

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**



**CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE  
INTRÍNSECA DO AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NA  
CIDADE DE MANAUS – AM**

**JANAÍNA SIMONE NEVES MIRANDA**

**MANAUS  
2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**JANAÍNA SIMONE NEVES MIRANDA**

**CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE  
INTRÍNSECA DO AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NA CIDADE  
DE MANAUS – AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geologia e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ingo Daniel Wahnfried

**MANAUS  
2017**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M672c Miranda, Janaina Simone Neves  
Caracterização da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus - AM / Janaina Simone Neves Miranda. 2017  
114 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Ingo Daniel Wahnfried  
Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Aquífero Alter do Chão. 2. DRASTIC. 3. Vulnerabilidade. 4. Manaus. I. Wahnfried, Ingo Daniel II. Universidade Federal do Amazonas III. Título


JANAÍNA SIMONE NEVES MIRANDA


CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DO  
AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NA CIDADE DE MANAUS/AM

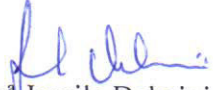
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geociências.

Aprovada em 07 de fevereiro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Ingo Daniel Wahnfried, Presidente.  
Universidade Federal do Amazonas

  
Prof. Dr. Raimundo Humberto Cavalcante Lima, Membro.  
Universidade Federal do Amazonas

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jamile Dehaini, Membro.  
Universidade do Estado do Amazonas

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível porque contou com a contribuição direta ou indireta de várias pessoas que, portanto, tem a minha profunda gratidão.

Primeiramente agradeço à inteligência suprema cujo nome pode variar conforme a religião, sendo popularmente conhecido como Deus, Nanã, Buda, Alá, etc...

Agradeço aos meus pais Maria Neves e Antônio Miranda pela minha vida, amor incondicional, bons exemplos, carinho, educação familiar, apoio para minha educação escolar e por me proporcionarem meios para que eu chegasse até aqui. À toda minha família, em especial, aos meus irmãos Cíntia e Rogério pelo carinho, apoio e torcida constante e à minha avó Rosa (*In memoriam*) pelo exemplo e sabedorias de vida.

Agradeço à Raissa pelo amor, companheirismo, amadurecimento, risadas, discussões geológicas e pela paciência nas revisões dos textos.

Agradeço ao meu orientador Dr. Ingo Wahnfried pelos ensinamentos, confiança, amizade e exemplo. Agradeço ainda pelas conversas científicas, sociais e políticas que foram injeções de ânimo e entusiasmo em momentos cruciais.

Agradeço à CPRM pelo incentivo dado no desenvolvimento desse estudo. Em especial ao Marco Oliveira, Maria Antonieta, André Martinelli e Carlos Aguiar pelo incentivo, conversas técnicas e apoio.

Agradeço ao meu grande amigo e mestre da CPRM-BH José do Espírito Santo pelos ensinamentos científicos, exemplo e conselhos.

Agradeço aos meus amigos Priscila, Levi, Jéssica, Paulo, Túlio, Luciana, Inácia, Bernardo, Mica e Marina pela amizade sincera, risadas e, principalmente, por se tornarem minha família do coração em Manaus. Ao Paulo agradeço novamente porque além de família é especialista em assuntos aleatórios do arcgis.

Agradeço aos meus colegas de projeto na CPRM, Sílvia Gonçalves, Cláudia Teixeira e Francisco Sandoval pelos ensinamentos técnicos, pela receptividade e convivência.

Agradeço aos colegas da CPRM Luiz Felipe, Elton, Nívea, Gilmar, Marcelo, Hilton, Nelson, Silvio, Vanessa Cunha e Vanessa Oliveira pela disponibilização de trabalhos e/ou discussões científicas.

Agradeço aos amigos da UFAM, em especial, Johanna, Érikca, Carlos, Mônica, Emanuel, Marcel, Pedro, Mateus, Katy Katy, Paty Paty e Marcelo pela convivência, amizade, risadas e, principalmente, pelas festas e experimentações culinárias e musicais.

Agradeço a todos os funcionários do DEGEO/UFAM que tive o prazer de conhecer, em especial aos professores da pós graduação e ao secretário Marcos sempre solícito e gentil no esclarecimento de dúvidas ou na resolução de problemas.

Agradeço a participação dos membros da banca, professor Humberto e professora Jamile por todas as contribuições feitas.

E por fim, agradeço a toda sociedade brasileira, cujos tributos são destinados, em parte, para manter o funcionamento das escolas públicas e das Universidades Federais, que foram as instituições responsáveis pela minha formação intelectual.

## RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da vulnerabilidade intrínseca do aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus. O método escolhido para a determinação da vulnerabilidade intrínseca foi o DRASTIC, que abrange e correlaciona os principais parâmetros físicos e hidrogeológicos da área estudada. O DRASTIC é definido pela soma ponderada da profundidade do nível de água (D), recarga (R), meio aquífero (A), solos (S), topografia (T), zona não saturada (I) e condutividade hidráulica (C). Foi feita extensa revisão bibliográfica de dados e estudos do Aquífero Alter do Chão em Manaus e região, tais como estudos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, dados de perfis de sondagem a trado, de poços tubulares e, de estudos climático-meteorológicos. Em Manaus o aquífero Alter do Chão apresenta profundidade de nível das águas subterrâneas predominante superior a 15 m, níveis mais rasos são observados próximos a drenagens, enquanto que os níveis mais profundos ocorrem onde há maior extração de água subterrânea por poços tubulares. O modelo conceitual de síntese proposto para a recarga indica como principais fontes a recarga natural pela infiltração de água de chuva nas áreas com densa cobertura vegetal (963 mm/ano) e a recarga antrópica induzida através da infiltração da água de distribuição pública e infiltração de efluentes lançados em fossas (entre 153,5 e 652,4 mm/ano). Para a recarga antrópica induzida estima-se que cerca de 68% da água captada e distribuída pelo sistema público se transforma em recarga artificial para o aquífero. O principal meio por onde a água subterrânea percola na zona saturada são as camadas arenosas da formação Alter do Chão. Os solos da área são predominantemente franco arenosos nos vales e taludes e, franco argilosos nos platôs. A zona não saturada é caracterizada como intercalações entre camadas arenosas, camadas areno siltosas ou areno argilosas e camadas pelítica. A condutividade hidráulica do aquífero é baixa, predominantemente menor que 4,1 m/dia. A declividade da área é predominantemente baixa (menor que 21%), declividades altas (superiores a 12%) ocorrem em áreas restritas ao longo de taludes na transição entre platôs e vales. Os resultados obtidos para a vulnerabilidade intrínseca mostram o predomínio de vulnerabilidade baixa e moderada leve por toda a área e, de forma restrita na região noroeste, a presença de vulnerabilidade moderada e alta. Os principais fatores que atribuem maior grau de proteção natural ao aquífero são o seu nível de água profundo, sua camada de solo com elevada quantidade de argilas e o substrato litológico da zona não saturada com ampla representação de camadas de silte e argila. Assim, apesar da área estudada apresentar declividade baixa e taxas de recarga elevadas, que aumentariam significativamente a vulnerabilidade, os substratos existentes no percurso da água infiltrada até atingir o aquífero e a maior profundidade do nível de água oferecem distância e elementos litológicos para sua proteção intrínseca.

## **ABSTRACT**

This work presents the evaluation of the intrinsic vulnerability of the Alter do Chão Aquifer in the Manaus city. The selected method for the determination of intrinsic vulnerability is the DRASTIC, which embraces and correlates the main physical and hydrogeological parameters of the study area. The DRASTIC is defined by a weighted sum of depth to water (D), recharge (R), aquifer media (A), soils (S), topography (T), unsaturated zone (I) and hydraulic conductivity (C). An extensive literature review of existing data and studies of the Alter do Chão Aquifer in Manaus and region was performed, gathering information about geology, geomorphology, pedology, borehole profiles and climate. The average depth to water in the Alter do Chão Aquifer in Manaus exceeds 15 meters; smallest depths are observed close to drainages, whereas deeper levels occur where there is greater groundwater extraction by boreholes. The proposed conceptual model for groundwater recharge indicates natural sources as the main contributors, mainly by infiltration of rain water in areas with dense vegetation cover (963 mm/year), and the anthropic recharge by infiltration of water from mains leakage cesspits (between 153,5 and 652,4 mm/year). For the induced anthropic recharge, it is estimated that about 68% of extracted water that is distributed by the public supply becomes artificial recharge for the aquifer. The sand layers of Alter do Chão Formation are the preferential pathway for groundwater percolation in the saturated zone. The soil types of the area are predominantly sandy loam, in the valleys and slopes, and clay loam, in the plateaus. The unsaturated zone is characterized as intercalations of sandy, silty sand or clayey sand, and pelitic layers. The hydraulic conductivity of the aquifer is mainly lower than 4,1 m/day. The slopes of the area are mainly lower than 21%; high slopes (superior to 12%) occur at restricted areas along ramps in the transition of plateaus and valleys. The obtained results for intrinsic vulnerability show that low and slight moderate vulnerability have predominance in the area and moderate and high vulnerability occur restrictedly in the northwest region of the area. The main factors that generate a higher grade of natural aquifer protection are the deep water level, the soil layer with significant amounts of clay and the lithologic substrate of the unsaturated zone that has a wide range of silt and clay layers. Therefore, despite the low slopes and high recharge rates that could significantly increase the vulnerability, the clay substrates and the deep water levels provide significant intrinsic protection.



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Localização da área de estudo.....	2
1.2.	Objetivos .....	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1.	Geologia Regional.....	4
2.1.1	Formação Alter do Chão .....	9
2.1.2	Formação Novo Remanso .....	11
2.2.	Aspectos fisiográficos.....	11
2.2.1.	Clima .....	11
2.2.2.	Relevo .....	12
2.2.3.	Vegetação .....	14
2.3.	Aquífero Alter do Chão .....	14
2.4.	Vulnerabilidade.....	15
3.	MÉTODOS.....	20
3.1.	DRASTIC.....	20
3.1.1.	Profundidade do nível de água (D).....	23
3.1.2.	Recarga do aquífero (R).....	24
3.1.3.	Meio aquífero (A).....	25
3.1.4.	Solos (S).....	26
3.1.5.	Topografia (T).....	27
3.1.6.	Zona não saturada (I) .....	28
3.1.7.	Condutividade hidráulica (C) .....	29
3.2.	Aquisição e tratamento de dados .....	30
3.2.1.	Profundidade do nível de água (D).....	32
3.2.2.	Recarga do aquífero (R).....	36

3.2.3.	Meio Aquífero (A) .....	40
3.2.4.	Solos (S).....	42
3.2.5.	Topografia (T).....	47
3.2.6.	Zona não saturada (I) .....	48
3.2.7.	Condutividade hidráulica (C) .....	50
4.	RESULTADOS .....	53
4.1.	Profundidade do nível de água (D).....	53
4.2.	Recarga (R).....	59
4.3.	Meio Aquífero (A) .....	67
4.4.	Solos (S).....	70
4.5.	Topografia (T);.....	75
4.6.	Zona não saturada (I) .....	78
4.7.	Condutividade Hidráulica (C).....	80
4.8.	DRASTIC.....	83
5.	CONCLUSÕES.....	89
6.	REFERÊNCIAS .....	92
7.	APÊNDICES .....	100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação sucinta entre alguns métodos de mapeamento de vulnerabilidade. ....	19
Tabela 2: Parâmetros utilizados na metodologia DRASTIC para análise da vulnerabilidade intrínseca do aquífero.....	22
Tabela 3: Matriz do cálculo do índice DRASTIC com os valores dos pesos (w) e valores máximos e mínimos dos parâmetros índice final.....	23
Tabela 4: Classificação da vulnerabilidade a partir do índice final do DRASTIC. Adaptado de Aller et al. (1987).....	23
Tabela 5: Profundidade do nível de água (D) e índice relativo para metodologia DRASTIC.....	24
Tabela 6: Recarga (R) e índice relativo para metodologia DRASTIC.....	24
Tabela 7: Meio aquífero (A) e intervalo para escolha do índice relativo para metodologia DRASTIC, bem como a indicação dos valores usuais para o parâmetro .....	26
Tabela 8: Solo (S) e índices relativa para metodologia DRASTIC .....	27
Tabela 9: Topografia (T) e índice relativo para metodologia DRASTIC .....	28
Tabela 10: Influência da zona não saturada (I) e índice relativo para metodologia DRASTIC.....	29
Tabela 11: Condutividade Hidráulica (C) e índice relativo para metodologia DRASTIC .....	29
Tabela 12: Lista das principais fontes de dados obtidos e a aplicação das informações no mapeamento da vulnerabilidade pelo método DRASTIC. ....	31
Tabela 13: Critérios utilizados para a seleção de poços do SIAGAS para determinação do nível estático da área. ....	33
Tabela 14: Dados obtidos através do método do balanço hídrico na Reserva Adolpho Ducke por Brito (2014). ....	37
Tabela 15: Padronização realizada nos dados litológicos dos dados. ....	41
Tabela 16: Descrição sucinta das unidades de terreno de Prado (2004).....	44
Tabela 17: Unidades definidas por Roque (2006) com a respectiva descrição do solo superficial. ....	45
Tabela 18: Fator de correção a ser subtraído dos dados monitorados, conforme mês de coleta da informação. ....	55

Tabela 19: Intervalo de profundidades com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para a área.....	57
Tabela 20: Percentual de perdas de água por vazamento na rede de distribuição em 2012, 2013 e 2014 (SNIS, 2014).....	60
Tabela 21: Estimativa de tipos de lançamento de efluentes a partir do cadastro de famílias (SIAB, 2014). ....	60
Tabela 22: Dados de produção de poços e perdas por sistema de abastecimento e complexo de produção de água. *Fonte: ARSAM (2012); ** Cálculo com 10% dos poços em atividade. ....	62
Tabela 23: Intervalo de taxas de recarga com os respectivos índices relativos e valores do atributo obtidos para a área.....	64
Tabela 24: Intervalo de índice com o respectivo índice relativo e valor do atributo obtido para o parâmetro Meio Aquífero (A) para metodologia DRASTIC.....	68
Tabela 25: Descrição sucinta das unidades de solos caracterizadas por *Prado (2004) e por **ROQUE (2006) para a área urbana de Manaus e a classificação adotada para adequação dos substratos a classificação definida no método DRASTIC. ....	71
Tabela 26: Intervalo de índice de solos com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para o parâmetro Solo (S) e índices relativos para metodologia DRASTIC.....	72
Tabela 27: Intervalo de declividades para determinação do parâmetro topografia, com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para a área .....	75
Tabela 28: Intervalo de substratos da zona não saturada com os respectivos índices relativos e valores do atributo obtidos para a área.....	78
Tabela 29: Intervalo de condutividade hidráulica com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para a área.....	81
Tabela 30: Matriz do cálculo do índice DRASTIC com os valores máximos e mínimos para índices, parâmetro e índice final do AAC na cidade de Manaus. ....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo no município de Manaus, AM.....	3
Figura 2: Bacias sedimentares com indicação da zona urbana da Cidade de Manaus, área de estudos desse trabalho, em vermelho. Adaptado de Souza et al (2013). ....	5
Figura 3: A coluna estratigráfica da bacia do Amazonas proposta por Cunha et al. (2007).....	6
Figura 4: Coluna estratigráfica da região Central da Bacia do Amazonas, com a representação da Formação Novo Remanso (Playford e Dino, 2000; Soares, 2007; Dino et al., 2012; Soares et al. 2016). ....	9
Figura 5: Média dos valores de precipitações mensais em milímetro monitorado entre os anos de 1998 e 2014. Pluviômetro do INMET instalado em Manaus. Fonte: Andretta (2014).....	12
Figura 6: Mapa geomorfológico da Cidade de Manaus e entorno. Fonte: Vieira, 2008; modificado de Ross, 2000. ....	13
Figura 7: Compartimentação topográfica proposta por Sarges et al. (2011).....	14
Figura 8: Perfil esquemático relacionando os parâmetros de mapeamento da vulnerabilidade pelo método DRASTIC: profundidade do nível de água (D); recarga do aquífero (R); meio aquífero (A); tipo de solo (S); topografia ou declividade do terreno (T); influência da zona não saturada (I); condutividade hidráulica (C). Fonte: Adaptado de Cabral et al. (2004).....	21
Figura 9: Perfil esquemático representando a profundidade do nível de água (D)....	32
Figura 10: Localização dos poços do projeto RIMAS em Manaus. ....	34
Figura 11: A) Poço PT-05 do projeto RIMAS, B) Extração e compensação de dados dos transdutores instalados no poço com auxílio de computador e C) Modelo de medidor de nível marca HS e cabo de 100 m utilizado para checagem e calibração do nível monitorado.....	35
Figura 12: Áreas com abastecimento público em Manaus.....	39
Figura 13: Mapa de unidades de terreno de Prado (2004) com detalhe para a área de estudos. Adaptado de Prado (2004).....	43
Figura 14: Mapa de unidades geotécnicas. Adaptado de Roque (2006).....	45
Figura 15: Perfis típicos das unidades propostas por Roque (2006).....	46
Figura 16: Intervalo da zona não saturada para aplicação do método DRASTIC. ....	48
Figura 17: Blocos diagrama representativos dos sistemas de deposição fluvial a) entrelaçado e b) sistema de deposição fluvial meandrante. Adaptado de Freeze e Cherry (1979). ....	49

