003.

A **PRESIDENTA DA FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)**, no uso de suas atribuições, e tendo em vista o Decreto nº 5.334 de 6 de janeiro de 2005, a RPR 01/2005, de 25 de fevereiro de 2005, e a RPR 04/2012, de 18 de abril de 2012,

RESOLVE:

Art. 1º. Definir a data de 25 de fevereiro de 2015 para término do período de transição para adoção no Brasil do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização de 2000,4 (SIRGAS2000);

§ 1º - A data definida no *caput* deste artigo implica uma duração de dez anos para o período de transição, sendo este período o tempo máximo estipulado na RPR 01/2005 e considerado suficiente para os usuários adequarem e ajustarem suas bases de dados, métodos e procedimentos ao novo Sistema.

§ 2º - A partir da data definida no *caput* deste artigo, todos os usuários no Brasil devem adotar exclusivamente o SIRGAS2000 em suas atividades, encerrando-se o uso concomitante do SAD 69 no Sistema Geodésico Brasileiro e do SAD 69 e Córrego Alegre no Sistema Cartográfico Nacional;


§ 3º - A partir da data definida no *caput* deste artigo, o IBGE passará a publicar em seu Banco de Dados Geodésicos as coordenadas das estações geodésicas referidas apenas ao SIRGAS2000;

§ 4º - Para transformação de bases de dados referidas às realizações Córrego Alegre 1961, Córrego Alegre 1970+1972, SAD 69, SAD 69/96 para o sistema SIRGAS2000, os usuários devem seguir as orientações descritas no ANEXO desta resolução;


§ 5º - Para a transformação entre os referenciais WGS 84 (sistema geodésico adotado como referência em posicionamentos a partir do uso do Sistema de Posicionamento Global - GPS) e SIRGAS2000, os usuários devem continuar a seguir as orientações divulgadas no portal do IBGE a partir da adoção do SIRGAS2000 e reproduzidas novamente no ANEXO desta resolução;

Art. 2º. Revogar o item “Velocidade das Estações”, constante do ANEXO da RPR 01/2005;

Art. 3º. Esta Resolução entra em vigor nesta data, revogadas as disposições em contrário.

	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência	R. PR nº. 01/2015
		Data: 24/02/2015
Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.		Folha: 2/8

Presidenta

 Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência	R. PR nº. 01/2015
		Data: 24/02/2015
Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.		Folha: 3/8

ANEXO

1. Transformação de bases de dados referidas às realizações Córrego Alegre 1961, Córrego Alegre 1970+1972, SAD 69, SAD 69/96 para o SIRGAS2000.


Diferentes métodos podem ser aplicados na transformação de coordenadas entre dois referenciais geodésicos: através do uso de parâmetros de transformação entre os centros/eixos coordenados dos sistemas de referência tridimensionais envolvidos na transformação; ou através do uso de grades que modelam espacialmente as diferenças entre as coordenadas planimétricas, referidas aos dois sistemas, em regiões cobertas por estes referenciais. As grades de transformação dos sistemas geodésicos de natureza clássica para o SIRGAS2000 possibilitam a modelagem das distorções das materializações destes referenciais, obtendo-se um resultado final com melhor exatidão. As grades estão publicadas no portal do IBGE através dos arquivos listados na Tabela 1.

TABELA 1: Grades para transformação de coordenadas referidas aos sistemas geodésicos clássicos, e suas materializações, para o SIRGAS2000.

Sistemas geodésicos clássicos e suas materializações	Identificação das Grades	Área de Abrangência das Grades			
		Lat. Sul	Lat. Norte	Lon. Leste	Lon. Oeste
Córrego Alegre 1961	CA61_003.GSB	-27°30'	-11° 00'	-37°35'	-58°15'
Córrego Alegre 1970+1972	CA7072_003.GSB	-33°10'	-00° 30'	-33°30'	-58°20'
SAD 69	SAD69_003.GSB	-34°10'	04°30'	-33°30'	-63°30'
SAD 69/96	SAD96_003.GSB	-34°10'	05°30'	-33°30'	-63°20'

As seguintes orientações devem ser seguidas quando do uso das grades:

