



Avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos costeiros pela intrusão salina em trecho da orla de Fortaleza, CE.

Marissa Chiareli de Alvarenga Andrade; José Luiz Albuquerque Filho (IPT); Cláudio Benedito Baptista Leite (UNIFESP); Antônio Celso de Oliveira Braga (UNESP); Ana Maciel de Carvalho (IPT); André Luiz Ferreira (IPT)

Mestrado em Tecnologia Ambiental – Coordenadoria do Ensino Tecnológico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Albuquerque Filho (IPT)

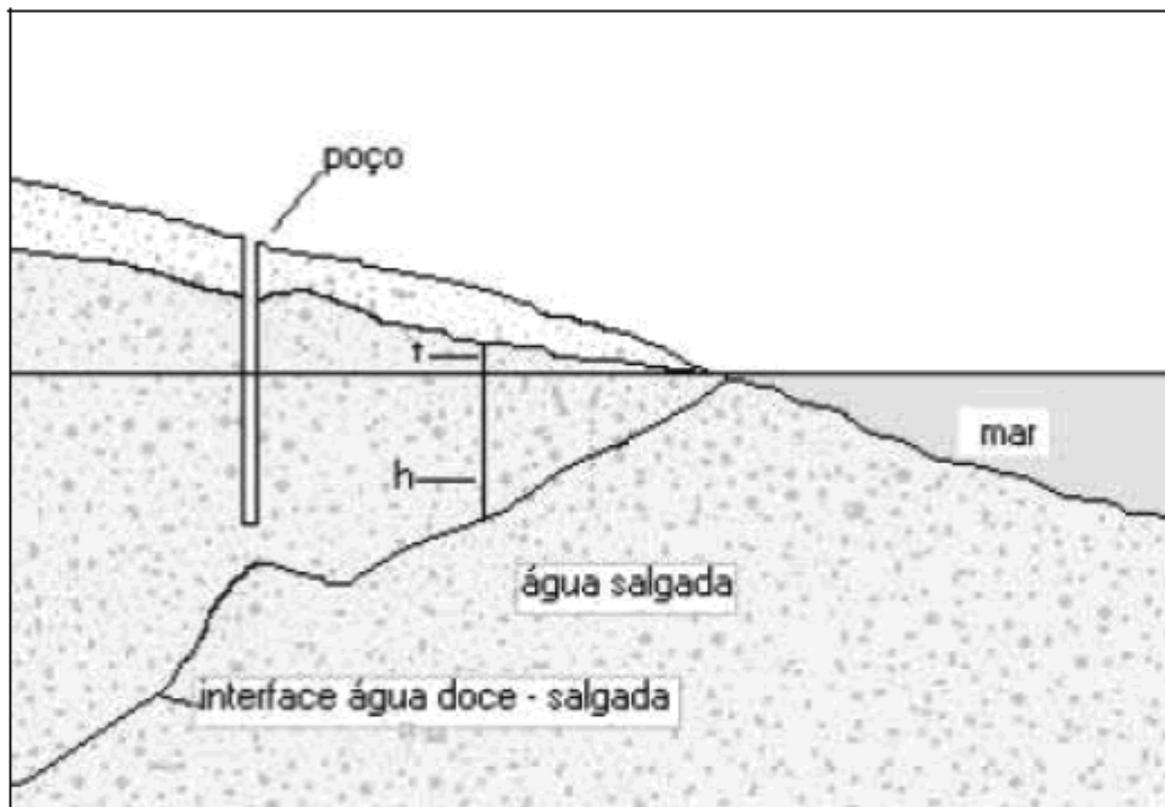
Co-orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcanti (UFC)

São Paulo - 2012



Objetivo

Caracterizar a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos costeiros de Fortaleza (CE) pela intrusão salina e estabelecer bases técnicas para prevenção, monitoramento e controle, como subsídio ao planejamento do uso e ocupação do solo na região.



Exemplo de cunha salina
Fonte: Silva & Gomes (2007).



MÉTODO GALDIT

- Índice GALDIT

$$(1 \cdot G + 3 \cdot A + 4 \cdot L + 4 \cdot D + 1 \cdot I + 2 \cdot T) / 15$$

Parâmetro GALDIT	Coefficiente de ponderação
G – Ocorrência de aquíferos	1
A – Condutividade hidráulica	3
L – Nível piezométrico	4
D – Distância à linha de costa	4
I – Impacto do estado atual da intrusão salina na região	1
T – Espessura do aquífero	2

Parâmetros GALDIT.

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira, 2005.

Classes de vulnerabilidade	Índice GALDIT
Elevada	$\geq 7,5$
Moderada	$5 - 7,5$
Baixa	≤ 5

Classes de vulnerabilidade à intrusão salina.

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira, 2005.