Figura 18: Poços com teste de bombeamento utilizados para determinação da condutividade hidráulica da área.....	52
Figura 19: Monitoramento do nível estático de cinco poços do projeto RIMAS. ....	54
Figura 20: Monitoramento do poço PT-01 do projeto Rimas com variação sazonal bem marcada. ....	54
Figura 21: Regressão linear para correção do nível estático dos poços .....	55
Figura 22: Mapa de pontos utilizados para interpolação e definição do mapa de profundidade do nível de água. ....	56
Figura 23: Mapa de interpolação da profundidade do nível estático para a área de Manaus. ....	58
Figura 24: Modelo conceitual de síntese para a recarga na área urbana de Manaus. A) Água superficial captada para a distribuição pública, B) Captação e tratamento da água superficial, C) Reservatório de distribuição, D) Infiltração de água de chuva para recarga natural, E) Evapotranspiração, F) Captação de água subterrânea através de poços e cacimbas, G) Escoamento superficial, H) Vazamento na rede de distribuição, I) Água infiltrada na zona não saturada, J) Infiltração de efluente de fossa, K) Lançamento de efluente a céu aberto. ....	61
Figura 25: Relação proposta para a recarga indireta, antrópica, para a área urbana de Manaus. ....	63
Figura 26: Mapa representativo da recarga para a cidade de Manaus. ....	65
Figura 27: Mapa da taxa de recarga para a área urbana de Manaus. ....	66
Figura 28: Mapa da área de estudos com os pontos de informações litológicas plotados, direção e sentido do perfil litológico esquemático representativo. Perfil esquemático com informações da textura das camadas litológicas com as respectivas profundidades (m) e do nível de água subterrânea. Sendo A localizado no bairro da Compensa e A' localizado no bairro Cidade de Deus. ....	67
Figura 29: Mapa para o meio aquífero principal da área urbana de Manaus e o respectivo índice de classificação DRASTIC.....	69
Figura 30: Diagrama textural com realce em vermelho das texturas interpretadas para o solo da área de estudos. Adaptado de IBGE (2007). ....	72
Figura 31: Mapa de fácies de solos para a área estudada, junção dos mapas de Prado (2004) e Roque (2006). ....	73
Figura 32: Mapa de índices DRASTIC para solos.....	74
Figura 33: Modelo Digital de Elevação (MDE) para a área de estudos. As áreas do extremo norte e extremo leste do mapa foram interpoladas com curvas de nível de	

menor resolução (20 m) em relação às demais áreas com curvas de nível de 5 m. O limite entre as diferentes resoluções está indicada pela linha preta do mapa.....	76
Figura 34: Mapa de índices do parâmetro Topografia (T) para o cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC.....	77
Figura 35: Mapa de índices do parâmetro zona não saturada (I) para o cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC. ....	79
Figura 36: Condutividade hidráulica das unidades litológicas. Adaptado de Freeze e Cherry (1979) .....	80
Figura 37: Mapa de pontos utilizados para interpolação e definição do mapa de condutividade hidráulica.....	81
Figura 38: Mapa para a condutividade hidráulica média da cidade de Manaus e índice de classificação DRASTIC para esse parâmetro. ....	82
Figura 39: Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRASTIC.....	86
Figura 40: Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRASTIC com a identificação dos bairros. ....	87
Figura 41: Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRASTIC com a indicação dos pontos utilizados para determinar os parâmetros nível de água, zona não saturada e condutividade hidráulica. Os demais parâmetros utilizados para determinação do mapa final de vulnerabilidade (recarga, meio aquífero, solo e topografia) cobriram toda a área de estudos. ....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAC – Aquífero Alter do Chão;

ANA – Agência Nacional das Águas;

AVI – Índice de vulnerabilidade aquífera;

CPAS – Centros de Produção de Água Subterrânea;

CEPAS – Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas;

CPRM – Cia de Pesquisa de Recursos Minerais;

DRASTIC – D: Profundidade do nível de água; R – Recarga do aquífero, A: Meio aquífero, S: Solo; T: Topografia, I: Zona não saturada, C: Condutividade hidráulica;

EPA – *Environmental Protection Agency*;

FAC – Formação Alter do Chão;

FAPEAM – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas;

GOD – G: Confinamento do aquífero; O: Litologia e o grau de consolidação da cobertura, e D: Profundidade da superfície freática;

ISO 14001 – Norma do Sistema de Gestão Ambiental;

PAHs – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos;

IPAAM – Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas;

ABNT/NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas / Norma Brasileira;

PIM – Polo industrial de Manaus;

RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas;

SAGA – Sistema Aquífero Grande Amazônia;

SEPLAN AM – Secretaria de Planejamento do Amazonas;

SIAB – Sistema de Informação de Atenção Básica;

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas;

SNIS – Sistema Nacional de Informação de Saneamento;

SINTACS – S: Profundidade da água; I: Infiltração; N: Seção sub saturada; T: Tipo de cobertura de solo; A: Características hidrogeológicas do aquífero; C: Condutividade hidráulica e, S: Declividade topográfica;

SUREG – Superintendência Regional;

UFAM – Universidade Federal do Amazonas;

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais; e,

VNA – Variação do nível d'água em piezômetros e indicadores de nível.



# 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Amazonas é a maior do planeta com cerca de 6,1 milhões de km<sup>2</sup>, sendo 3,9 milhões de km<sup>2</sup> em território brasileiro perfazendo a área dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Pará (ANA, 2016). Seu maior rio, o Amazonas, é o maior do mundo em disponibilidade hídrica, com cerca de 208,2 mil m<sup>3</sup>/s de vazão (ANA, 2016), e em extensão, com 6.992 km de comprimento (Martini *et. al.*, 2008).

A capital do estado do Amazonas, Manaus, está situada na região do médio Rio Amazonas às margens deste e do Rio Negro. Possui uma área urbana de aproximadamente 484 km<sup>2</sup>, instalada sobre o Aquífero Alter do Chão (AAC), que é detentor, no limite urbano, de uma reserva hídrica subterrânea estimada em 14,4 km<sup>3</sup> (Aguiar, 2012). Seu sistema de abastecimento público de água é realizado através de captação superficial, em três estações no rio Negro, e subterrânea, em 40 poços tubulares ativos, denominados Centros de Produção de Água Subterrânea (CPAS), localizados mais densamente nas zonas Leste e Norte da cidade (MANAUS AMBIENTAL, 2014). Estima-se que exista um total de 15 mil poços pertencentes a particulares e instalados em residências, condomínios residenciais, instituições públicas, indústrias e empresas comerciais (AGUIAR, 2012) extraindo e utilizando as águas do AAC. Ressalta-se que estudos bibliográficos acerca de águas e áreas contaminadas ainda são escassos.

Segundo VRBA (2001), rejeitos provenientes da atividade industrial, quando não tratados ou dispostos adequadamente e vazamentos em instalações industriais e comerciais em centros urbanos, são fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas por metais pesados, produtos químicos orgânicos, fluidos orgânicos imiscíveis e fenóis. Sabe-se que as ações preventivas de conhecimento e de proteção dos aquíferos são mais eficientes em comparação ao processo de remediação, uma vez que esse último tem longa duração, média eficiência e vários complicadores que elevam seu custo (ANA, 2007).

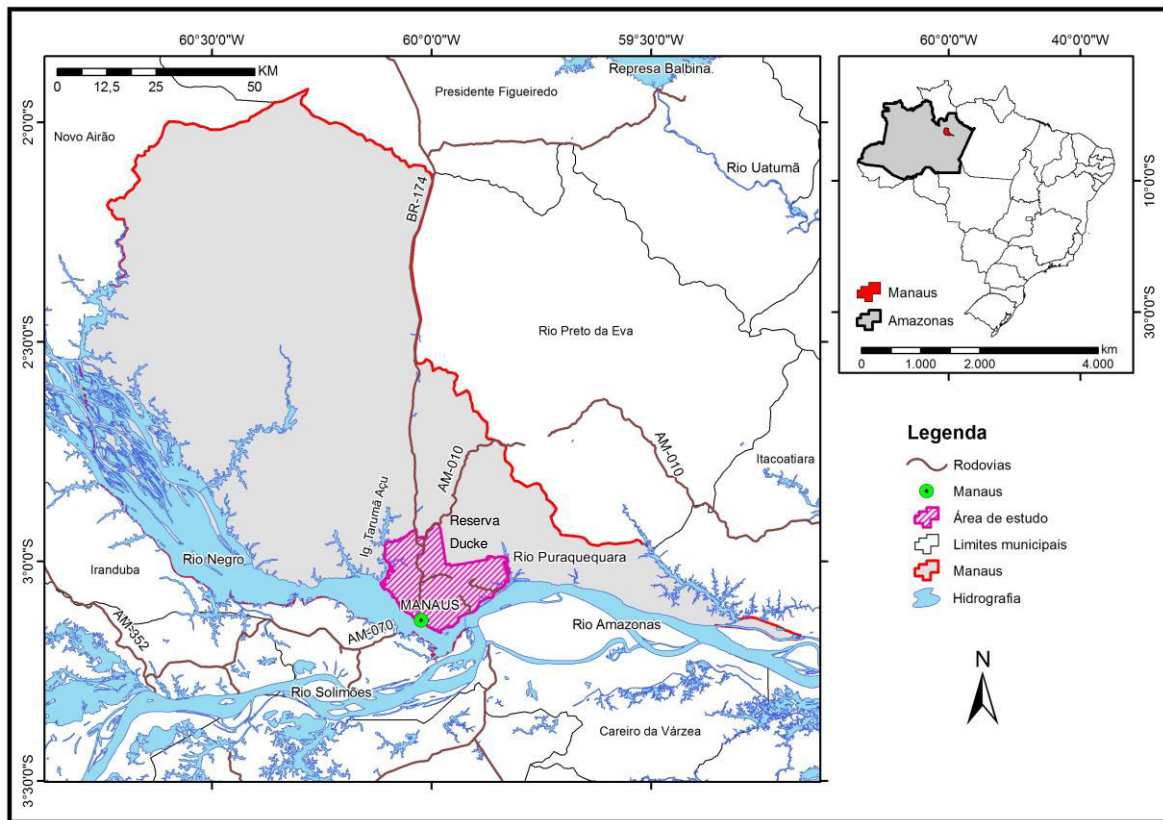
Em Manaus, existem grandes problemas com locação indevida de poços por proximidade com fossas, ausência de proteção sanitária adequada e ausência de laje de proteção sanitária, como constatado por Costa *et al.* (2004) em sua investigação em poços residenciais particulares na zona urbana. A cidade também detém uma importante zona industrial, denominada de Polo Industrial de Manaus (PIM), com mais

de 600 empresas registradas e pouco mais de 400 em atividade, produzindo principalmente eletroeletrônicos e motocicletas (SEPLAN-AM, 2012).

Ferramentas de gestão do uso e ocupação do solo quando possuem informações geológicas e hidrogeológicas fornecem também subsídio para proteção das águas subterrâneas através da possibilidade de adequação do risco de contaminação para cada tipo de atividade desenvolvida em superfície às condições de maior ou menor proteção natural do aquífero. Uma dessas ferramentas é o mapa de vulnerabilidade intrínseca. O conceito de vulnerabilidade intrínseca de águas subterrâneas é derivado do pressuposto de que o ambiente físico provê algum grau de proteção às águas subterrâneas contra impactos naturais e antrópicos, especialmente em relação aos poluentes que entram no subsolo (ABDULLAHI, 2009). Esse trabalho apresenta uma síntese das características geológicas e hidrogeológicas da área urbana de Manaus e, o estudo da caracterização e mapeamento da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão (AAC).

### **1.1. Localização da área de estudo**

A área de estudo corresponde ao perímetro urbano do município de Manaus, localizada na porção nordeste do estado do Amazonas, no médio Amazonas, entre as coordenadas 02°59' a 03° 09' S e 59°49' a 60° 06' W (Figura 1). Possui aproximadamente 483 km<sup>2</sup> e é limitada por quatro importantes zonas fisiográficas: a sudoeste e sul pelo rio Negro, a Sudeste pelo rio Amazonas, a leste pelo rio Puraquequara, e a oeste pelo igarapé Tarumã-Açú. Ao norte a área é limitada pela reserva florestal Adolpho Ducke e pelo início da área rural do município.



**Figura 1: Mapa de localização da área de estudo no município de Manaus, AM.**

## 1.2. Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é a caracterização da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão na Cidade de Manaus e elaborar o mapa de vulnerabilidade em escala de 1:100.000 por meio da interpretação dos parâmetros geológicos e hidrogeológicos. Os objetivos específicos são:

- Definir a metodologia de caracterização da vulnerabilidade intrínseca mais adequada para a área de estudos;
- Sistematizar, verificar consistência e interpretar os dados existentes de cada parâmetro hidrogeológico;
- Buscar e adaptar metodologias para calcular e definir a distribuição da recarga na zona urbana de Manaus;
- Estabelecer o modelo conceitual de síntese para a recarga;
- Elaborar os mapas dos parâmetros físicos e hidrodinâmicos necessários para obtenção do objetivo principal.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Geologia Regional

A área estudada situa-se no domínio noroeste da Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura 2), que conta com um pacote de rochas sedimentares que varia de 700 m de espessura na porção norte até 1.700 m na porção sul (SOUZA, 1974). A coluna estratigráfica da bacia, que se estende do Paleozóico ao Cenozóico, foi proposta por Cunha *et al.* (2007) e é apresentada na Figura 3.