- 1.1 Deve-se identificar em que materialização (ou rede) os mapas ou bancos de dados a serem transformados se baseiam, bem como a cronologia dos levantamentos realizados para geração destas informações cartográficas. O emprego inadequado das grades levará a resultados errôneos;
- 1.2 Apesar das grades de transformação possuírem áreas de abrangência que vão além da extensão das materializações dos referenciais geodésicos clássicos, entende-se que a eficiência desta transformação estará associada à proximidade das coordenadas a serem transformadas com a materialização do referencial geodésico em questão (ou seja, com a rede geodésica correspondente). Os mapas constantes das Figuras A1, A2, A3 e A4 auxiliam nesta análise;
- 1.3 As transformações através das grades são bidimensionais envolvendo somente a latitude e longitude geodésicas;
- 1.4 Na transformação entre os sistemas SAD 69 e SIRGAS2000, em regiões do País não contempladas pelas grades de transformação, ou para transformar coordenadas obtidas originalmente a partir de estações da rede planimétrica brasileira determinadas por GPS ou DOPPLER, deve-se utilizar os parâmetros de transformação oficiais determinados pelo IBGE e publicados no ANEXO da Resolução RPR 01/2005;
- 1.5 O IBGE disponibiliza a ferramenta ProGrid, disponível no portal do IBGE (www.ibge.gov.br), para transformação de coordenadas utilizando-se as grades e os parâmetros de transformação descritos nos itens anteriores;
- 1.6 O IBGE não se responsabiliza pelo uso das grades, distribuídas juntamente com o ProGrid, dissociadas dessa ferramenta em sistemas computacionais de terceiros.

 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência	R. PR nº. 01/2015
		Data: 24/02/2015
Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.		Folha: 4/8

2. Transformação de coordenadas entre WGS 84 e SIRGAS2000

2.1 Para transformação para SIRGAS2000 de coordenadas referidas ao WGS 84 determinadas através de posicionamentos tridimensionais GPS ou DOPPLER **realizados no período de 01/01/1987 a 01/01/1994**, o usuário deve efetuar as seguintes etapas:

- Transformar inicialmente as coordenadas WGS 84 para SAD69 utilizando os parâmetros de transformação divulgados através da R.PR 23, de 21 de fevereiro de 1989 (R.PR 23/89), reproduzidos a seguir:

Parâmetros WGS 84 (Doppler) → SAD 69:

$$\Delta X = + 66,87 \text{ m}$$

$$\Delta Y = - 4,37 \text{ m}$$

$$\Delta Z = + 38,52 \text{ m}$$

Cabe ressaltar que os parâmetros acima apresentam precisão pior que 0,40m.

- Transformar em SIRGAS2000 as coordenadas SAD 69 resultantes da etapa anterior, utilizando diretamente o ProGrid com a opção de entrada “SAD 69 Técnica Doppler ou GPS”, ou aplicando diretamente os seguintes parâmetros de transformação:

SAD 69 → SIRGAS2000

$$\Delta X = - 67,35 \text{ m}$$


$$\Delta Y = + 3,88 \text{ m}$$

$$\Delta Z = - 38,22 \text{ m}$$

2.2 Para posicionamentos tridimensionais **realizados após 01/01/1994**, os referenciais WGS 84 e SIRGAS2000 são considerados idênticos para fins práticos, não existindo parâmetros de transformação entre eles.

3. Redução das coordenadas à época SIRGAS2000

Para aplicações científicas nas quais é necessário associar as coordenadas a uma época de referência, a conversão das coordenadas entre datas se dá através dos modelos de velocidades. Através destes modelos, são estimadas as variações provocadas pelos deslocamentos da placa tectônica da América do Sul. Para este fim, orienta-se o uso do modelo de velocidades disponível no portal do IBGE (www.ibge.gov.br) ou SIRGAS (www.sirgas.org). Estes modelos contemplam somente a conversão das coordenadas planimétricas, uma vez que as variações verticais são na maioria dos casos decorrentes de movimentos locais, dificultando a modelagem regional. Essa conversão só deve ser aplicada quando se trabalha com o SIRGAS2000.

 Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência	R. PR nº. 01/2015
		Data: 24/02/2015
Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.		Folha: 5/8

4. Mapas das Materializações

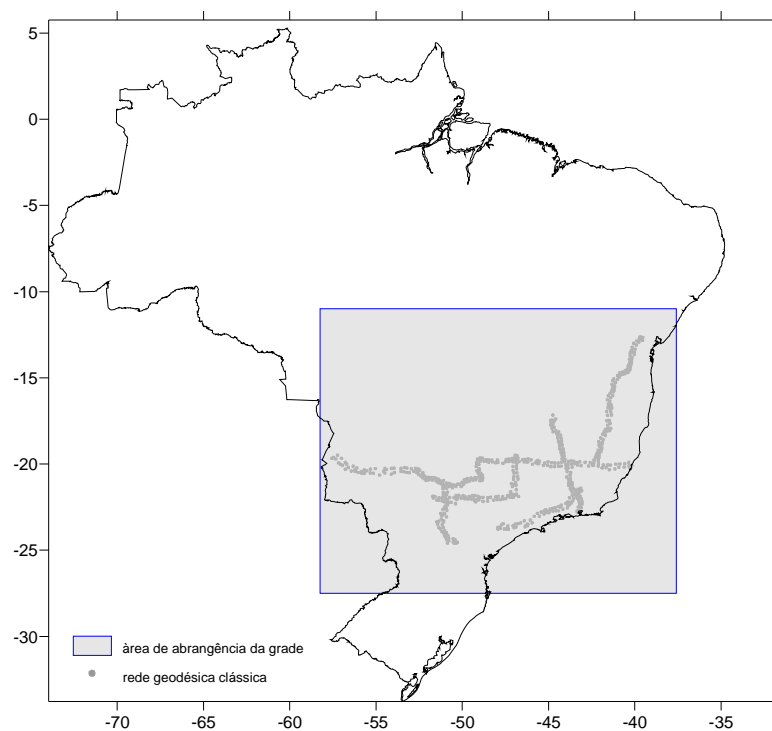



Figura A1: Rede geodésica planimétrica e respectiva área de abrangência da transformação para SIRGAS2000 da materialização Córrego Alegre 1961.

 IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência	R. PR n.º 01/2015
		Data: 24/02/2015
Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.		Folha: 6/8

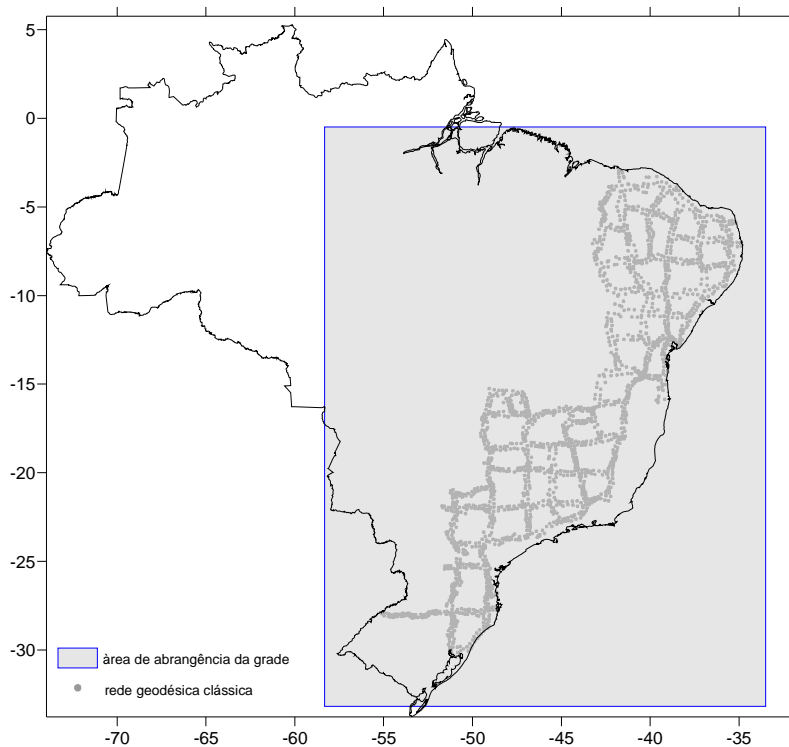


Figura A2: Rede geodésica planimétrica e respectiva área de abrangência da transformação para SIRGAS2000 da materialização Córrego Alegre 1970+1972.

Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.