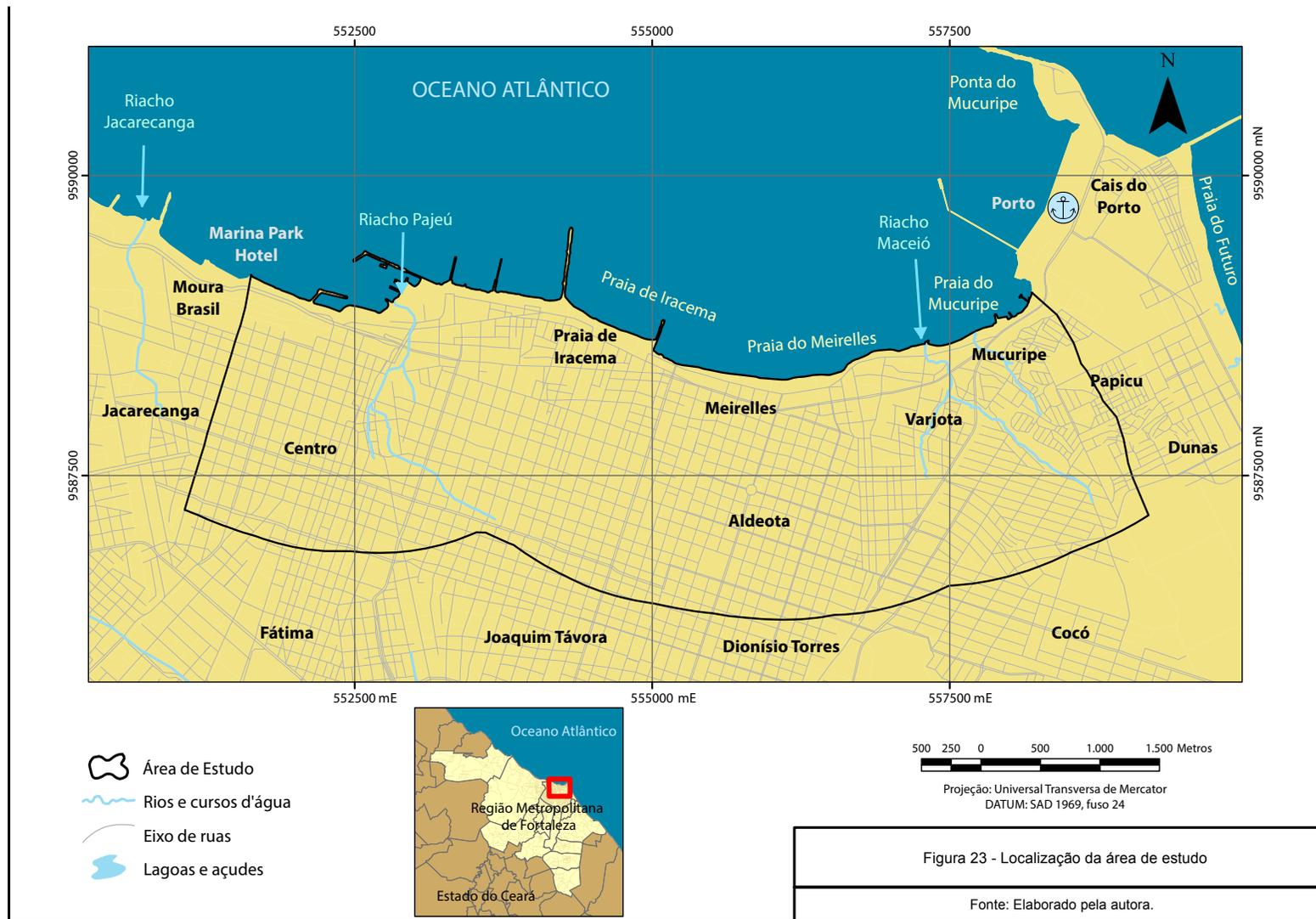


Localização da Área



Localização da Região Metropolitana de Fortaleza no Estado do Ceará. Fonte: SEMACE, 2010.

Localização da Área



Área de estudo no município de Fortaleza, CE. Fonte: Elaborado pela autora com dados cedidos pela CPRM (2011).