A Bacia Sedimentar do Amazonas está inserida no Cráton Amazônico, possui uma área de aproximadamente 480.000 km<sup>2</sup>, e constitui uma unidade sedimentar intracontinental limitada a norte e a sul pelo embasamento arqueano-proterozóico, respectivamente, o Escudo das Guianas e o Escudo Brasil Central (Figura 2). É limitada a leste pelo Arco Gurupá e a oeste pelo Arco de Purus. A espessura total das rochas sedimentares que a preenchem atinge 5.000 m (CUNHA *et al.*, 1994; 2007).

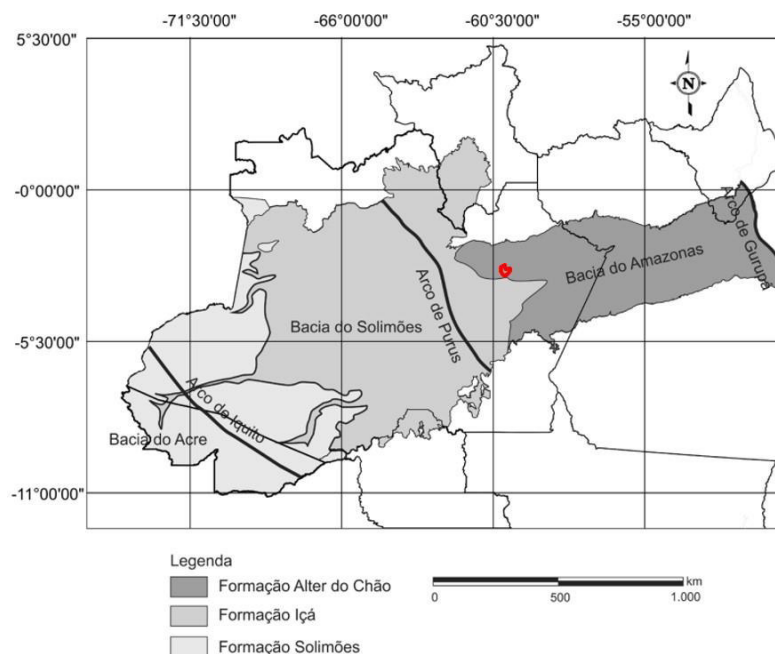
As principais direções de estruturação da bacia são NW-SE, NE-SW e E-W e sua evolução ocorreu pela geometria superimposta às rochas do embasamento que, em linhas gerais, respondeu pelos movimentos tectônicos do megacontinente Gondwana durante o Paleozóico, e pela instalação de sistemas de falhas normais e de transferência durante o estabelecimento dos arcos e discordâncias regionais (REIS e ALMEIDA, 2010).

Neves *et al.* (1989 apud CUNHA *et al.*, 1994) consideram para o desenvolvimento da Bacia Amazônica, um processo de rifteamento associado à reativação de falhas pré-cambrianas, que são resultantes da dispersão de esforços ocorridos no fechamento do Ciclo Proterozóico Brasileiro. O desenvolvimento de uma subsidência térmica regional e de uma sinéclise intracontinental, ocasionadas posteriormente aos esforços distensionais e ao resfriamento das massas plutônicas, resultaram no início da sedimentação da bacia a partir do Neo-Ordoviciano.

Na fase inicial da bacia ocorreu a deposição de sedimentos glaciais e marinhos intercalados do Ordoviciano Superior ao Devoniano Inferior, com avanço de leste para oeste em onlap sobre o Arco Purus (CUNHA *et al.*, 1994). As rochas originadas compõem o Grupo Trombetas, que se subdivide nas formações: Autás-Mirim, com arenitos e folhelhos neríticos; Nhamundá, com arenitos neríticos e depósitos glaciogênicos; Pitinga, com folhelhos e diamictitos marinhos; Manacapuru, com

arenitos e pelitos neríticos e litorâneos; e Jatapu, com arenitos e siltitos marinhos parálicos (CUNHA *et al.*, 1994, 2007).

Em seguida, após uma discordância ocasionada pela Orogenia Caledoniana, ocorreu a deposição dos grupos Urupadi e Curuá, do Devoniano Inferior ao Devoniano Médio, com sedimentação marinha e estágios glaciais (CUNHA *et al.*, 1994). O Grupo Urupadi é composto pelas formações Maecuru, com arenitos e pelitos neríticos e deltaicos, e Ererê, com siltitos, folhelhos e arenitos neríticos e deltaicos. Seguiu-se, após pulso regressivo, a deposição do Grupo Curuá (LUDWIG, 1964 apud CUNHA *et al.*, 2007) do final do Devoniano até meados do Carbonífero, com os seguintes estágios: transgressão global com deposição de folhelho cinza-escuro e preto da Formação Barreirinha (CUNHA *et al.*, 1994); incursão glacial com diamictitos, folhelhos e siltitos da Formação Curiri (DAEMON e CONTREIRAS, 1971); e ambiente fluvial regressivo caracterizado por arenitos e pelitos da Formação Oriximiná (CUNHA *et al.*, 1994). Cunha *et al.* (2007) propuseram a divisão da Formação Barreirinha nos membros Abacaxis, Urubu e Urariá. O primeiro compõe-se de folhelhos negros, ricos em matéria orgânica, com siltitos e arenitos subordinados. O segundo possui folhelhos escuros com menos matéria orgânica e siltitos subordinados. O terceiro é constituído de siltitos com folhelhos e arenitos subordinados.



**Figura 2: Bacias sedimentares com indicação da zona urbana da Cidade de Manaus, área de estudos desse trabalho, em vermelho. Adaptado de Souza *et al* (2013).**

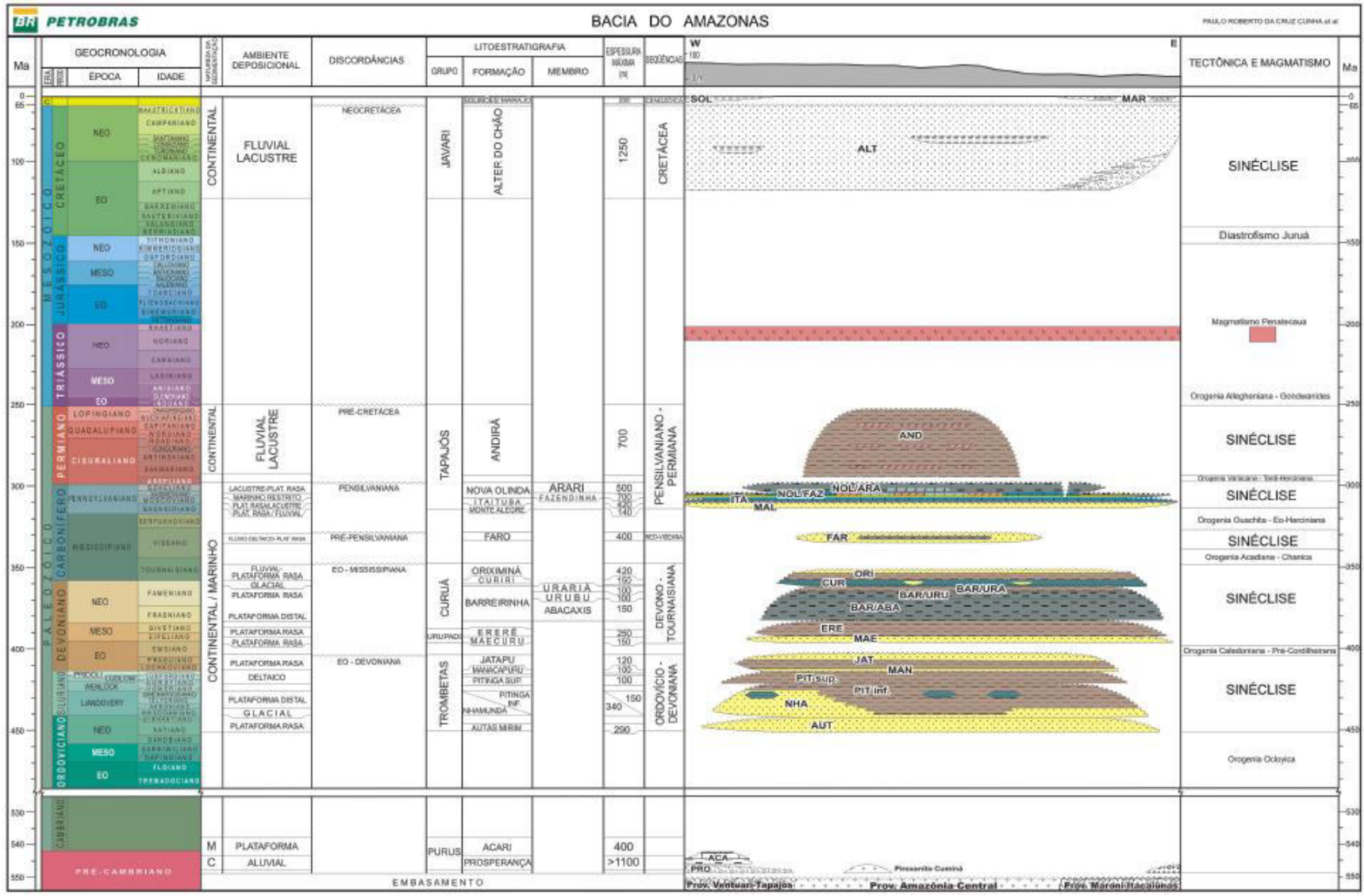


Figura 3: A coluna estratigráfica da bacia do Amazonas proposta por Cunha et al. (2007).

A Formação Faro, retirada do grupo Curuá por Cunha *et al.* (2007), abrange arenitos e pelitos flúvio-deltaicos e litorâneos com influência de tempestades. Após a deposição dessa formação, a Orogenia Eoherciniana deu sequência a um extenso processo erosivo na bacia (NEVES *et al.*, 1989 apud CUNHA *et al.*, 1994).

De acordo com Cunha *et al.* (1994), associado à mudança do clima de frio para quente e árido, ocorreu novo ciclo deposicional de transgressão e regressão, entre o Neocarbonífero e o Neopermiano, caracterizado pelo Grupo Tapajós de Santos *et al.* (1975). Iniciou-se com a deposição de arenitos eólicos e de *wadis*, intercalados a siltitos e folhelhos de interdunas e lagos (MIURA *et al.*, 1983; COSTA, 1984 apud CUNHA *et al.*, 1994) da Formação Monte Alegre. As formações Itaituba e Nova Olinda compõem-se por calcários de inframaré e evaporitos de planície sabkha (ALTINER e SAVINI, 1991 apud CUNHA *et al.*, 1994). A Formação Andirá possui siltitos, arenitos e folhelhos avermelhados de sedimentação predominantemente continental associada à Orogenia Tardi-herciniana (CUNHA *et al.*, 1994). Cunha *et al.* (2007) dividem a Formação Nova Olinda nos membros: Fazendinha, com sedimentos químico-evaporíticos de ambientes marinho raso, planícies de sabkha e lagos hipersalinos; e Arari, com folhelhos e siltitos gerados na regressão marinha.

Com a Orogênese Gondwanide (ZALÁN, 1991 apud CUNHA *et al.*, 1994), ocorreu um extenso processo de erosão dos sedimentos da Formação Andirá ocasionado por um soerguimento generalizado, do Escudo das Guianas até a Bacia do Paraná, relacionado à fase final de colisão dos continentes Laurásia e Gondwana no Neopermiano-Eotriássico.

A reativação de falhas e fraturas em razão dos esforços compressoriais relacionados à abertura do Oceano Atlântico e ao soerguimento andino, episódio chamado de Diastrofismo Juruá (ALMEIDA, 1972), provocou deformação incipiente nas rochas (REIS *et al.*, 2006). Esse evento sucedeu o magmatismo básico, que gerou soleiras e enxames de diques de diabásio de orientação norte-sul, relacionado ao término dos esforços gondwanides e à separação das placas africana e sul-americana que foi precedida pela formação de riftes (CUNHA *et al.*, 1994).

Um novo ciclo cretáceo-terciário, caracterizado pelo Grupo Javari (EIRAS *et al.*, 1994; CUNHA *et al.* 1994, 2007), foi depositado em espaços gerados pelo relaxamento após a conclusão dos esforços compressivos sobre uma superfície de discordância pré-cretácia. Tal grupo é composto por sedimentos da Formação Alter do Chão (FAC) e da Formação Solimões. Cunha *et al.* (2007) propõem ainda, a

inserção da Formação Marajó no Grupo Javari para representar rochas da porção oriental da bacia.

No Cretáceo se instalou um sistema fluvial de alta energia que se estendia até as bacias subandinas que proporcionou a deposição dos arenitos grossos da FAC (CUNHA *et al.*, 1994, 2007). Em seguida, com o soergimento da Cadeia Andina ocorreu o isolamento da bacia e a formação de lagos rasos de água doce e rios meandранtes de baixa energia, onde depositaram-se os pelitos com restos de conchas de moluscos e vegetais da Formação Solimões (CUNHA *et al.* 1994, 2007). Com o progressivo soergimento andino, a drenagem passou a correr para o Atlântico, alimentando a bacia com sedimentos da cadeia montanhosa.

A Formação Marajó, segundo Cunha *et al.* (2007), corresponde a sedimentos arenosos e argilosos do Paleógeno, não correlacionáveis aos sedimentos da Formação Solimões, e associados a fase pós-rifte da Bacia do Marajó (GALVÃO, 2004) com deposição arenosa flúvio-deltáica e fluvial com contribuições marinhas. Essa sedimentação avançou sobre o Arco de Gurupá e conectou-se à porção oriental da Bacia do Amazonas (CUNHA *et al.*, 2007).

Ainda, uma nova unidade pós-cretácea sobreposta a FAC, chamada de Formação Novo Remanso (Figura 4), definida por Rozo *et al.* (2005), ocorre nas proximidades de Manaus. Essa unidade é composta essencialmente por arenitos e minoritariamente por lamitos e conglomerados, característicos de ambiente fluvial e delimitados na base e no topo por descontinuidades, como crostas lateríticas (ROZO, 2004; SOARES, 2007; DINO *et al.*, 2012).

As Formações Alter do Chão e Novo Remanso, por ocorrerem na área de estudo e entorno, serão descritas com maior detalhamento a seguir. Outra unidade presente na área estudada são aluviões, que ocorrem de forma restrita nas proximidades aos cursos d'água.



PERÍODO	ÉPOCA	IDADE	Bacia do Amazonas (Playford & Dino 2000, Soares 2007, Dino <i>et al.</i> 2012, Gonçalves Jr. 2013)
NEÓGENO	HOLOCENO		Colúvios/solos antropogênicos
	PLEISTOCENO	SUPERIOR	Terraço fluvial
		MÉDIO	Paleossolo laterítico-Sd3
		INFERIOR	
		GELASIANO	
	PLIOCENO		
	MIOCENO		Formação Novo Remanso (Superior)
			Paleossolo laterítico - Sd2
			Formação Novo Remanso (Inferior)
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	
EOCENO			
PALEOCENO			
CRETÁCEO	SUPERIOR/ INFERIOR	CENOMANIANO APTIANO	Formação Alter do Chão
			S1
PERMIANO/ CARBONIFERO	PRÉ-CRETÁCEO/ PENSILVÂNIANO		Formação Andirá/ Formação Nova Olinda

**Figura 4: Coluna estratigráfica da região Central da Bacia do Amazonas, com a representação da Formação Novo Remanso (Playford e Dino, 2000; Soares, 2007; Dino *et al.*, 2012; Soares *et al.* 2016).**

### 2.1.1 Formação Alter do Chão

A Formação Alter do Chão (FAC) que integra o Grupo Javari da Bacia do Amazonas e foi primeiramente chamada assim por Kistler (1954 apud CAPUTO *et al.*, 1972), é composta por argilitos, folhelhos, siltitos, arenitos e conglomerados siliciclásticos vermelhos. Essas rochas atingem uma profundidade de 1200 m (CUNHA *et al.*, 2007). Níveis silicificados e ferruginosos também compõem a formação e foram chamados de “arenito Manaós” por Albuquerque (1922).