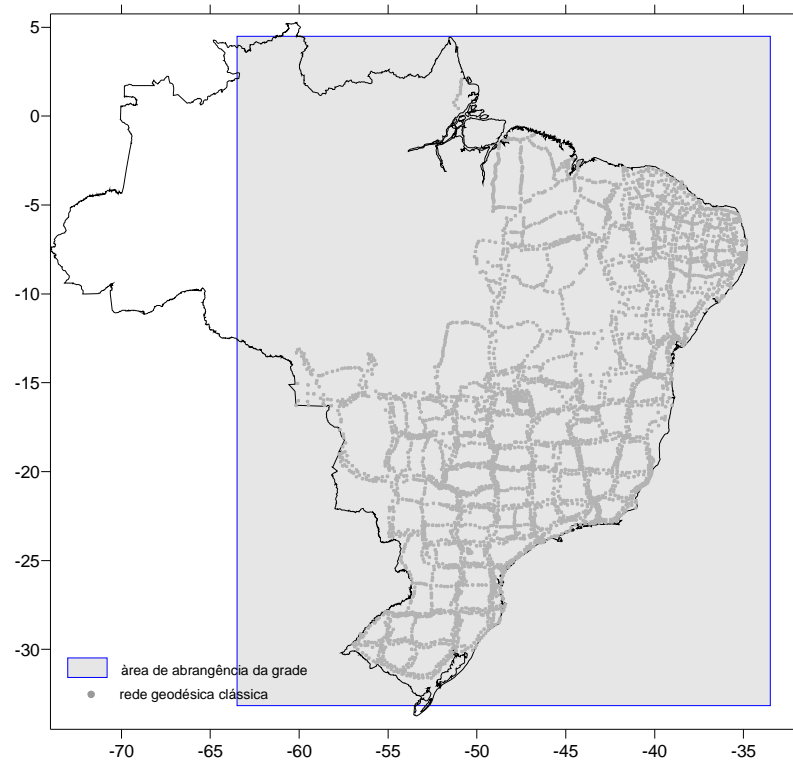



Figura A3: Rede geodésica planimétrica e respectiva área de abrangência da transformação para SIRGAS2000 da materialização SAD 69.

 IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência	R. PR n.º. 01/2015
		Data: 24/02/2015
Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.		Folha: 8/8

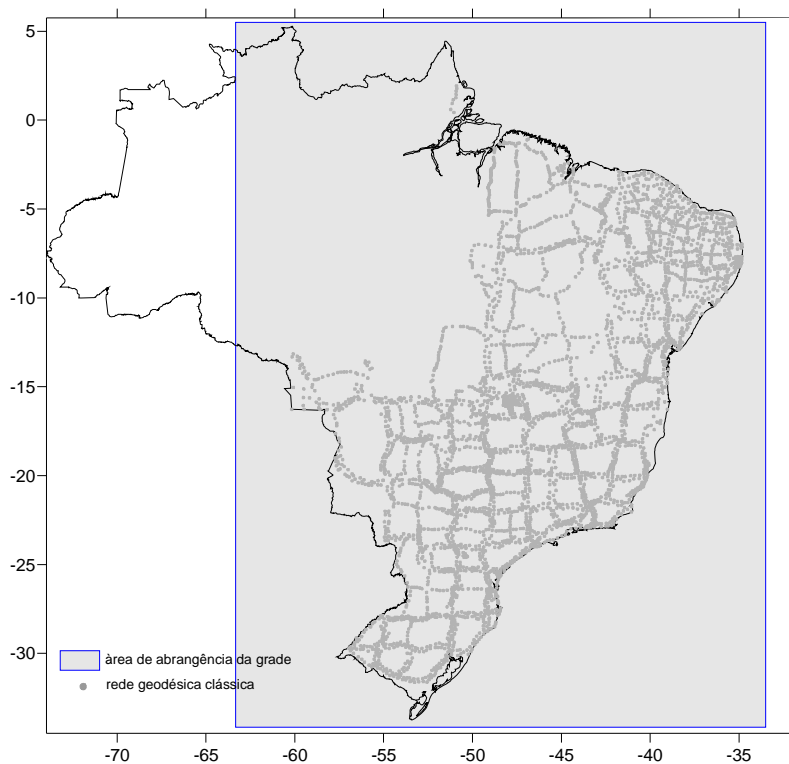


Figura A4: Rede geodésica planimétrica e respectiva área de abrangência da transformação para SIRGAS2000 da materialização SAD 69/96.