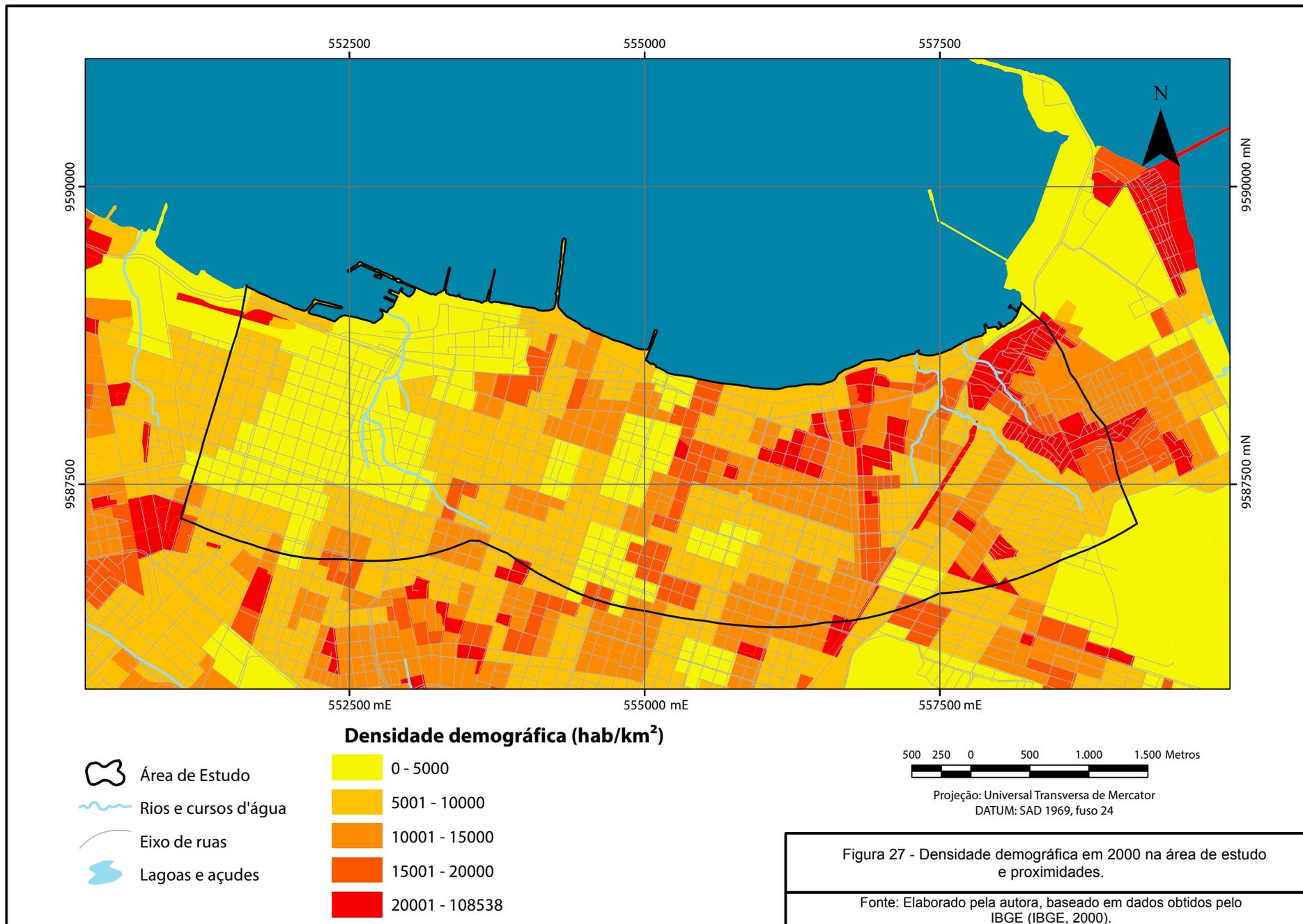


Hidrogeologia

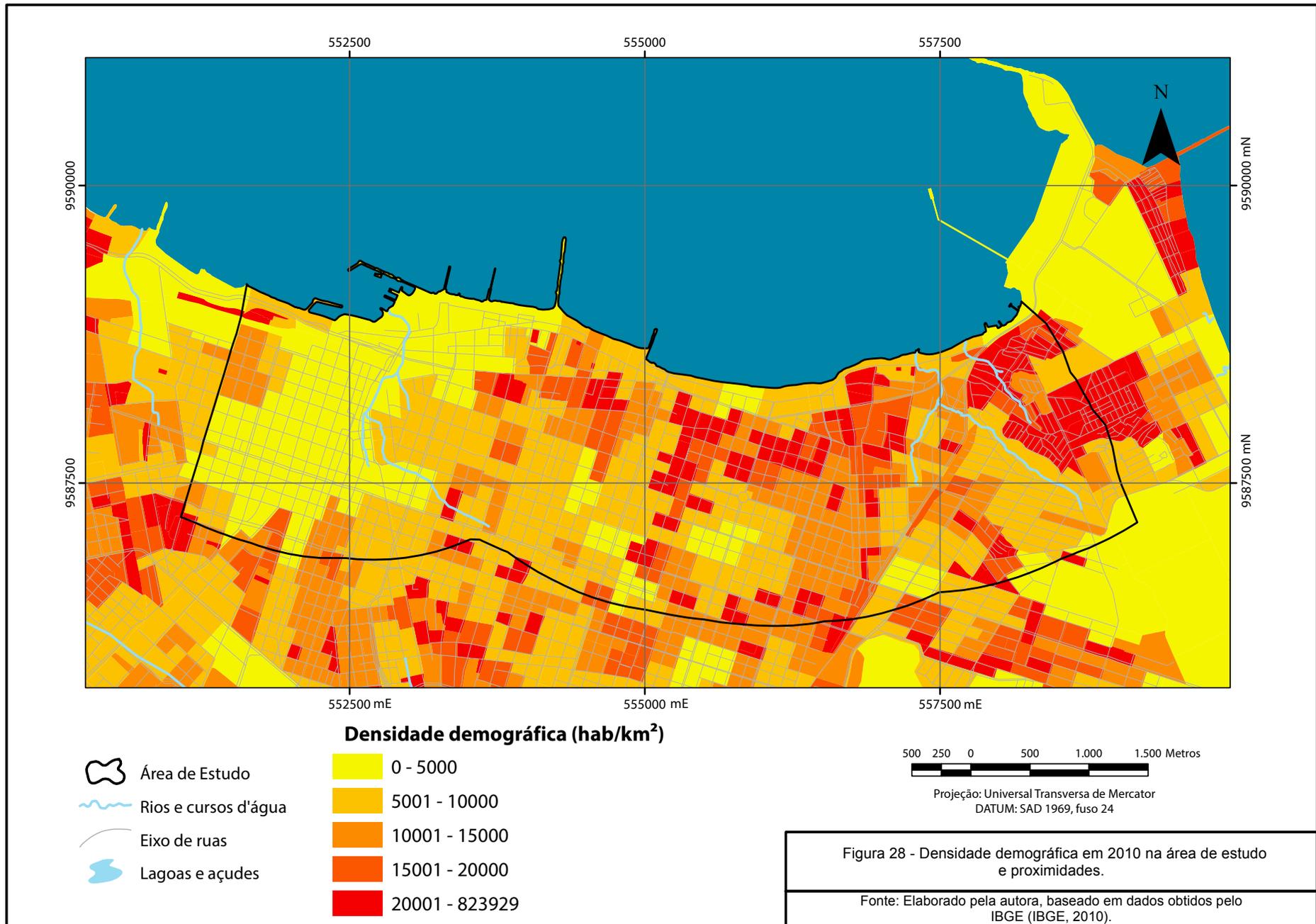
- Aquíferos não confinados sedimentares
Paleodunas/Dunas/Barreiras;
- Recarga principal pela água das chuvas;
- Areias pouco consolidadas, homogêneas e finas; e
- Elevada permeabilidade + lençol raso = alta susceptibilidade à contaminação.



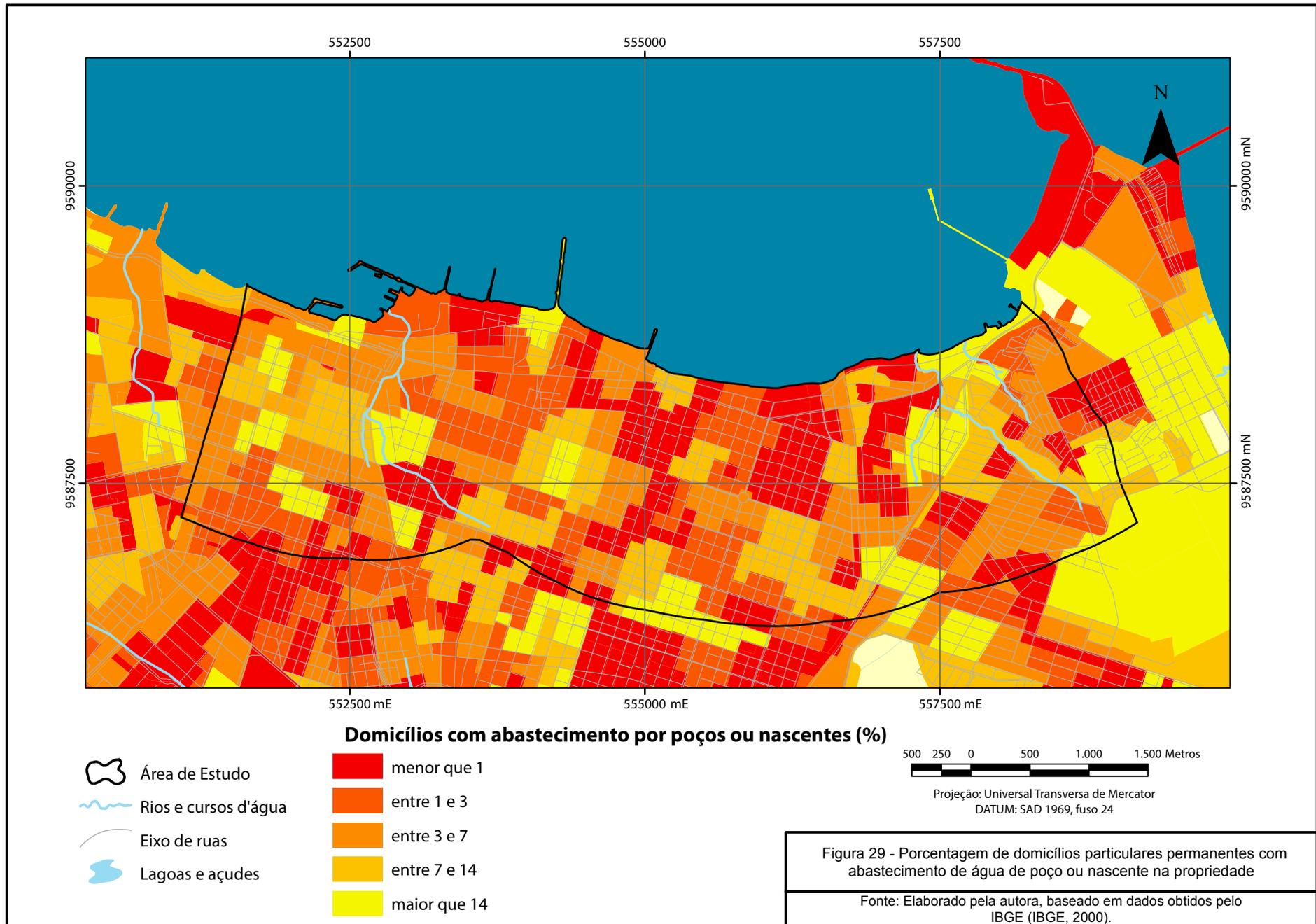
Resultados



Mapa de densidade demográfica da área de estudo em 2000. Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE (2000).



Mapa de densidade demográfica da área de estudo em 2010. Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE (2010).



Porcentagem de domicílios particulares com abastecimento de água de poço ou nascente. Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE (2000).