O sistema deposicional FAC é considerado continental e suas rochas derivam de um ambiente fluvial de alta energia, que foi estabelecido no Cretáceo e corria no sentido do Oceano Pacífico (CUNHA *et al.* 1994, 2007; REIS *et al.* 2006). Com o início do soerguimento andino, no Paleógeno, a bacia foi isolada gerando um sistema meandrante de baixa energia com extensos lagos. Mendes *et al.* (2012) associaram as feições de afloramentos dessa formação, na região de Óbidos (Pará), a um sistema

fluvial meandrante com barras conglomeráticas, formas de leito arenosas e barra de acreção lateral, característicos de fácies de preenchimento de canal; e dique marginal, canal de crevasse e planície de inundação típicos de depósitos externos de canal. Contudo, Rossetti e Neto (2006) estudaram afloramentos localizados a 50 km ao leste de Manaus na margem esquerda do rio Amazonas, e identificaram evidências de influência marinha durante o Cretáceo, a partir de dados sedimentológicos e icnológicos.

De acordo com Reis *et al.* (2006) a sucessão inferior da FAC é predominantemente arenosa e apresenta ciclos de sedimentação relacionados a ambientes fluviais anastomosados com retrabalhamento eólico. A sucessão superior é predominantemente pelítica de ambiente progradacional flúvio-deltaico a lacustre (DINO *et al.*, 1999). Segundo Soares *et al.* (2016), a sucessão superior é predominantemente arenosa, com intercalações subordinadas de pelitos, nos primeiros 30 m. Nos trabalhos de Riker *et al.* (no prelo), a FAC foi descrita com predomínio de fácies influenciados por ondas e marés em nítida associação com uma rica icnocenose marinha, sendo que, localmente, a base da unidade está representada por fácies de caráter continental.

Na carta hidrogeológica da cidade de Manaus, foram individualizadas quatro fácies sedimentares principais para a FAC (AGUIAR, 2002), fácies argilosa, fácies areno-argilosa, fácies arenosa e fácies arenito silicificado (“Arenito Manaus”). Em seção, ocorrem como camadas sub-horizontalizadas e com geometria lenticular e restritas a falhamentos lítricos pouco acentuados. Palma (2014) identificou nessa sucessão de camadas o desenvolvimento de paleossolos, para os quais propôs a denominação de “Geossolo Manaus”.

As idades da FAC foram estabelecidas em diversos estudos micropaleontológicos: Meso-Albiano/Neoalbiano a Eocenomaniano para a porção basal e Neocenomaniano a Turoniano para a porção média (DAEMON e CONTRERAS, 1971; DAEMON, 1975); Cretáceo Superior ao Paleógeno (TRAVASSOS E BARBOSA FILHO, 1990); Aptiano-Cenomaniano (DINO *et al.*, 1999); Paleógeno-Neógeno (RIKER *et al.*, no prelo).

## **2.1.2 Formação Novo Remanso**

A Formação Novo Remanso é caracterizada por depósitos pós-cretáceos de ambiente fluvial, sobrepostos em discordância à FAC, identificados por Rozo (2004), Rozo *et al.* (2005), Nogueira *et al.* (2006), Soares (2007), Soares *et al.* (2010) e Abinader *et al.* (2007). A unidade foi formalizada, por Rozo *et al.* (2005), a partir de depósitos principalmente arenosos situados na localidade homônima, que fica a leste de Manaus, e por meio de estudos palinológicos, Dino *et al.* (2012), Soares *et al.* (2015) e Soares *et al.* (2016) a posicionaram no Mioceno Médio a Superior.

Soares (2007) descreve a formação na região de confluência entre os rios Negro e Solimões, e a subdivide, informalmente, em unidade inferior e superior. A unidade inferior é constituída por arenitos mal selecionados, que exibem estratificações cruzadas tabular e acanalada, com intercalações de camadas argilosas bioturbadas com feições pediformes, gretas de contração e fraturas, além de pelitos e, na base, conglomerados subordinados. A unidade superior possui camadas intercaladas de arenito, mal selecionado com estratificação cruzada, e pelito, maciço e endurecido, caulíníticos, que formam uma estratificação heterolítica inclinada e sugerem depósitos associados a um sistema fluvial meandrante. Tais unidades são divididas por um horizonte de paleossolo laterítico.

## **2.2. Aspectos fisiográficos**

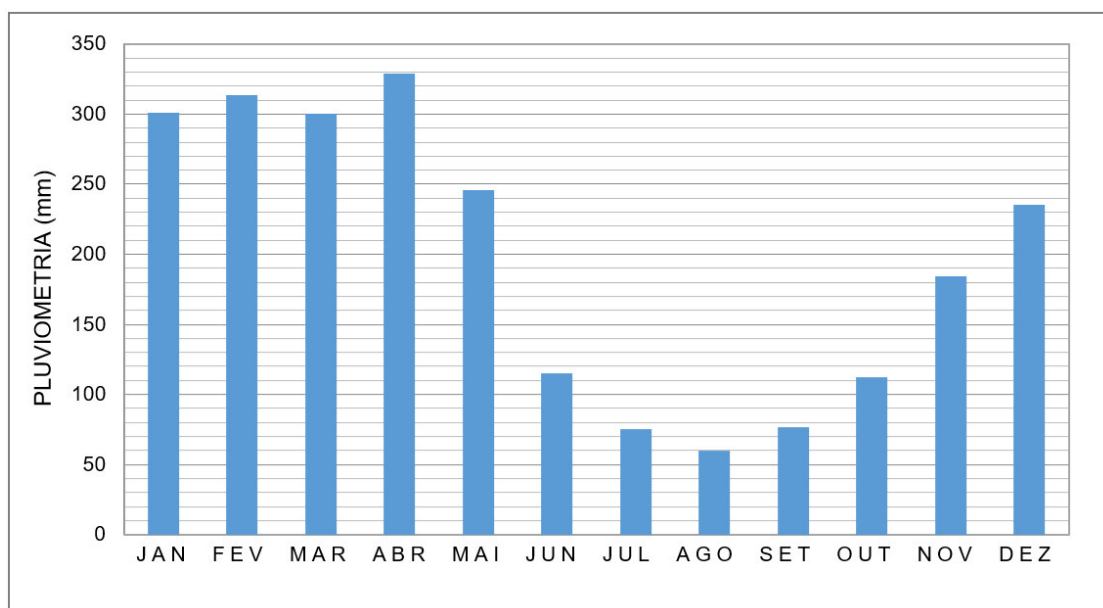
### **2.2.1. Clima**

Conforme descrito em Köppen (1948), a área de estudos encontra-se entre dois tipos climáticos Af e Am. O clima do tipo Af corresponde ao clima de florestas tropicais sem inverno, com temperatura e precipitação com poucas variações anuais e mantendo-se constantemente altas. Temperaturas superiores a 18°C e pluviometria superior a 750 mm, praticamente sem inverno. O clima do tipo Am representa uma estação seca de pequena duração e umidade suficiente para sustentar sua floresta tropical.

Conforme dados de monitoramento da estação pluviométrica do INMET para as médias mensais de chuva no período de 1998 a 2014, (ANDRETTA, 2014), observa-se que a pluviosidade mensal para Manaus nos meses mais secos, julho, agosto e setembro, são iguais ou superiores a 60 mm. Nos meses mais chuvosos, janeiro,

fevereiro, março e abril, a pluviosidade é superior a 300 mm (Figura 5). A precipitação média anual é de 2.349 mm.

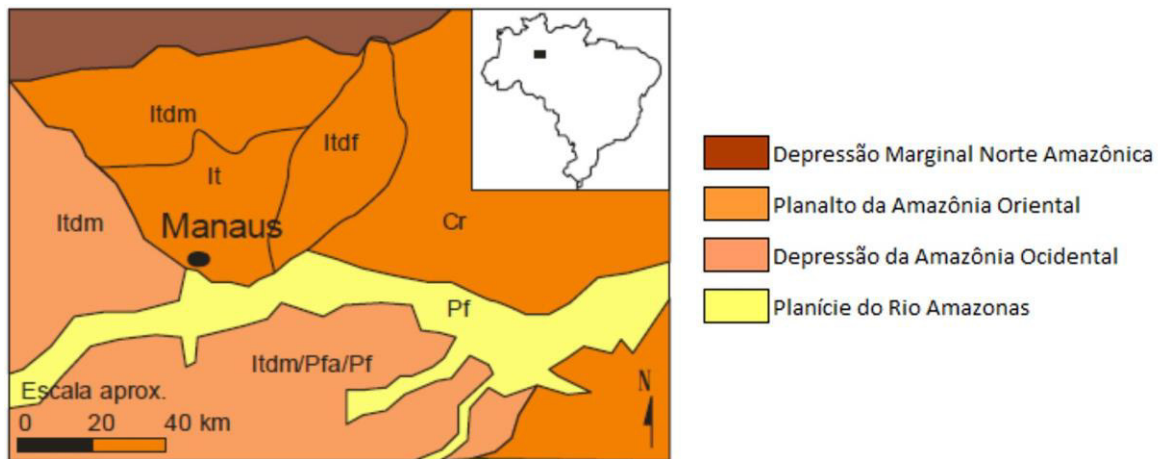
A temperatura média anual registrada em Manaus é de 26°C (ANDRETTA, 2014). Carvalho *et al.* (2013) caracterizaram o efeito de ilha de calor na cidade de Manaus como fator de contribuição para elevar ainda mais a temperatura local em até 3°C comparativamente ao ambiente de vegetação natural. As principais causas descritas para esse efeito são a retirada da vegetação natural e a construção de edificações.



**Figura 5: Média dos valores de precipitações mensais em milímetro monitorado entre os anos de 1998 e 2014. Pluviômetro do INMET instalado em Manaus. Fonte: Andretta (2014)**

### 2.2.2. Relevo

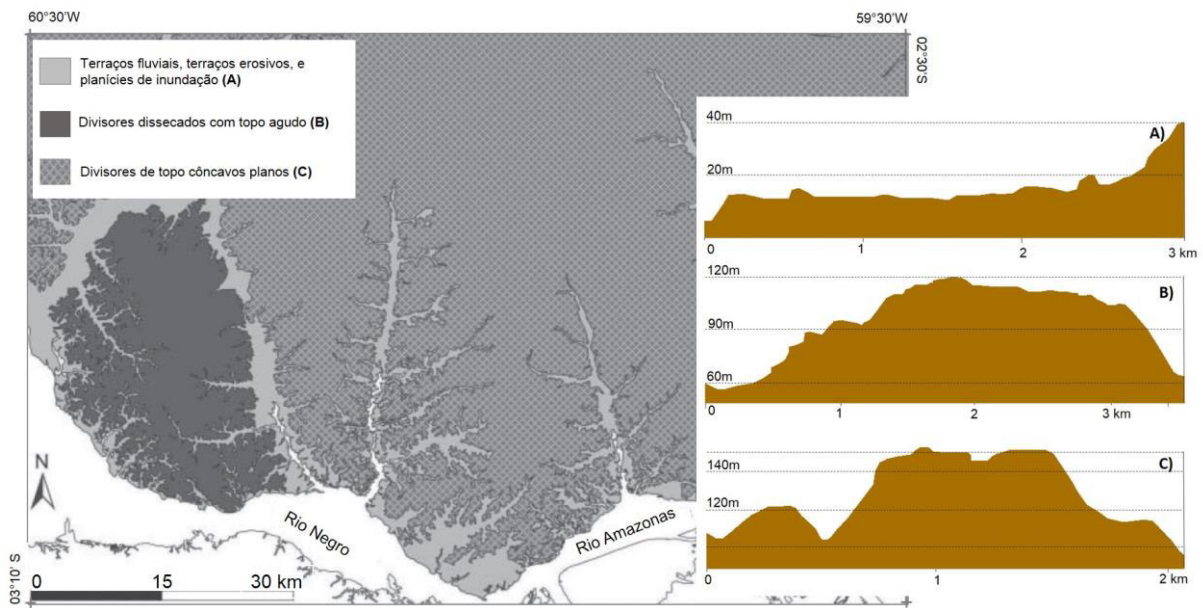
Manaus está inserida no Planalto da Amazônia Oriental (Ross, 2000), conforme ilustrado na Figura 6. Planalto é definido como forma de relevo tabular extensa que, pelo menos de um lado, está acima de um relevo de altitude mais baixa, onde há predomínio do desgaste sobre a deposição, e a saída dessa superfície ocorre por declives (GUERRA E GUERRA, 1997). Na zona urbana, as principais características são os interflúvios tabulares com as declividades das vertentes fortes (It<sub>df</sub>) na porção leste, e baixas a fortes (It) no restante da área.



- Itdf** - Interflúvio tabular com vertentes com forte declividade  
**Itdm** - Interflúvio tabular com vertentes com moderada declividade  
**It** - Interflúvio tabular com vertentes com declividades variando de baixa a forte  
**Cr** - Relevo com topo convexo e vertentes com baixa declividade  
**Pfa** - Planície fluvial alagada  
**Pf** - Planície fluvial inundável

**Figura 6: Mapa geomorfológico da Cidade de Manaus e entorno. Fonte: Vieira, 2008; modificado de Ross, 2000.**

Em termos de compartimentação topográfica, Sarges *et al* (2011) reconheceram três classes de desnivelamento altimétricos ( $\Delta h$ ) e interpretaram esses ambientes geomorfológicamente (Figura 7). O domínio altimétrico entre 25 e 50 m com desnivelamentos altimétricos menores que 50 m (Perfil A da Figura 7) representam terraços fluviais, terraços erosivos e planícies de inundação. O domínio de desnivelamentos altimétricos entre 25 e 100 m (Perfil B da Figura 7) representam interflúvios dissecados com topos convexos. O domínio altimétrico entre 50 e 160 m com desnivelamentos altimétricos menores que 100 m representam interflúvios tabulares com topos planos e presença de depressões (Perfil C da Figura 7).



**Figura 7: Compartimentação topográfica proposta por Sarges *et al.* (2011).**

### 2.2.3. Vegetação

A vegetação natural de Manaus é Floresta Amazônica, especificamente a Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012). A principal característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está nos fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25° C) e altas taxa de precipitação bem distribuídas durante o ano, sendo os dias secos reduzidos, geralmente inferiores a 60 dias, determinando um ambiente bioecológico praticamente sem período seco.

Em virtude, principalmente, da expansão urbana, a vegetação natural diminui gradativamente com o crescimento da cidade. Há áreas isoladas que preservam a vegetação original natural, merecendo destaque o Campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), a área do 1° Batalhão de Infantaria de Selva, Unidades de conservação do Tarumã e Ponta Negra, parte do Distrito Industrial e as áreas periféricas da cidade.