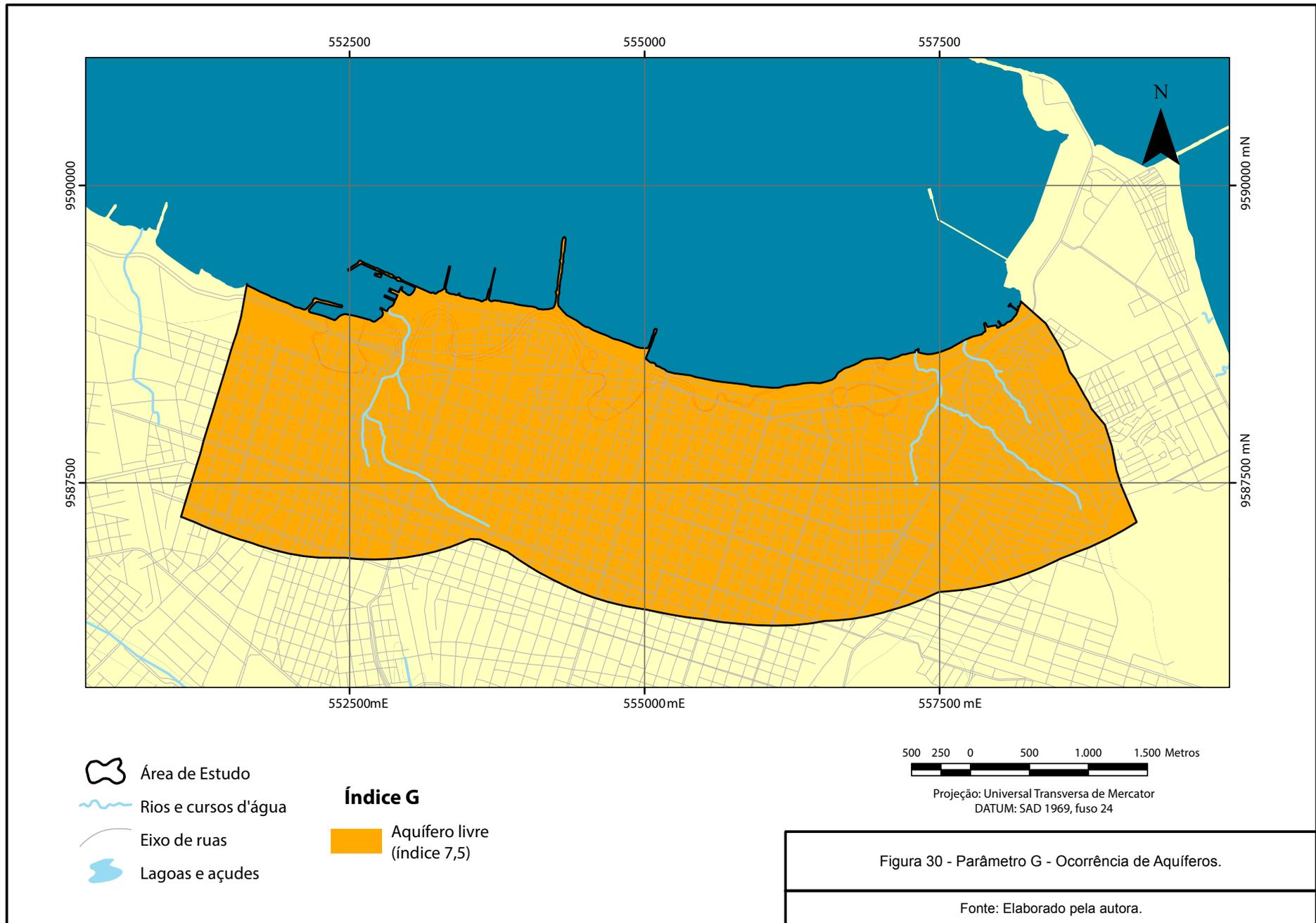


Figura 9 – Mapa Índice G (Ocorrência de Aquíferos). Fonte: Elaborado pela autora.

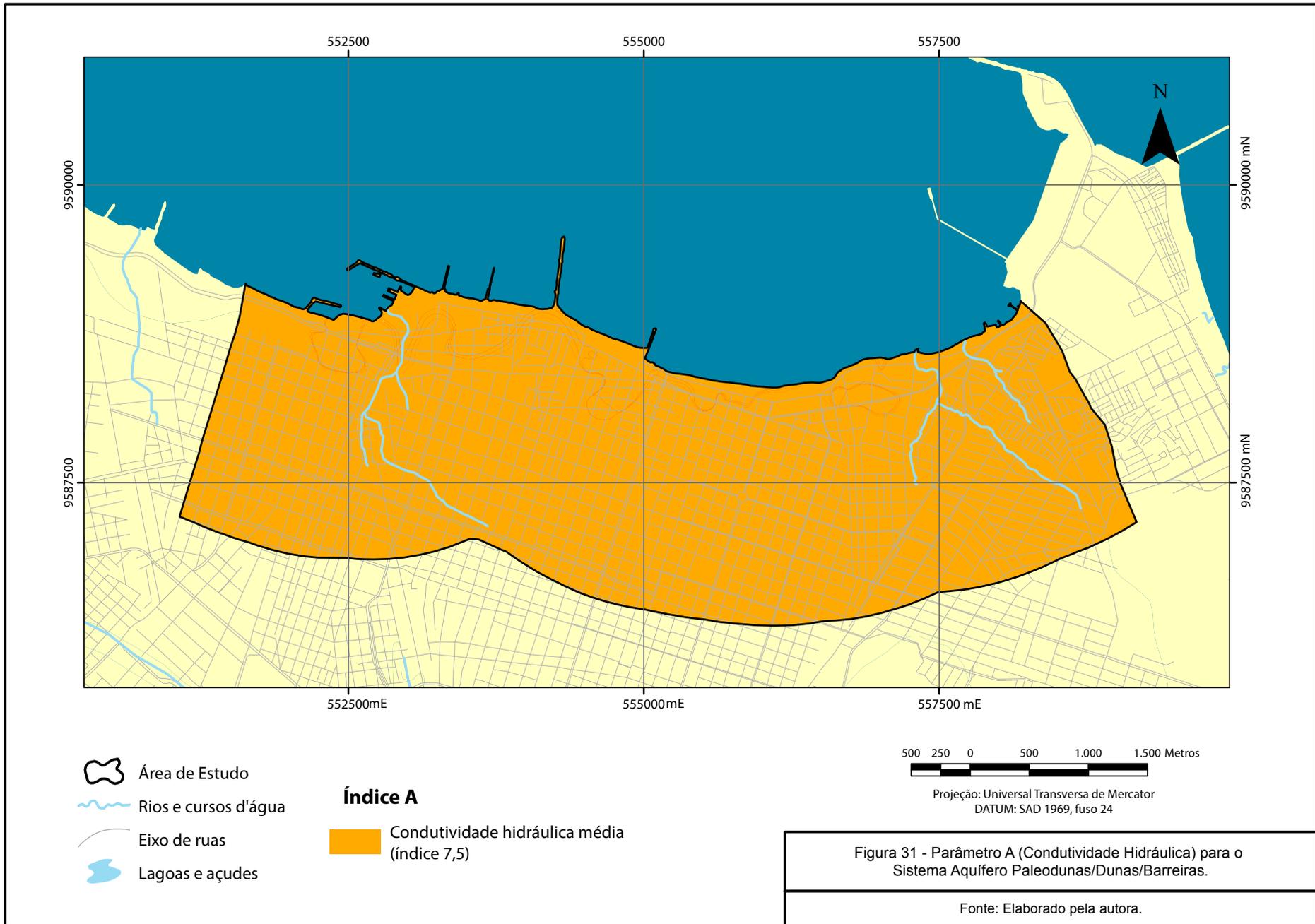
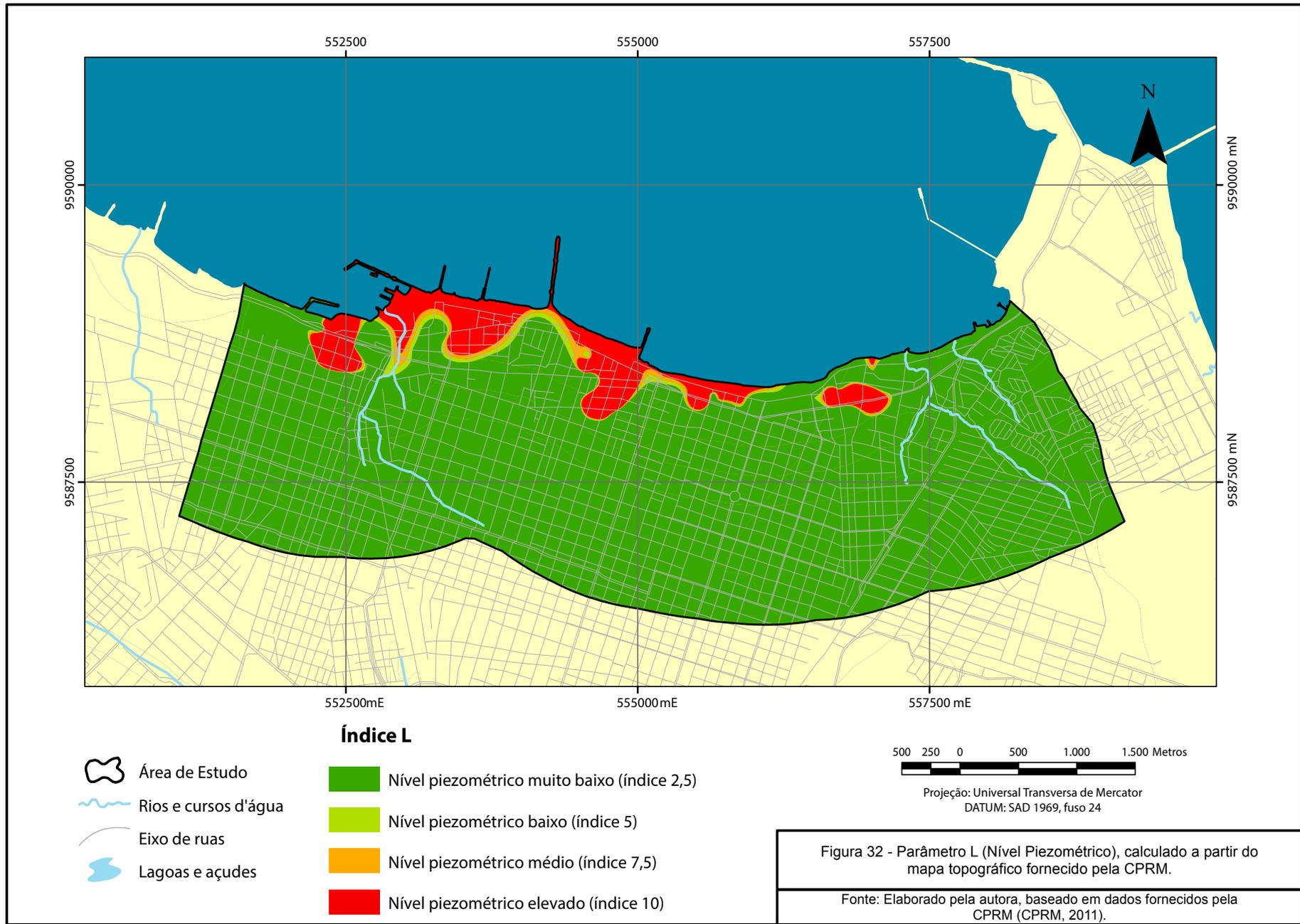
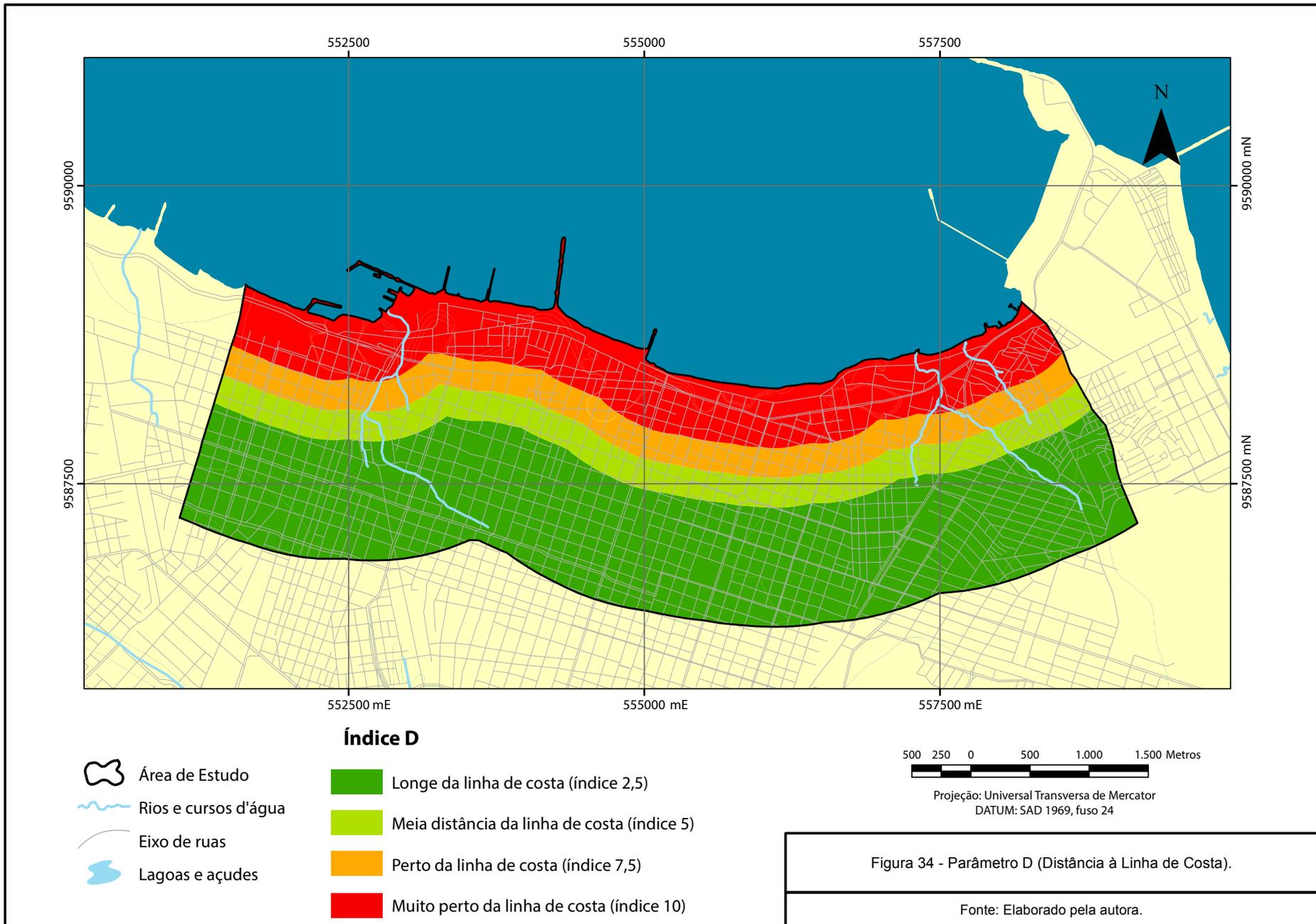