### 2.3. Aquífero Alter do Chão

O Aquífero Alter do Chão (AAC) é composto pela porção saturada em água da FAC, se estende nas bacias sedimentares do Solimões e do Amazonas, e abrange parte dos estados do Amazonas e do Pará, compreendendo um sistema hidrogeológico com propriedades de aquífero livre inserido na Região Hidrográfica do

Amazonas (ANA, 2005). Como existe conexão hidráulica lateralmente entre as bacias do Marajó, Amazonas, Solimões e Acre, sub-andinas, Abreu *et al* (2013) propõem a existência de um grande sistema aquífero chamado Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA) que se estende lateralmente e abrange diversos aquíferos.

Na cidade de Manaus ocorre apenas o Aquífero Alter do Chão, que apresenta espessura média de 200 m, dos quais 175 m encontram-se saturados, e uma reserva permanente estimada na ordem de 14,4 km<sup>3</sup> (Aguiar, 2012). O fluxo principal das águas exhibe direção de nordeste para sudoeste. Os fluxos secundários, de direções diversas, são gerados principalmente pelo rebaixamento provocado pelos igarapés do Quarenta, Mindu e Bolívia, associados à baixa transmissividade e exploração elevada nas imediações dessas drenagens.

As águas do referido aquífero são pouco mineralizadas, com concentração de sólidos totais dissolvidos oscilando entre 10 a 20 mg/L e pH variando de 4,5 a 5,5. Predominam os tipos sulfatada-cloretada potássica e cloretada-sódica (Aguiar, 2002). Esses dados refletem infiltração rápida e ambiente de circulação quimicamente pobre (Aguiar, 2012).

## **2.4. Vulnerabilidade**

O conceito de vulnerabilidade foi introduzido na França no final dos anos 1960 para criar a conscientização acerca da contaminação de água subterrânea (VRBA; ZOPOROZEC, 1994). Esse conceito é derivado do pressuposto de que o ambiente físico provê algum grau de proteção às águas subterrâneas contra impactos naturais e antrópicos, especialmente em relação aos poluentes que entram no subsolo. Há ainda um debate que trata particularmente do questionamento se a vulnerabilidade deve ser determinada de maneira geral para todos os poluentes, especificamente para algum tipo ou para grupos correlacionados de poluentes.

A vulnerabilidade do aquífero está diretamente relacionada ao tempo de percolação da água de superfície até a água subterrânea, da capacidade de atenuação dos contaminantes através dos materiais geológicos pelos quais se infiltram, e da quantidade relativa de contaminantes que podem alcançar o aquífero (ABDULLAHI, 2009). O risco de contaminação da água subterrânea poderia ser definido como a probabilidade da parte superior da água do aquífero atingir níveis de contaminação acima do permitido devido a atividades realizadas na cobertura imediata da superfície do solo (FOSTER; HIRATA, 1988).

De maneira geral todo aquífero é hidrologicamente conectado à superfície. A efetividade dessa conexão determina a relativa vulnerabilidade à contaminação. Segundo Vrba; Zaporozec (1994) existem diversos tipos de mapa de vulnerabilidade intrínseco (ou natural), contendo as características hidrogeológicas; e específico, para usuários que desejam mapas relativos a poluentes específicos, por exemplo, nitrato agrícola, pesticidas, ou deposição atmosférica de poluentes. A cartografia de vulnerabilidade tem sido utilizada para ações de proteção de aquíferos, visando compatibilizar as atividades antrópicas com a capacidade do terreno em suportá-las, sem prejuízo das águas subterrâneas (HIRATA, 2001).

Dessa forma, as variáveis recarga, propriedades do solo, litologia e espessura da zona não saturada, nível freático, condutividade hidráulica são, geralmente, utilizadas para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas e, menos frequentemente a topografia do terreno é utilizada para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas. A ponderação desses parâmetros e classificação de métodos são, de modo geral, implementados para expressar relações entre as variáveis e para refletir sua importância na avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas (FOCAZIO *et al.*, 2002).

Para Vrba; Zaporozec (1994), a principal abordagem no mapeamento da vulnerabilidade está na caracterização da zona não saturada e da camada saturada, onde:

- Características físico-químicas podem contribuir com a capacidade de atenuação por aumentar o tempo de percolação de um possível contaminante;
- Propriedades físicas podem reduzir a taxa de infiltração vertical da água.

Além disso, é necessário investigar a probabilidade de desenvolvimento de fluxos preferenciais na zona não saturada, usualmente como resultado de fraturas (Foster, 1987) e outras feições como bioturbações e estratificações.

Existem vários métodos para a avaliação da vulnerabilidade intrínseca que podem ser aplicados levando-se em consideração a tipologia do aquífero. Os nomes dos métodos de mapeamento de vulnerabilidade geralmente são acrônimos e os mais amplamente utilizados são: AVI (Índice de vulnerabilidade aquífera) definido por VON STEMPVOORT *et al.* (1992); DRASTIC (D: Profundidade do nível de água; R - Recarga, A: Meio aquífero, S: Composição do solo; T: Topografia, I: Impacto da zona não saturada, C: Condutividade hidráulica) definido por Aller *et al.* (1987); SINTACS



(S: Profundidade da água; I: Infiltração; N: Seção sub saturada; T: Tipo de cobertura de solo; A: Características hidrogeológicas do aquífero; C: Condutividade hidráulica e, S: Declividade topográfica) definido por Civita; De Maio (1997); e GOD (G: Confinamento do aquífero; O: Litologia e o grau de consolidação da cobertura ,e D: Profundidade do nível de água) definido por Foster e Hirata (1988).

Von Stempvoort *et al.* (1992) propuseram o método AVI, baseando-se principalmente em dois fatores: espessura de cada camada litológica sedimentar acima da zona saturada e condutividade hidráulica estimada de cada uma dessas camadas. A partir desses fatores, obtêm-se o fator C (resistência hidráulica), que descreve a resistência de um aquífero a um fluxo vertical.

O modelo DRASTIC foi desenvolvido por Aller *et al.* (1987) através da Agência de Proteção Ambiental Estadunidense (*Environmental Protection Agency* - EPA). Este método considera a soma ponderada de sete valores relacionados a fatores hidrogeológicos, conforme listados abaixo:

- Profundidade da zona não saturada do solo (D);
- Recarga do aquífero (R);
- Material do aquífero (A);
- Tipo de solo (S);
- Topografia ou declividade do terreno (T);
- Influência da zona não saturada (I);
- Condutividade hidráulica do aquífero (C).

Conforme descrito, o elevado número de variáveis em seu cálculo gera uma grande quantidade de dados de entrada, o que pode se tornar um inconveniente quando o acesso a essas informações é limitado. Diversas aplicações do método DRASTIC podem ser listadas, destacando-se a possibilidade de observação de áreas que precisam de prioridade na proteção da água subterrânea.

O método SINTACS, defendido por Civita; De Maio (1997), é considerado uma derivação do método DRASTIC e foi desenvolvido para elaborar mapas de vulnerabilidade para regiões italianas. A diferença em relação ao DRASTIC está nos índices relativos para cada um dos parâmetros, subdivididos em índices relativos que variam de 1 a 10 em função do tipo de sistema aquífero (poroso, fraturado ou cárstico). Sua utilização apresenta as mesmas complicações do método DRASTIC pelo grande número de parâmetros considerados em seus cálculos.

O método GOD foi desenvolvido por Foster (1987) na Grã-Bretanha, onde a maioria dos recursos hídricos subterrâneos está contida em arenitos e calcários fraturados. O GOD foi posteriormente adaptado por Foster e Hirata (1988) e considera três fatores para a determinação da vulnerabilidade das águas subterrâneas:

- Confinamento do aquífero (G);
- Litologia e o grau de consolidação da cobertura (O);
- Profundidade da superfície freática (D).

Neste método a vulnerabilidade do aquífero está relacionada à percolação vertical de poluentes, através da zona insaturada, sem considerar a sua migração lateral na zona saturada (ABDELMADJID, 2013). O índice final é obtido a partir do produto entre esses três fatores. Destaca-se que durante os anos 90, essa foi uma das técnicas mais utilizadas na América Latina, por sua simplicidade de conceitos e aplicação (FEITOSA *et al.*, 2008).

Na Tabela 1 é apresentada uma sucinta comparação entre os métodos mais utilizados para o mapeamento de vulnerabilidade intrínseca de aquífero.

**Tabela 1: Comparação sucinta entre alguns métodos de mapeamento de vulnerabilidade.**

<b>Método</b>	<b>Fatores analisados</b>	<b>Interpretação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>AVI</b>	Utiliza informações da espessura da zona não saturada e condutividade hidráulica de cada camada geológica.	Restrito a propagação do aquífero a um fluxo vertical	Utilização de poucos dados e simplicidade de utilização	Não considera a capacidade de atenuação natural do solo.
<b>DRASTIC</b>	D: Profundidade do nível de água; R - Recarga, A: Meio aquífero, S: Composição do solo; T: Topografia, I: Impacto da zona não saturada, C: Condutividade hidráulica	Soma ponderada de sete parâmetros hidráulicos	Abrange em seus cálculos ponderados, grande parte dos parâmetros hidráulicos do aquífero	Dificuldades na obtenção de dados para utilização nos parâmetros.
<b>GOD</b>	G: Confinamento do aquífero; O: Litologia e o grau de consolidação da cobertura e D: Profundidade do nível de água	Percolação vertical de poluentes, através da zona insaturada	Utilização de poucos dados e simplicidade de utilização	Não considera em seus cálculos aspectos hidrogeológicos relevantes tais como influência da taxa de recarga, aspectos topográficos, tipo de meio aquífero e condutividade hidráulica.
<b>SINTACS</b>	S: Profundidade da água; I: Infiltração; N: Seção sub saturada; T: Tipo de cobertura de solo; A: Características hidrogeológicas do aquífero; C: Condutividade hidráulica e, S: Declividade topográfica	Derivação do método DRASTIC, com ponderações diferentes para os parâmetros	Abrange grande parte dos parâmetros hidráulicos do aquífero	Foi adaptação do DRASTIC para condições hidrogeológicas da Itália, com sistemas aquíferos distintos, dessa forma utilização em outros locais podem necessitar de ajustes nos valores de ponderação.

A escala do mapeamento depende, principalmente, dos objetivos a serem atingidos e da aplicabilidade dos trabalhos (VRBA e ZOPOROZEC, 1994), conforme descrição resumida abaixo:

- Escalas menores que 1:500.000 – são empregadas em mapeamentos a níveis regionais que abrangem município, estado e país. Tem por objetivo apresentar um panorama geral sobre a vulnerabilidade, a fim de contribuir de forma preliminar ao uso sustentável de grandes extensões territoriais.
- Escalas entre 1: 100.000 e 1:500.000 – mapas semi-regionais, utilizados geralmente para avaliar a vulnerabilidade a nível de províncias hidrogeológicas.
- Escalas entre 1:25.000 e 1:100.000, são mapas de semi-detalle e são utilizados para estudo de camadas hidrogeológicas e unidades de aquífero individuais, quando a área investigada não passa de alguns km<sup>2</sup>.

### **3. MÉTODOS**

O método escolhido e utilizado para a caracterização da vulnerabilidade intrínseca do AAC foi o DRASTIC, porque correlaciona os principais parâmetros hidrodinâmicos, dentre eles a taxa de recarga, meio aquífero e declividade. Destaca-se que a área de estudos, Manaus, está inserida no meio da floresta amazônica e apresenta como características marcantes as altas taxas pluviométricas anuais, o substrato geológico sedimentar e condições de relevo predominantemente planas, fatores que contribuem com a possibilidade de infiltração de água para o aquífero.

No item 3.1, são apresentadas as principais características do método DRASTIC e, no item 3.2, é apresentado o detalhamento do tratamento dos dados utilizados para consistência e obtenção de cada um dos parâmetros para aplicação do método.

#### **3.1. DRASTIC**

O método DRASTIC foi escolhido para o mapeamento da vulnerabilidade intrínseca do AAC porque abrange e correlaciona as principais variáveis hidrogeológicas (Figura 8) tais como: profundidade do nível de água, taxa de recarga, condutividade hidráulica, declividade do terreno e características do meio aquífero, zona não saturada e solo. Essas variáveis estão diretamente relacionadas à

capacidade de autoproteção do aquífero. Outro fator relevante na escolha do método é a possível correlação entre o alto regime de chuvas na região e a baixa declividade do terreno, gerando uma alta taxa de recarga. Assim, em tese este parâmetro deve exercer papel importante no transporte de contaminantes e no estudo da vulnerabilidade intrínseca do AAC. Um método que não considerasse a taxa de recarga, provavelmente, subestimaria a vulnerabilidade na região.

O DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987) é um método matemático onde cada parâmetro hidrodinâmico possui uma constante associada, chamada de peso (*w*) (Tabela 2) pré definida para o método, que está associada a maior ou menor correlação do parâmetro na vulnerabilidade intrínseca e índices variáveis, chamados de índices relativos (*r*), em que cada um dos parâmetros é subdividido em critérios detalhados para expressar as características da área de estudos, conforme ilustrado na Figura 8 e expresso matematicamente na Equação 1.

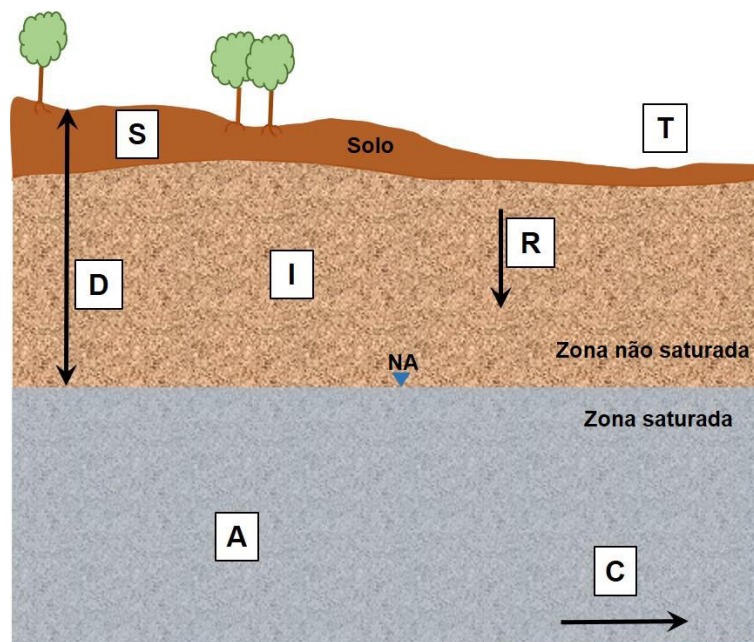


Figura 8: Perfil esquemático relacionando os parâmetros de mapeamento da vulnerabilidade pelo método DRASTIC: profundidade do nível de água (D); recarga do aquífero (R); meio aquífero (A); tipo de solo (S); topografia ou declividade do terreno (T); influência da zona não saturada (I); condutividade hidráulica (C). Fonte: Adaptado de Cabral *et al.* (2004).