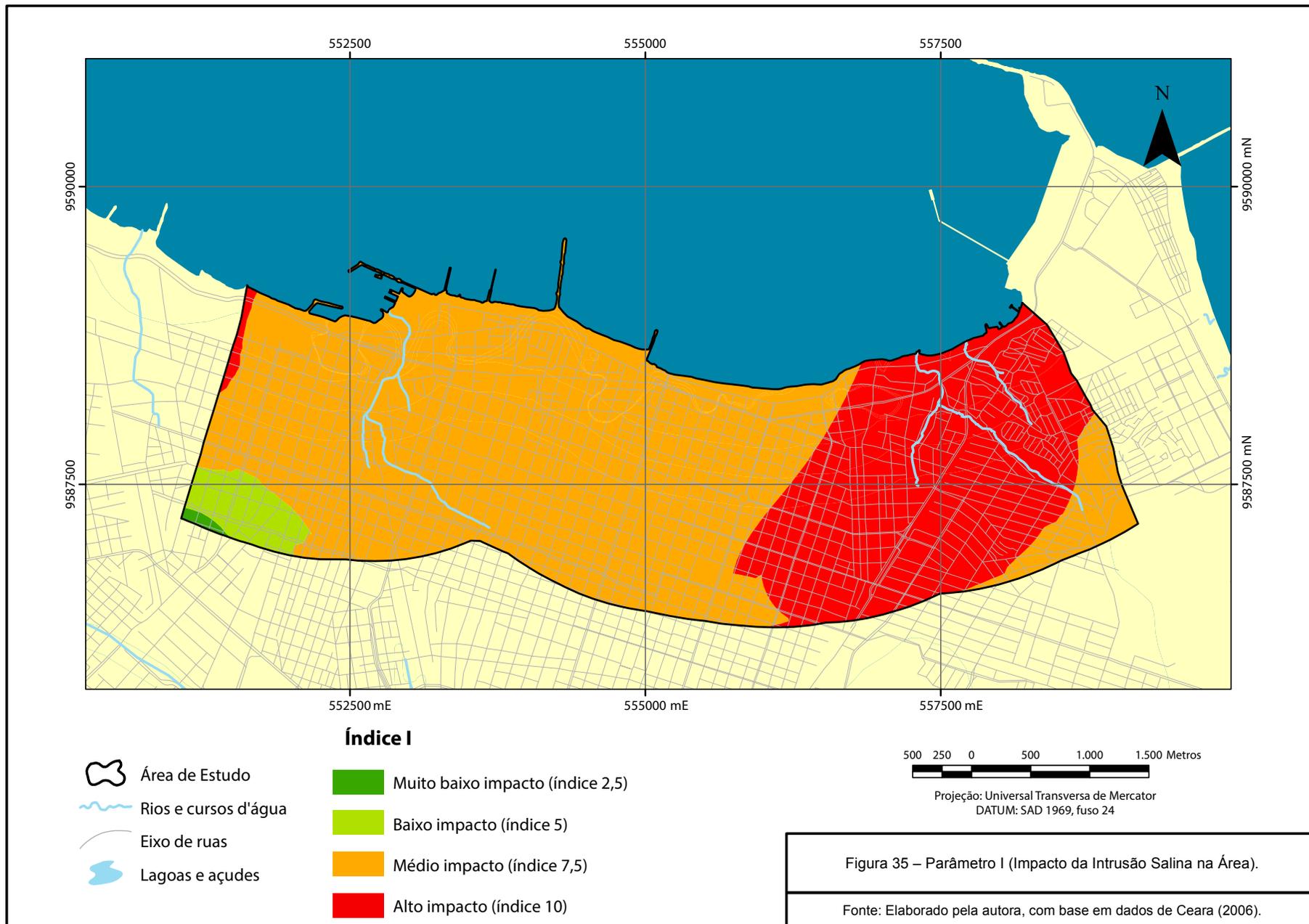
Figura 10 – Mapa índice A (Condutividade Hidráulica). Fonte: Elaborado pela autora.



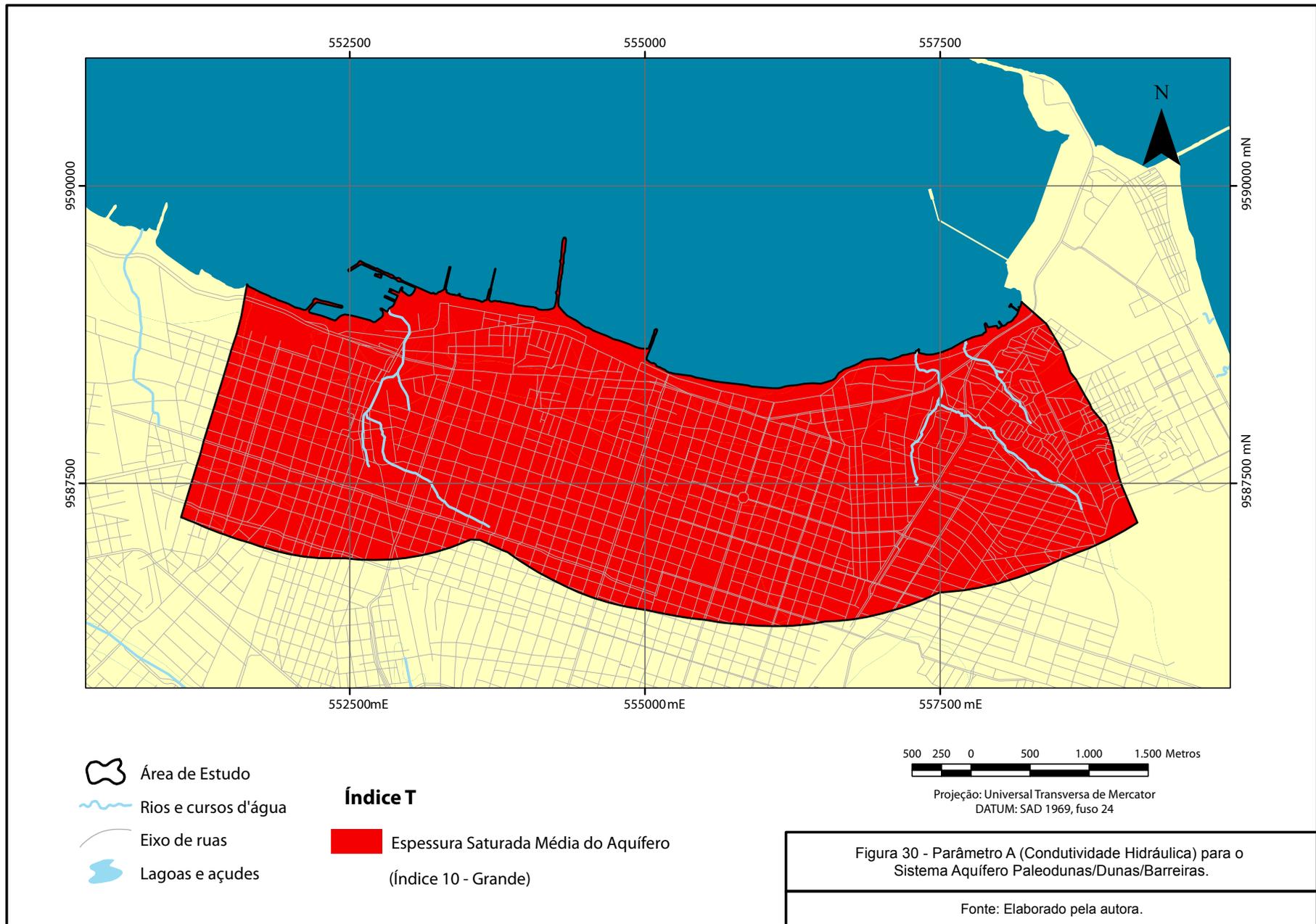
Mapa índice L (Nível Piezométrico). Fonte: Elaborado pela autora baseado em dados fornecidos pela CPRM (2011).



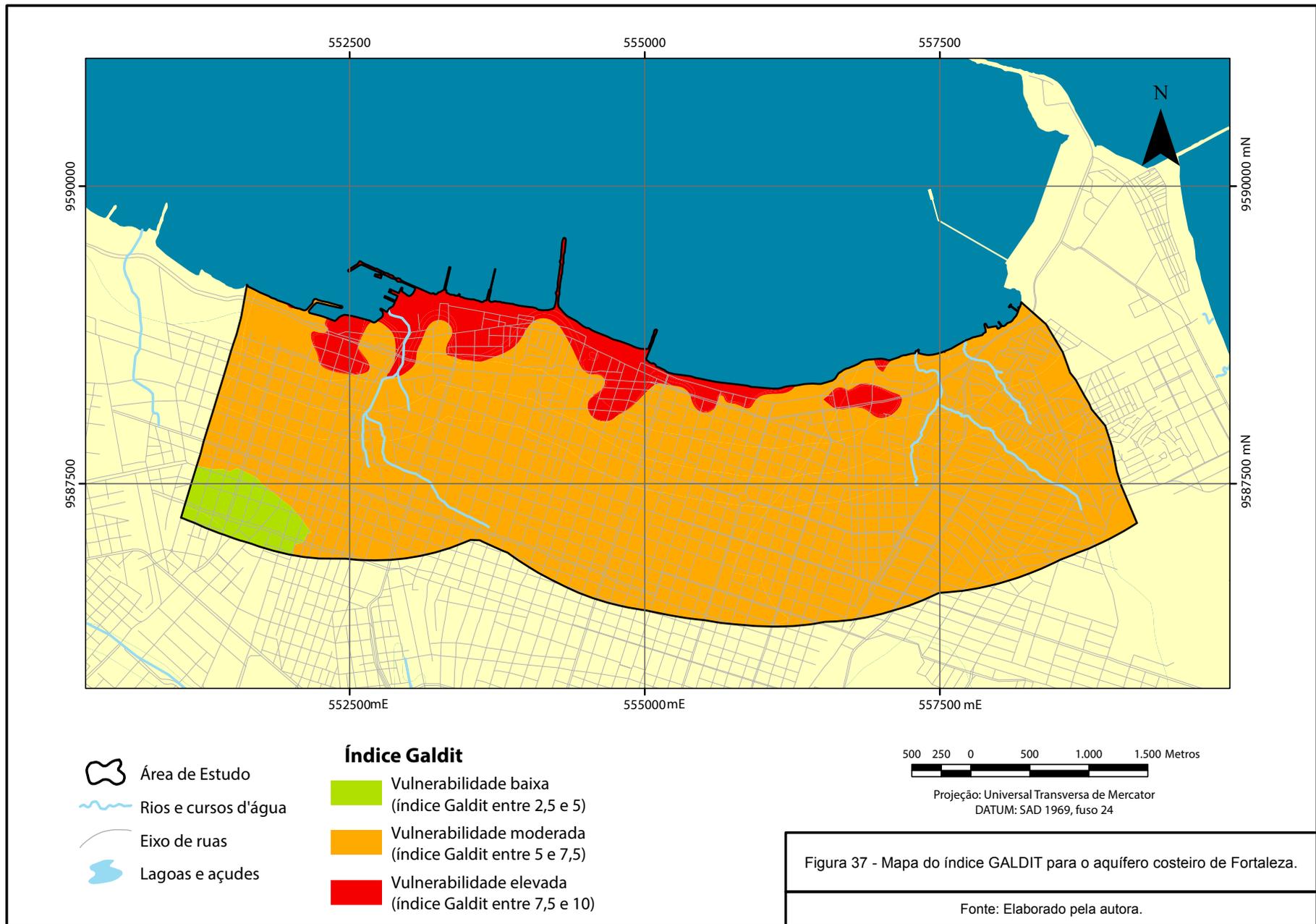
Mapa índice D (Distância à Linha de costa). Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE (2000).



Mapa índice I (Impacto da Intrusão Salina na Área). Fonte: Elaborado pela autora com dados de CEARA (2006).



Mapa índice T (Espessura Saturada). Fonte: Elaborado pela autora.



Mapa de ÍNDICE GALDIT. Fonte: Elaborado pela autora.



Conclusões

- Indícios de super exploração de aquíferos costeiros → intrusão salina
- Prevenção → planejamento
- Conhecimento da vulnerabilidade → importante subsídio para gestão
- Método de determinação da vulnerabilidade → o método utilizado (GALDIT) mostrou-se prático e útil
- Fortaleza → fundamental um estudo da vulnerabilidade das águas subterrâneas à intrusão salina



Recomendações

- Elaboração de um mapa topográfico mais detalhado da zona costeira;
- Análises físico-químicas de todos os poços, objetivando detectar eventual presença de água salgada;
- Elaboração de perfil geológico mais preciso para os poços encontrados na área; e
- Ampliar área de pesquisa para abranger maior extensão do município.

Referências



ALMEIDA, G. M. & SILVA JUNIOR, G. C. **Fatores hidrogeológicos no estudo da intrusão salina em aquíferos costeiros da região litorânea do município de Maricá – RJ.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Rio de Janeiro. Vol. 30-2, 2007. p.104-117.

ALVES, M. G.; RAMOS, I. S. & CORIDOLA, R. Metodologia DRASTIC na análise da vulnerabilidade dos aquíferos livres de Campos dos Goytacazes. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p.3433-3438.

BARBOZA, A. E. C.; ROCHA, S. F. & GUIMARÃES, W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha – ES. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3279-3286.

BRANDÃO, R. L. **Sistemas de informações para gestão e administração territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza.** Fortaleza: CPRM, 1995. 105p.

CHACHADI, A. G. & LOBO FERREIRA, J. P. Sea water intrusion vulnerability mapping of aquifers using the GALDIT method. **Coastin – a coastal policy research newsletter**, Nova Délhi, n.4, Mar. 2005, 12p.