Equação 1)

$$\text{Índice DRASTIC} = D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w$$

Sendo:

- w: do inglês *weight*, representa os pesos relativos que cada parâmetro geral tem no cálculo da vulnerabilidade intrínseca.
- r: do inglês *rating*, representa o índice para o parâmetro,

**Tabela 2: Parâmetros utilizados na metodologia DRASTIC para análise da vulnerabilidade intrínseca do aquífero.**

DRASTIC	
Parâmetro	Peso relativo no cálculo (w)
D ( <i>depth</i> ) - Profundidade do nível de água	5
R ( <i>recharge</i> ) - Recarga	4
A ( <i>aquifer</i> ) - Características do meio aquífero	3
S ( <i>soil</i> ) - Solo	2
T ( <i>topography</i> ) – Topografia	1
I ( <i>impact of the vadose zone</i> ) - Zona não saturada	5
C ( <i>conductivity</i> ) - Condutividade hidráulica	3

Como os valores dos pesos de cada um dos parâmetros já são previamente definidos pelo método, o índice DRASTIC pode ser reescrito para a Equação 2.

Equação 2)

$$\text{Índice DRASTIC} = 5 \times D_r + 4 \times R_r + 3 \times A_r + 2 \times S_r + 1 \times T_r + 5 \times I_r + 3 \times C_r$$

Cada parâmetro é também subdividido em índices para seu maior detalhamento e as suas propriedades são classificadas numericamente por valores que variam de 1 (maior proteção) a 10 (menor proteção). Cada parâmetro embutido no método DRASTIC é definido espacialmente em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), no qual cada pixel assume um valor do modelo. Cada parâmetro permite a elaboração de um mapa temático e a integração desses mapas através da multiplicação dos valores dos parâmetros em cada pixel, resultará no mapa final de vulnerabilidade. Os valores mínimos e máximos definidos pelo método são, respectivamente, 26 e 226, conforme apresentado na Tabela 3. Os valores finais calculados para o DRASTIC são sistematizados em intervalos que relacionam os valores obtidos a uma categoria de vulnerabilidade, conforme apresentado na Tabela 4. As categorias de vulnerabilidade podem variar de insignificante a extrema.

Cada parâmetro hidrogeológico utilizado para a determinação do valor de DRASTIC é descrito nos itens seguintes.

**Tabela 3: Matriz do cálculo do índice DRASTIC com os valores dos pesos (w) e valores máximos e mínimos dos parâmetros índice final.**

	Peso (w)	Índice (r) mínimo	Índice (r) máximo	(w*r) mínimo	(w*r) máximo
<b>D</b>	5	1	10	5	50
<b>R</b>	4	1	9	4	36
<b>A</b>	3	2	10	6	30
<b>S</b>	2	1	10	2	20
<b>T</b>	1	1	10	1	10
<b>I</b>	5	1	10	5	50
<b>C</b>	3	1	10	3	30
<b>Valores possíveis</b>				<b>26</b>	<b>226</b>

**Tabela 4: Classificação da vulnerabilidade a partir do índice final do DRASTIC. Adaptado de Aller *et al.* (1987)**

Intervalo	Vulnerabilidade
<79	Insignificante
80-99	Muito baixa
100 - 119	Baixa
120-139	Moderada leve
140-159	Moderada
160 - 179	Alta
180 - 199	Muito Alta
>200	Extrema

### 3.1.1. Profundidade do nível de água (D)

O parâmetro profundidade do nível de água (D) tem como premissa a distância a ser percorrida por um possível contaminante desde a superfície do terreno até o nível freático, e será maior quanto mais profundo for o nível de água. Esse parâmetro é subdividido em sete níveis de valores (Tabela 5), onde níveis mais rasos de água, com profundidade inferior a 1,5 m recebem o maior índice (10), enquanto que níveis de água mais profundos, superiores a 30,5 m recebem o menor valor de índice (1).

**Tabela 5: Profundidade do nível de água (D) e índice relativo para metodologia DRASTIC.**

Profundidade do nível de água	
Profundidade do nível de água (m)	Índice (D <sub>r</sub> )
> 30,5	1
22,9 - 30,5	2
15,2 - 22,9	3
9,1 - 15,2	5
4,6 - 9,1	7
1,5 - 4,6	9
0 - 1,5	10

### 3.1.2. Recarga do aquífero (R)

A taxa de recarga é por vezes difícil de ser obtida devido à complexidade das variáveis envolvidas em seu cálculo, portanto, os intervalos escolhidos (Tabela 4) para a recarga líquida são intencionalmente amplos, visto que abrangem uma gama de valores que seja representativa para a quantidade de recarga de uma área (ALLER *et al.* 1987). Ainda, segundo o autor supracitado, a recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão na zona saturada.

O parâmetro recarga do aquífero tem como premissa que grandes recargas do aquífero aumentam a possibilidade de que contaminantes sejam transportados pela zona não saturada, aumentando a possibilidade de que alcancem o aquífero. Esse parâmetro é subdividido em cinco índices (Tabela 6), onde o índice de maior vulnerabilidade (9) é representado por valores mais elevados na taxa de recarga anual, ou seja, taxas superiores a 254 mm/ano. As taxas mais baixas de recarga recebem índices com menor vulnerabilidade (1) para valores inferiores a 50,8 mm/ano.

**Tabela 6: Recarga (R) e índice relativo para metodologia DRASTIC.**

Recarga	
R (mm/ano)	Índice (R <sub>r</sub> )
0 - 50,8	1
50,8 - 101,6	3
101,6 - 177,8	6
177,8 - 254,0	8
>254,0	9



Há, portanto, uma relação direta entre as variáveis precipitação e recarga do aquífero. A precipitação pode ser definida como a chegada da água meteórica em estado líquido ou sólido à superfície da terra, e é um dos componentes mais importantes do ciclo hidrológico, pois é o elemento fundamental para a recarga dos aquíferos e descarga dos rios (CUSTODIO; LLAMAS, 1983). Dados de precipitação são obtidos por meio de equipamentos intitulados pluviômetros. Cada 1 mm medido na proveta calibrada para leitura direta no pluviômetro *Ville de Paris* representa 1 L de chuva em uma área de 1 m<sup>2</sup> (CUSTODIO; LLAMAS, 1983). Os valores medidos representam o volume de chuva na estação, que pode ser extrapolado para representar a pluviometria de uma área mais abrangente.

Taxas de recarga são limitadas em grande parte pela disponibilidade de água na superfície do terreno, a qual é controlada por fatores climáticos, tais como precipitação e evapotranspiração, e pelas características da superfície. Conforme apresentado por Scanlon *et al.* (2002), as grandes diferenças entre as influências de diferentes fatores em áreas úmidas e áreas áridas fazem com que seja necessário utilizar abordagens para quantificar a recarga. Os valores de taxas de recarga podem ser encontrados em trabalhos publicados, e às vezes, precisam ser adaptados e extrapolados de modo a se obter valores representativos para a área de estudos.

### **3.1.3. Meio aquífero (A)**

Conforme descrito por Aller *et al.* (1987), o meio aquífero é definido pelo material geológico existente na zona saturada da unidade litoestratigráfica. A zona saturada apresenta características fundamentais que afetam a forma e o tempo de transporte para a propagação de poluentes. A distância percorrida e a velocidade com a qual um contaminante pode se mover está diretamente associada ao tipo de material litológico disponível e ao gradiente aplicado. Litologias que permitem a passagem facilmente da água, e de um possível contaminante, apresentam maiores velocidades de condução e favorecem longas distâncias de alcance.

O parâmetro meio aquífero é subdividido em nove índices (Tabela 7). O índice referente à maior vulnerabilidade (10) é representado por aquíferos em meio cárstico, e o índice referente à menor vulnerabilidade (1) é representado por aquíferos em formações com presença de materiais argilosos. Dentro desta divisão são

considerados intervalos de índices para cada tipo litológico, que permitem a escolha do valor mais adequado às condições da área estudada.

**Tabela 7: Meio aquífero (A) e intervalo para escolha do índice relativo para metodologia DRASTIC, bem como a indicação dos valores usuais para o parâmetro**

Meio Aquífero		
Descrição geológica	Índice (A <sub>r</sub> )	Índice usual (A <sub>r</sub> )
Xistos	1 a 3	2
Rocha metamórficas / ígneas	2 a 5	3
Rochas metamórfica / ígnea intemperizada	3 a 5	4
Tilito glacial	4 a 6	5
Arenito, calcário e argilitos estratificados	5 a 9	6
Arenito maciço	4 a 9	6
Calcário maciço	4 a 9	6
Areia e balastro (seixo, calhau e cascalho)	4 a 9	8
Basalto	2 a 10	9
Calcário carstificado	9 a 10	10

#### 3.1.4. Solos (S)

As principais propriedades do solo, tais como espessura, textura, expansibilidade, profundidade e teor de matéria orgânica desempenham papel fundamental na atenuação de poluentes, uma vez que representam a primeira barreira hidráulica frente à propagação de contaminantes. Assim, esse parâmetro tem como premissa a proteção imediata do aquífero pela barreira imposta e por sua capacidade de reter, dispersar ou degradar o contaminante pelos processos físicos, químicos e biológicos. No método DRASTIC, o parâmetro solo é definido com uma espessura máxima de 2 m, que é um valor médio para a maior profundidade que apresenta grande intensidade de atividade biológica.

O parâmetro solo é subdividido em onze índices (Tabela 8), onde a índice de maior vulnerabilidade (10) é representada por solo fino ou ausente, enquanto materiais argilosos recebem índices de menor vulnerabilidade (1).

**Tabela 8: Solo (S) e índices relativa para metodologia DRASTIC**

Solo	
Tipo de Solos	Índice (S <sub>r</sub> )
Argila não agregada e não expansível	1
Solo orgânico	2
Franco argiloso	3
Franco siltoso	4
Franco	5
Franco arenoso	6
Argila agregada e/ou expansível	7
Turfa	8
Areia	9
Balastro (seixo, calhau e cascalho)	10
Fino ou ausente	10

### 3.1.5. Topografia (T)

A declividade do terreno interfere diretamente na relação entre o escoamento superficial e a taxa de infiltração do terreno. Quanto menor a declividade, mais tempo a água de chuva tende a permanecer em superfície, aumentando a possibilidade de infiltração e a capacidade de levar para o aquífero um contaminante presente em superfície. Em áreas de maior declividade a água escorre mais rapidamente, diminuindo a infiltração.

O parâmetro topografia é subdividido em cinco níveis de índices (Tabela 9), onde o índice de maior vulnerabilidade (10) é representado por terrenos planos, com declividade inferior a 2%. Aos terrenos íngremes, com declividade superior a 18%, são atribuídos índices de menor vulnerabilidade (1).

**Tabela 9: Topografia (T) e índice relativo para metodologia DRASTIC**

Topografia	
Intervalo de declividade (%)	Índice (T <sub>r</sub> )
> 18	1
12 - 18	3
6 - 12	5
2 - 6	9
0 - 2	10

### 3.1.6. Zona não saturada (I)

A zona não saturada é definida como a zona acima do nível de água e abaixo do solo, sendo insaturada em água ou com saturação descontínua (ALLER *et al.*, 1987). O tipo de material da zona não saturada, em aquíferos livres, é geralmente constituído por material semelhante ao observado no aquífero (REBOUÇAS, 2006). O tipo de material geológico presente na zona não saturada exerce papel fundamental na proteção do aquífero, pois minimiza o potencial de poluição em função dos diversos processos de reações que podem ocorrer, tais como biodegradação, filtração mecânica, reações químicas, volatilização e dispersão.

Os critérios de seleção dos índices para cada material da zona não saturada têm relação direta com as mesmas condições que são adotadas para o material do meio aquífero (A). Portanto, esse parâmetro é subdividido em onze índices (Tabela 10), onde o índice de maior vulnerabilidade (10) é representado por zonas não saturadas com características cársticas, enquanto materiais confinantes e argilosos recebem índice de menor vulnerabilidade (1). Dentro desta divisão são considerados intervalos de índices para cada tipo litológico, que permitem a escolha do valor mais adequado às condições da área estudada.

**Tabela 10: Influência da zona não saturada (I) e índice relativo para metodologia DRASTIC**

<b>Zona não saturada</b>		
<b>Descrição geológica</b>	<b>Índice (geral)</b>	<b>Índice usual (I<sub>r</sub>)</b>
Camada confinante	1	1
Argila/silte	2 a 6	3
Xisto	2 a 5	3
Calcário	2 a 7	6
Arenito	4 a 8	6
Arenito, calcário e argilito estratificados	4 a 8	6
Areia e cascalho com porcentagem significativa de argila e silte	4 a 8	6
Rocha metamórfica/ígnea	2 a 8	4
Areia e cascalho	6 a 9	8
Basalto	2 a 10	9
Calcário carstificado	8 a 10	10

### 3.1.7. Condutividade hidráulica (C)

Condutividade hidráulica refere-se à capacidade que o meio possui para transmitir a água, sob um determinado gradiente potenciométrico. Na análise da vulnerabilidade, a condutividade hidráulica está diretamente relacionada ao transporte do contaminante e tem como premissa a distância e o tempo que um contaminante pode percorrer ao entrar em contato com a água do aquífero.

O parâmetro condutividade hidráulica é subdividido em seis valores índices (Tabela 11), onde o índice de maior vulnerabilidade (10) é representado por aquíferos com alta condutividade hidráulica (maior que 81,5 m/dia), enquanto aquíferos com baixas condutividades hidráulicas (menor que 4,1 m/dia) são atribuídos índices de baixa vulnerabilidade (1).

**Tabela 11: Condutividade Hidráulica (C) e índice relativo para metodologia DRASTIC**

<b>Condutividade Hidráulica</b>	
<b>Condutividade (m/d)</b>	<b>Índice (C<sub>r</sub>)</b>
< 4,1	1
4,1 - 12,2	2
12,2 - 28,5	4
28,5 - 40,7	6
40,7 - 81,5	8
> 81,5	10

### **3.2. Aquisição e tratamento de dados**

Foram realizados levantamentos bibliográficos e de dados a respeito da geologia, hidrologia, hidrogeologia e dos aspectos físicos em estudos feitos na cidade de Manaus. Além de publicações científicas, foram utilizados mapas temáticos, dados de poços de monitoramento, perfis de poços tubulares, pedológicos e geológicos.

Para caracterizar os aspectos físicos e hidrodinâmicos do AAC foram levantados dados na empresa de abastecimento de água (Manaus Ambiental), no Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), na prefeitura municipal, na Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Cada informação obtida contribuiu para a elaboração deste trabalho, conforme descrito na Tabela 12.

Além dos dados obtidos através de empresas e órgãos governamentais, foram realizados trabalhos de campo para coleta de dados de profundidade do nível de água em sete poços de monitoramento do projeto RIMAS (CPRM), ocorridos nos meses de março, junho, agosto e novembro do ano de 2015 e nos meses de março e abril do ano de 2016.

O tratamento dos dados foi feito de maneira intensa para obter informações robustas e melhorar a precisão dos resultados. A seguir serão apresentados a descrição e os mapas dos parâmetros do meio físico que foram utilizados para o mapeamento da vulnerabilidade intrínseca na área de estudos.

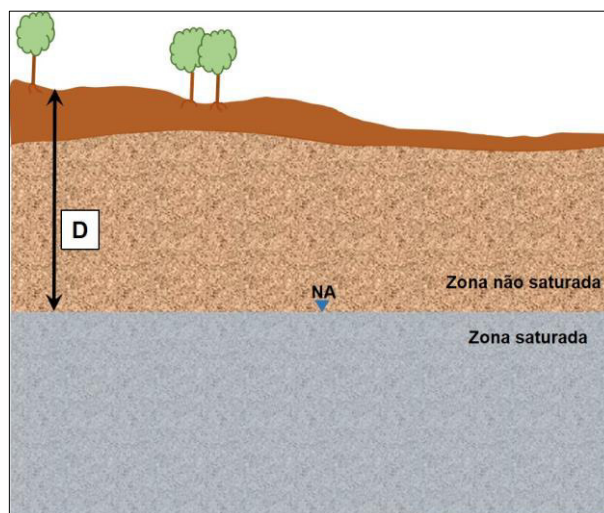
Na interpolação dos dados para a elaboração dos mapas foi utilizado o método inverso da distância das médias variáveis. No algoritmo das médias variadas, é atribuído a todo pixel no mapa de saída um valor baseado na média ponderada de todos os pontos de influência naquele pixel, onde os pontos mais próximos apresentam maior influência.

**Tabela 12: Lista das principais fontes de dados obtidos e a aplicação das informações no mapeamento da vulnerabilidade pelo método DRASTIC.**

Fonte	Descrição	Formato disponibilizado	Item utilizado	Objetivo do dado
Prefeitura de Manaus	Topografia, delimitação urbana e hidrografia	Digital ( <i>shapefile</i> )	Curvas de nível	Elaboração do MDT, do <i>layer</i> topografia (T) e projeção da cota dos poços.
USGS	Imagem Landsat	Digital ()	Delimitação de áreas com vegetação e áreas com ocupação urbana ou solo exposto.	Determinação da taxa de recarga (R).
Trabalhos científicos	Referencial bibliográfico	Digital (.doc; .xls, .pdf, .jpg)	Dados de trabalhos de doutorado, mestrado, conclusão de curso, e artigos publicados	Revisão bibliográfica, determinação da recarga (R), Solos (S), meio aquífero (A), geologia local, zona não saturada (I) e condutividade hidráulica
CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)	Banco de dados SIAGAS	Digital (.mdb)	Perfis geológicos e construtivos de poços, NE e condutividade hidráulica	Determinação da recarga (R), zona não saturada (I), meio aquífero (A), profundidade do nível de água (D)
	Poços de monitoramento - RIMAS	Digital (.xls, doc)	Perfis de poços, condutividade hidráulica, NE	Zona não saturada (I), meio aquífero (A) e profundidade do nível de água (D)
	Dados da transmissividade da carta hidrogeológica de Manaus (2002)	.xls	Valores de transmissividade (T) dos poços com mais de 150 m	Calcular os valores de Condutividade hidráulica.
	Estação pluviométrica	Digital (.xls)	Dados de chuva	Determinação da recarga (R)
	Mapa geológico e de recursos minerais da região metropolitana de Manaus	Digital ( <i>shapefile</i> , .doc, .crd)	Descrições geológicas, mapa e perfis de sondagem	Descrição da geologia regional, geologia local e determinação da zona não saturada (I).
Manaus Ambiental	Mapa da rede de poços de abastecimento público	Mapa impresso	Mapa das áreas de abastecimento	Calcular a contribuição de recarga por vazamento para determinar a recarga (R)

### 3.2.1. Profundidade do nível de água (D)

A profundidade do nível de água corresponde à distância entre a superfície do terreno e o topo da zona saturada (Figura 9).



**Figura 9: Perfil esquemático representando a profundidade do nível de água (D)**

Para o levantamento das informações dos níveis de água, foram utilizados pontos de água cadastrados e disponibilizados no banco de dados do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e no banco de dados dos poços de monitoramento contínuo da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), ambos projetos desenvolvidos pela CPRM.

O SIAGAS é o principal e maior banco de dados de informações hidrogeológicas do Brasil. Possui informações de diversos tipos de fontes de água (tubular, cacimba e nascentes) e informações completas e incompletas das características construtivas dos poços. Seu cadastramento e atualização são contínuos, e os dados utilizados nesse trabalho foram selecionados no mês de agosto de 2015, ou seja, dados cadastrados ou atualizados posteriormente a essa data não foram considerados. Ao todo o SIAGAS possuía, na data de referência, um total de 3.478 poços cadastrados em Manaus. Esses dados foram organizados e compilados em software Excel. Para a seleção dos poços a serem utilizados, foi realizada a seleção sequencial conforme os critérios descritos na Tabela 13:

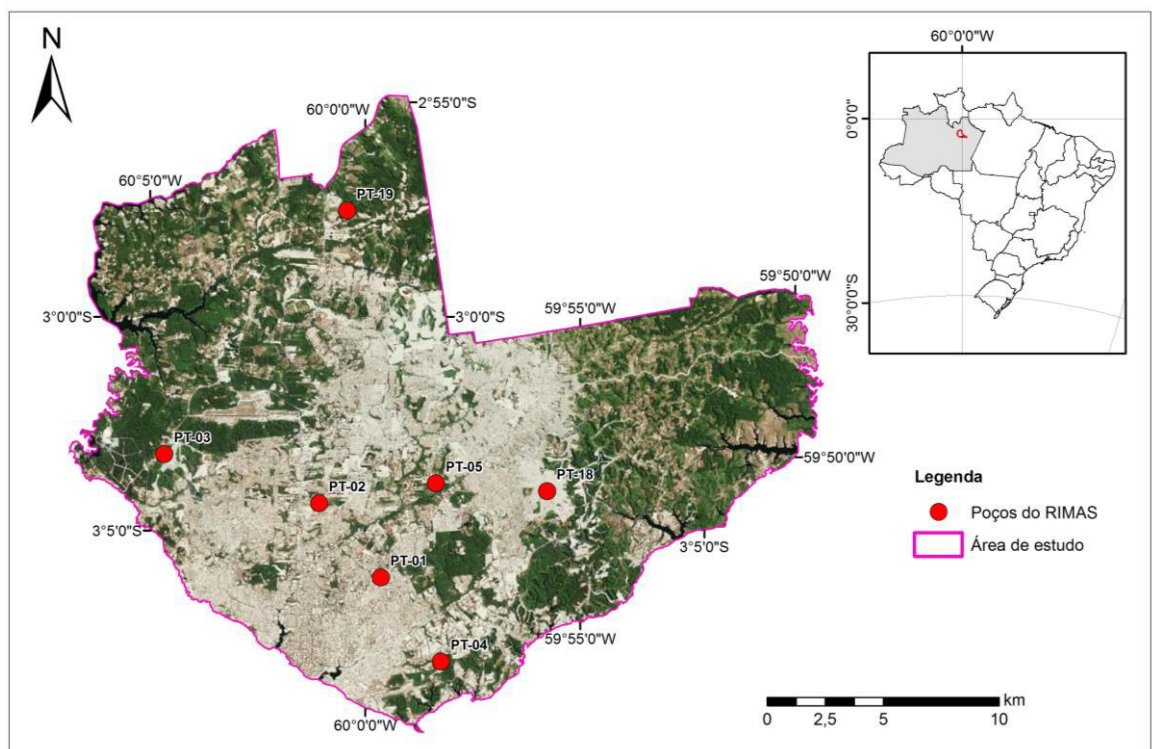


**Tabela 13: Critérios utilizados para a seleção de poços do SIAGAS para determinação do nível estático da área.**

<b>Ordem da seleção</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Ação</b>
1ª	Representatividade da área e diminuição do efeito de borda no processo de interpolação	Seleção de poços dentro da área de estudos e, quando existente, no entorno da área até uma distância de 2 km.
2ª	Obter dados representativos da condição atual do aquífero acerca do nível estático	Seleção de poços com medição de nível estático a partir do ano de 2005.
3ª	Aumentar a confiabilidade dos dados	Seleção de poços com descrições da litologia e do revestimento com posicionamento dos filtros.
4ª	Identificar o nível estático representativo do aquífero	Seleção de poços tubulares com média da seção filtrante menor ou igual a 60 m. (ver detalhamento no texto)

A 4ª seleção (Tabela 13) realizada partiu da premissa de que o fluxo da água subterrânea na área não é horizontal em toda a área de estudos, sendo assim apresenta diversas zonas de recargas e descargas, além do fato de que os poços cadastrados possuem profundidades de seções filtrantes muito variáveis. Dessa maneira para tornar as informações comparáveis, foi calculada a média aritmética das seções filtrantes e utilizadas apenas médias menores ou iguais a 60 m.

O projeto RIMAS conta com sete poços instalados e distribuídos na cidade de Manaus (Figura 10) dos quais seis foram construídos especificamente para monitoramento do Aquífero Alter do Chão (AAC), e um poço foi cedido pela empresa de abastecimento público de água da cidade. Esses poços possuem monitoramento quanti-qualitativo, com monitoramento contínuo do nível estático e registro de medida de hora em hora, por meio de transdutor de pressão com checagem de campo, e com amostragem anual para caracterização da qualidade da água. Os sete poços foram utilizados como pontos de controle para análise e verificação da variação sazonal do nível de água.



**Figura 10: Localização dos poços do projeto RIMAS em Manaus.**

Foram realizados trabalhos de campo nos poços do projeto RIMAS nos meses de março, junho, agosto e novembro do ano de 2015 e março e abril do ano de 2016 para coleta de dados de nível estático armazenados em equipamentos em sete poços instalados na cidade de Manaus (Figura 11 A). Foram coletados dados de monitoramento do nível estático registrado em transdutores de pressão da marca Heron, modelo *barlogger* para monitoramento da pressão do ar e modelo *diplogger* para monitoramento da pressão de coluna de água. Os dados registrados no *diplogger* foram compensados (Figura 11 B) pelos dados obtidos no *barlogger*, e em seguida checados e calibrados conforme informações de nível de água medido com medidor de nível elétrico manual (Figura 11 C).



A)



B)



C)

**Figura 11: A) Poço PT-05 do projeto RIMAS, B) Extração e compensação de dados dos transdutores instalados no poço com auxílio de computador e C) Modelo de medidor de nível marca HS e cabo de 100 m utilizado para checagem e calibração do nível monitorado**

Os dados de cinco poços do projeto RIMAS foram plotados em gráficos e verificada a variação sazonal dos níveis de água. Para homogeneizar os dados de maneira a comparar os níveis estáticos medidos em períodos sazonais diferentes, foi realizada a correção sazonal dos valores de acordo com a equação definida pelos dados de modo a utilizá-los em condição de nível estático mais raso.

Alguns poços de captação de água subterrânea da empresa Manaus Ambiental, localizados na zona leste da cidade, estão em processo de desligamento e, portanto, localmente o nível de água subterrânea está em recuperação ascendente. Desta maneira, foi cedido um destes poços para o projeto RIMAS (PT-18) para monitoramento contínuo da recuperação.

### 3.2.2. Recarga do aquífero (R)

Conforme descrito por Costa *et al.* (2002), a recarga de um aquífero representa a quantidade de água que chega até a zona saturada aumentando o armazenamento de água subterrânea. Pode ser natural, por precipitação, ou artificial, por zonas de injeção e espalhamento natural (POEHLS; SMITH, 2009). Segundo Foster e Hirata (1988), a ocupação antrópica induz modificações significativas nas taxas de recarga natural. Nessas condições, a recarga pode ser reduzida quando há impermeabilização dos solos ou aumentada quando há vazamentos de rede de água potável, rede de coleta de esgotos e de drenagens pluviais (FEITOSA *et al.*, 2008). De maneira sucinta, os processos mais comuns de recarga de um aquífero são:

- Infiltração direta das águas meteóricas sobre a superfície do terreno;
- Infiltração de parte das águas escoadas nas calhas fluviais nos trechos em que o rio é influente;
- Transferência de água de um aquífero para outro através da drenança;
- Por vazamentos na rede de distribuição de água e na rede coletora de esgotos e galerias pluviais.

Existem diversos métodos para estimativas de recarga em várias escalas de tempo e espaço, e englobam uma larga faixa de complexidade e extensão. Dessa maneira, para o entendimento dos principais fatores envolvidos no processo de recarga na cidade de Manaus, principalmente a dinâmica hídrica e a ocupação urbana, foram consultados relatórios de órgãos governamentais. As principais informações coletadas e utilizadas dos relatórios foram: a) delimitação da área de abastecimento público de água; b) volume de produção e distribuição de água; c) taxa de perdas por vazamento da rede pública; e d) tipos de lançamentos de efluentes.

A delimitação da área onde ocorre abastecimento público foi obtida através da concessionária de abastecimento público de água (Manaus Ambiental). No relatório da Agência Reguladora dos Serviços Públicos do Amazonas (ARSAM) e no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) foram obtidos os valores de produção e taxa de perdas por vazamento pelas redes públicas de abastecimento respectivamente. Já o tipo de lançamento de efluentes foram obtidos no Sistema de Informações da Atenção Básica - Situação de Saneamento (SIAB).

Além disso, o trabalho de Brito (2014), que estudou a recarga natural na reserva florestal Adolpho Ducke, localizada no limite norte da área de estudos, também foi utilizado. A autora supracitada obteve valores representativos para a taxa de recarga natural direta pela infiltração da água de chuva através do método do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), conforme apresentado na Tabela 14.

**Tabela 14: Dados obtidos através do método do balanço hídrico na Reserva Adolpho Ducke por Brito (2014).**

	<b>Volume (mm)</b>	<b>% Precipitação</b>
Precipitação (P)	3.386	100
Evapotranspiração Real	1.324	39
Escoamento superficial	664	20
Recarga	1.398	41

A partir das informações consultadas e dados compilados foi feita a caracterização da recarga na área urbana de Manaus nas etapas, que são posteriormente descritas em detalhe, a saber:

1. Elaboração do modelo conceitual de síntese para a recarga.
2. Definição da recarga artificial por meio da delimitação de áreas com ou sem abastecimento público de água; nas áreas com abastecimento foram definidos os respectivos dados de produção e estimativas de perdas por vazamento, além de estimativas do lançamento de efluentes.
3. Identificação de áreas com cobertura vegetal e com edificações ou solo exposto para caracterização da recarga natural.
4. Estimativa da taxa de recarga para cada área identificada como permeável (cobertura vegetal) e impermeável (edificações ou solo exposto) identificadas na etapa 2.
5. Construção do mapa das áreas de recarga artificial e natural e a partir desse, confecção do mapa da taxa de recarga do DRASTIC.

Para a elaboração do modelo conceitual de síntese para a recarga, foram identificadas as principais formas de recarga do aquífero e representadas em forma de croqui esquemático.

Para a definição das áreas de recarga artificial, foram identificados e calculados os principais agentes antrópicos atuantes em área urbana que são perdas por

vazamento do sistema público de distribuição de água e infiltração por lançamento de efluentes no solo.

Sendo assim, inicialmente foram delimitadas as áreas de abastecimento público, obtidas por meio da digitalização, em ambiente SIG, do mapa impresso fornecido pela empresa Manaus Ambiental em 2015 (Figura 12). Em seguida, foram calculados os volumes de vazamento em cada sistema de abastecimento a partir da média da taxa de perda percentual dos anos de 2012, 2013 e 2014. O volume efetivamente distribuído foi determinado como o resultado do volume total produzido subtraído do volume de perdas de água (Equação 3).

Depois de utilizada pelas instalações urbanas, parte da água de abastecimento é descartada como água servida na forma de esgoto. Para lugares, que assim como Manaus, não possuem pesquisas para a quantificação do volume de esgoto gerado, a ABNT-NBR 9649/1986 recomenda a adoção do fator 0,8 (Equação 4).