CHACHADI, A. G. & LOBO FERREIRA, J. P. Assessing aquifer vulnerability to sea water intrusion using GALDIT method: Part 2 – GALDIT indicators description. **The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources**, Guimarães, Jul. 2005, p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.** 2ª ed. São Paulo: CETESB, 2001. 389p.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ (CAGECE). **Números.** Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/institucional/numeros>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea.** Barcelona: Ediciones Omega, S. A., 1976. v.2.

DIAMANTINO, C. M. S. **Intrusão salina: caracterização da situação na faixa costeira de Portugal continental e aplicação de um modelo matemático a uma região a norte de Sines.** Lisboa: LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) – Departamento de Hidráulica e Ambiente/ Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas.

DOMINGOS, C. S. **Geoprocessamento na escolha de sistemas ambientais para aterros sanitários na Região Metropolitana de Fortaleza.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. 144p.

FECHINE, J. A. L. **Alterações no perfil natural da zona costeira da cidade de Fortaleza, Ceará, ao longo do século XX.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. 116p.

FEITOSA, F. A. C. et al (Coord.). **Hidrologia: conceitos e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812p.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza: CPRM, 1997. 389p.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. 412 p: il.

FERREIRA da SILVA, J. F. F. & HAIE, N. Planejamento e gestão global de recursos hídricos costeiros: estratégias para a prevenção e controlo da intrusão salina. In: CONGRESSO NACIONAL DA ÁGUA, 5., 2000, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APRH, 2000.

FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. **Groundwater.** New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1979. 604p.

GUEDES, A, Jr.; ORTH, D. M.; NASCIMENTO, G.; SANTOS, C. **Uso da Água Subterrânea como Fonte de Abastecimento da Praia Brava, Florianópolis, Análise Ambiental e Riscos de Contaminação.** Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998, p.1-9 Ilus., tab. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 26 (AIDIS 98); Lima, 1-5 nov. 1998. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/bracca214.pdf>. Acesso em: 22/02/2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2000.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 26 mar. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/defaulttab.shtm>>. Acesso em: 28 fev. 2011.

KACIMOV, A. R. On the Maas problem of seawater intrusion combated by infiltration. **Journal of Hydrology**, v.358, n.3-4, p. 354-358, Set. 2008. Disponível em: www.elsevier.com/locate/jhydrol. Acesso em: 10 mar. 2009.

KULKAMP, M. S.; KAIPPER, B. I. A.; CORSEUIL, H. X. **Influência do Etanol na Atenuação Natural de Hidrocarbonetos de Petróleo em um Aquífero Contaminado com uma Mistura de Diesel e Etanol.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento Ambiental : Ética e Responsabilidade Social. Joinville, ABES, set. 2003, p.1-7 Ilus. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental No. 22; V Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental; Joinville, 14-19 set. 2003. CEPIS. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes22/dx.pdf>. Acesso em: 22/02/2007.





LEAL, S. E. C. & ARAUJO, A. L. **Aspectos qualitativos das águas subterrâneas do município de Fortaleza – CE.** Relatório de Graduação. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará. 1990. 120p.

LEITE, C. E. S. **Aquíferos costeiros - principais definições.** Disponível em: <<http://ishe.free0host.com/cesol999/AquiferoCosteiro.htm>>. Acesso em: 28 abr. 2010.

LLOYD, J. W. Part Two – Groundwater and salinity. In: NASH, H. & MCCALL, G. J. H. **Groundwater quality.** Londres: Chapman & Hall, 1994. p.67-108.

_____. **Mapa político administrativo dos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza - Brasil.** Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RMF_Atualmente.PNG>. Acesso em: 01 nov. 2010.

MATIAS, J. M. G. **Subsistema aquífero da Mata do Urso: vulnerabilidade natural e risco de contaminação.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra. Coimbra, 2010, 122p.

MEAULO, F. J. **Vulnerabilidade Natural à Poluição dos Recursos Hídricos Subterrâneo da Área de Araraquara (SP).** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2004.

MELO, V. Y. B. **Características hidrogeológicas e físico-químicas das águas subterrâneas dos bairros Joaquim Távora, Dionísio Torres e São João do Tauape, Fortaleza – CE.** Relatório de Graduação. Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza, 2008. 76p.

MELLOUL, A. J. & GOLDENBERG, L. C. Monitoring of seawater intrusion in coastal aquifers: basics and local concerns. **Journal of Environmental Management**, Maryland Heights, v.51, p.73-86, 1997.

MIOTTO, S. L. **Aspectos Geológico-Geotécnicos da Determinação da Adequabilidade de Áreas para Implantação de Cemitérios.** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração: Análise Ambiental. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) – UNESP – Rio Claro, 1990.

MONTENEGRO, S. M. G. L. et al. Águas subterrâneas na zona costeira da planície do Recife (PE): evolução da salinização e perspectivas de gerenciamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.14, n.3, p. 81-93, Jul/Set. 2009.

O CICLO Hidrológico. Disponível em: <www.meioambiente.pro.br/agua/guia/ociclo.htm>. Acesso em: 15 jul. 2007.

PACHECCO, A. **Cemitérios** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <apacheco@usp.br> em 20/04/2007.

POST, V. & ABARCA, E. Preface: Saltwater and fresh water interactions in coastal aquifers. **Hydrogeology Journal**, v.18, n.1, p.1-4, Dez. 2009. Disponível em <http://www.springerlink.com/content/y425827hm66k5057/>. Acesso em 05 out. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA (PMF). **Regional 2**. Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=50>. Acesso em: 01 nov. 2010.

QUESADO JUNIOR, N. **Contribuição da hidrogeologia à problemática das doenças de veiculação hídrica em Fortaleza, CE**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza, 2001.

SCHWARTZ, F. W. & ZHANG, H. **Fundamentals of groundwater**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2003, 583p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Dados fornecidos pela CPRM em fev. 2011.

SILVA, B. T. A. & GOMES, C.C. Intrusão marinha em poços de exploração de água subterrânea, na Beira-Mar de Fortaleza – Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 7., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.

SOUZA, N. A. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – um estudo do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009. 132p.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMACE). **Inventário estadual dos resíduos sólidos industriais do Ceará**. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/programas/residuos/imapas.htm>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. G. P. & ALMEIDA JUNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.62, n.2, Abr/Jun. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000200015>. Acesso em: 29 mar. 2011.

TERCEIRO, P.; LOBO FERREIRA, J. P.; LUÍS MIGUEL, G. & ADÃO, A. Avaliação da vulnerabilidade à intrusão marinha do Aquífero Luanda-Quelo usando o método GALDIT. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 9., 2009, Benguela. **Resumo...** Benguela: APRH, ABRH, AMCT, ACRH e Ordem dos Engenheiros de Angola, 2009.

TODD, D. K. **Groundwater hydrology**. 2. ed. New York: Wiley, 1980. 535p.

WATSON, I. & BURNETT, A. **Hydrology: an environmental approach**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. 702p.

WERNER, A. D. A review of seawater intrusion and its management in Australia. **Hydrogeology Journal**, v. 18, n.1, p. 281-285, Abr. 2009. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/q75147m6j6766470/>. Acesso em: 07 mar. 2011.