Equação 3)

$$A=B-C$$

Equação 4)

$$D=A*0,8$$

Onde:

A= volume de água efetivamente distribuída;

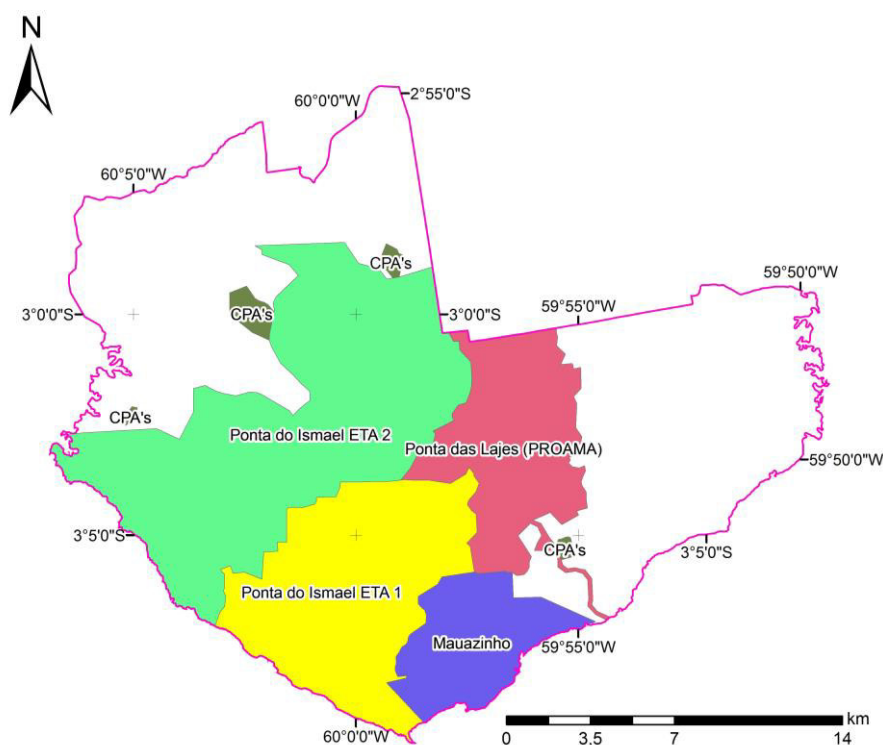
B= Volume de água produzida;

C= volume de água perdida por vazamento; e

D= taxa de efluentes gerados.

Conforme dados do SIAB de dezembro de 2014, na cidade de Manaus a água servida é lançada, principalmente, em fossas negras, em fossas sépticas, na rede de tubulação de coleta de água pluvial, diretamente nos igarapés e rios ou nas ruas e calçadas. Para determinar o percentual de cada tipo de lançamento, foi realizado o cálculo a partir de regra de três simples de acordo com o total de famílias cadastradas no sistema e tipo de local para lançamento de efluente.

Para se obter a taxa de recarga artificial, antrópica, a soma entre o volume de água por perdas de vazamentos na rede de distribuição e o volume de efluentes lançando em fossas, foi dividida pelo valor da área do sistema de abastecimento.



**Figura 12: Áreas com abastecimento público em Manaus**

Para a caracterização da recarga natural, foram identificadas as áreas com cobertura vegetal e com solo exposto ou impermeabilizadas. Para isso, foi realizada a interpretação de imagem Landsat 8 de maio de 2016 com composição de bandas para realçar as áreas de vegetação natural. Crósta (1992) destaca que a classificação de imagens associa cada pixel da imagem a um objeto real através de um valor numérico definido pelo pixel da imagem e relativo ao espectral captado pelo sensor. As informações que permitem a modelagem da vegetação estão contidas nas bandas que apresentam reflectância na faixa do visível (vermelho) e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Dessa forma, as combinações dessas duas faixas espectrais podem realçar as áreas de vegetação. Utilizando-se do software ArcGis® versão 10.2, foi realizada a composição das bandas 6, 5 e 4. Além disso, também foram ressaltadas as áreas com reflectância compatível com solo exposto e edificações.

Para as áreas definidas como cobertura vegetal, foi atribuída a taxa de recarga de 41% da precipitação média anual de Manaus (BRITO,2014). Já para as áreas de solo exposto ou impermeabilizadas foram estimados, para a taxa de recarga, os valores referentes ao lançamento de efluentes, pois tratam-se de áreas com menor adensamento populacional e ausência de rede de abastecimento público, ou seja, pode haver captação de água por poço tubular profundo particular e lançamento do efluente em fossa.

### **3.2.3. Meio Aquífero (A)**

O meio aquífero representa a litologia da zona saturada do aquífero e, na zona saturada todos os espaços vazios em subsuperfície, porosidade primária ou secundária, estão preenchidos por água. Dessa maneira, o meio aquífero é unidade litológica abaixo da linha representativa do nível de água (POEHLS; SMITH, 2009).

As principais fontes de dados para a caracterização litológica do meio aquífero e também do item referente à zona não saturada foram: perfil de poços do SIAGAS, perfil de poços da RIMAS, perfil de 3 furos de sondagens dos trabalhos de Riker *et al.* (no prelo) e perfil de dois furos de sondagem de Andretta (2014). Todos os registros que possuíam um dos critérios descritos abaixo foram selecionados e utilizados para esse trabalho:

- Relatório de perfuração com perfil litológico;
- Poços perfurados pela equipe técnica da CPRM;
- Poços do projeto RIMAS;
- Poços pertencentes a grandes empresas e cuja área fim requer alta demanda por água, e conseqüentemente, uma maior exigência e controle na fiscalização do serviço da empresa de perfuração; tais como empresas de comercialização de água mineral, empresa de abastecimento público, indústrias, além de poços de órgãos públicos.
- Perfis de sondagem a trado realizados pela equipe técnica da CPRM, realizados para o projeto de Riker *et al* (no prelo) e realizados para os estudos de Andretta (2014).

A informação dos 3478 poços do SIAGAS foram compiladas e organizadas em software Excel para verificação de consistência e seleção dos poços mais



representativos. Após a realização das consistências e verificação das descrições, foram selecionados 617 poços para caracterização da litologia em subsuperfície.

Durante o processo de verificação e consistências, foi observado uma grande diversidade de padrões de descrição litológica para os poços e furos de sondagem. Além disso, geralmente, as amostras utilizadas para essas descrições são amostras de calha, nas quais os substratos chegam triturados à superfície e, por isso, podem conter materiais indiretamente misturado. Portanto, para a utilização das descrições litológicas de forma criteriosa e que pudessem ser comparadas entre si, foi feita padronização e homogeneização da informação conforme é apresentado na Tabela 15. Ressalta-se ainda, que as informações referentes à cor foram desconsideradas porque foram identificadas mais de 30 combinações diferentes de cores nos dados selecionados, o que impossibilita a representação e interpretação em mapa e em perfil para a escala deste trabalho.

**Tabela 15: Padronização realizada nos dados litológicos dos dados.**

<b>Tipo litológico descrições</b>	<b>Padronizado</b>	<b>Cor e hachura padronizada</b>
Argilito, siltito, argilito siltoso, siltito argiloso, argila, silte, argila siltosa e silte argiloso	Pelítica	Marrom, traços pequenos
Arenitos (fino, médio ou grosso) e areia (fina, média ou grossa)	Arenosa	Amarelo, pontos
Areno siltoso, areno argiloso, silto arenoso, argilo arenoso	Areno siltosa ou areno argilosa	Bege, pontos e traços pequenos
Conglomerados	Conglomerado	Azul, figuras arredondadas
Folhelho	Folhelho	Verde folha, traços médios
Laterita	Laterita	Verde, sem hachura
Arenito Manaus, arenito silicificado, argilito silicificado e siltito silicificado	Arenito Manaus	Vermelho, pontos e traços pequenos
Calcário, rocha carbonática	Calcário	Cinza, tijolos empilhados

Conforme apresentado por Payne *et al.* (2008), as camadas litológicas representantes de zonas de alta condutividade de água contribuem mais significativamente para a dispersão e espalhamento de contaminantes. Isto porque experimentos demonstraram que cerca de 70% do fluxo passa em apenas 25% da seção. Ou seja, o substrato litológico de maior condutividade hidráulica conduzirá maior quantidade de água e alcançará maiores distâncias em detrimento de camadas litológicas menos condutoras. Diante do exposto, os dados litológicos consistidos foram inseridos no software Rockworks versão 15, onde foi gerado o perfil

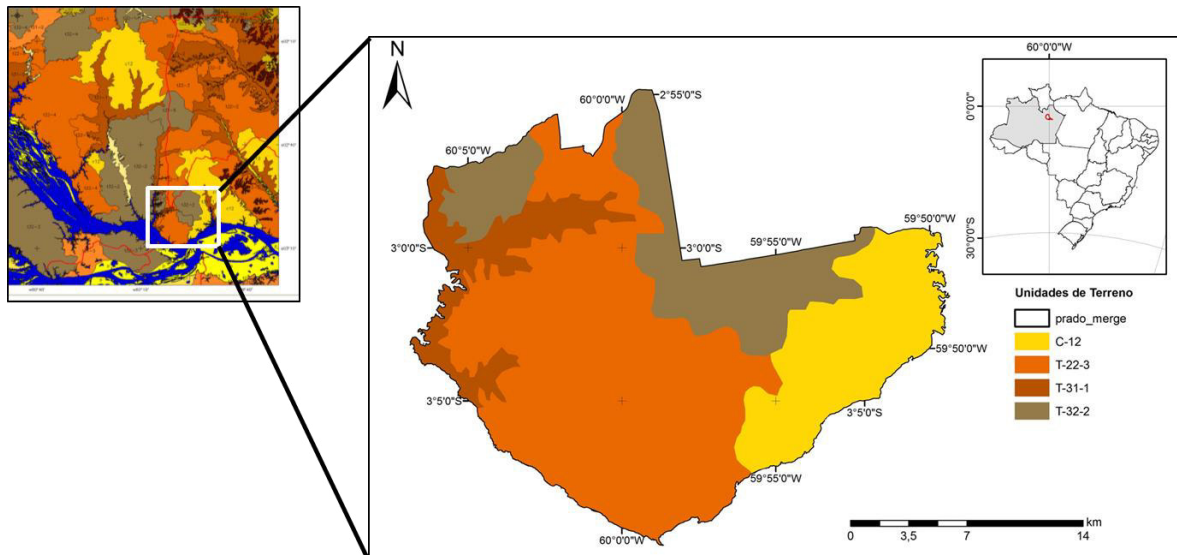
representativo da área e a respectiva indicação do nível de água subterrânea. No processo de criação do perfil adotou-se, de maneira arbitrária, a margem de influência de 200 m para inclusão de informações de poços no entorno do traçado da linha do perfil e dessa maneira melhorar a resolução do perfil. A partir da interpretação dessas informações foi possível identificar qual unidade litológica apresenta maior capacidade condutiva para a água do aquífero e, portanto, utilizada para representar o meio aquífero do estudo.

#### **3.2.4. Solos (S)**

Para a caracterização do solo na área estudada foram realizadas pesquisas bibliográficas de trabalhos com informações acerca da classificação pedológica e textural. Os trabalhos mais representativos para utilização nesse estudo foram os de Falesi *et al.* (1969), Prado (2004) e Roque (2006).

Em Falesi *et al.* (1969), os solos de Manaus foram classificados como latossolo amarelo e caracterizados, de forma geral, como bem desenvolvidos, profundos, fortemente desgastados, de cor amarela, muito a excessivamente ácidos, bem drenados e com teor de argila, geralmente, acima de 70% no horizonte B. Os autores ainda descrevem que o perfil representativo possui horizonte O pouco espesso ou ausente, com 80 a 116 cm de espessura e teor de argila entre 60 e 80%, horizonte A muito estreito, com 30 a 41 cm, com estrutura fraca a moderadamente desenvolvida, e teores de argila entre 43 e 78% podendo ser compacto ou firme. Como são solos desenvolvidos a partir de sedimentos caulíníficos apresentam alto índice de acidez e baixa fertilidade.

Para a determinação da camada representativa do solo de Manaus, foram utilizados o mapa das unidades de terreno elaborado por Prado (2004) e a carta geotécnica apresentada por Roque (2006). Prado (2004) elaborou um mapa de unidades de terreno em escala 1:100.000 a partir de interpretação de imagens Landsat/TM-5 e delimitou as áreas de acordo com a diferenciação dos tipos de dissecação, relevo, densidade e padrão de drenagem e fez associações litológicas e pedológicas. As unidades, descritas pelo autor, que ocorrem na área são a C-12, T22-3, T-31-1 e T-32-2 (Figura 13). A descrição sucinta de cada unidade é apresentada na (Tabela 16).



**Figura 13: Mapa de unidades de terreno de Prado (2004) com detalhe para a área de estudos. Adaptado de Prado (2004).**

Roque (2006) realizou estudos geológico-geotécnicos na região de Manaus e preparou uma carta geotécnica em escala de detalhe de 1:25.000 (Figura 14) a partir de fotointerpretação, modelo numérico do terreno, mapa de declividade e curvaturas do terreno, bem como interpretações e caracterização de perfis de sondagem. Nesse mapeamento o autor individualizou quatorze tipos de unidades geotécnicas distintas; as ilustrações dos perfis típicos dessas unidades são apresentadas na Figura 15 e na Tabela 16 são apresentados seus nomes e a descrição do solo superficial de cada uma das unidades mapeadas.

**Tabela 16: Descrição sucinta das unidades de terreno de Prado (2004)**

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>
<b>C-12</b>	O relevo é composto por colina com altimetria entre 50 e 100 m e com topo convexo de extensão inferior a 250 m e vertentes de declive fraco a médio. Vales se apresentam pouco profundos, entalhados na FAC. O material inconsolidado dominante é o latossolo amarelo com textura argilosa a argilo-siltosa com comportamento laterítico pouco profundo.
<b>T-22-3</b>	Interflúvios tabulares com vales de fundo chato. O divisor de águas da região encontra-se inserido nesse padrão, sendo a área mais elevada, provavelmente devido à tectônica regional. Conseqüentemente, é a área que apresenta o perfil pedológico mais arrasado, expondo o horizonte H4. Dessa forma, ocorre em vários locais a presença de materiais inconsolidados lateríticos pouco profundos de textura areno-argilosa. Localmente, devido aos processos climáticos atuais, esses materiais formam os solos podzols de textura arenosa e comportamento não-laterítico. Essa área apresenta problemas de erosão e deslizamentos nos cortes de estradas devidos ao fato dos materiais presentes serem mais arenosos.
<b>T-31-1</b>	Feições de relevo que se desenvolvem ao longo dos rios de porte médio da FAC. O material inconsolidado dominante é o latossolo amarelo de textura que varia de areia-argilosa a argila-siltosa de comportamento laterítico a pequenas profundidades a não laterítico com aumento da profundidade. Nesses perfis existe o enriquecimento de argila com a profundidade.
<b>T-32-2</b>	Interflúvios na forma de platôs, com vales densamente ravinados, dispostas NW-SE e NS e de fundo chato, entalhados na FAC. O material inconsolidado dominante no topo dos interflúvios é o latossolo amarelo com textura argilosa de comportamento laterítico e no fundo dos vales, os podzol-hidromórficos e areias quartzosas com textura areno-argilosa de comportamento não-laterítico. Apresenta interflúvios, na forma de platôs, com vales densamente ravinados, dispostas NW-SE e NS e de fundo chato, entalhados na FAC.

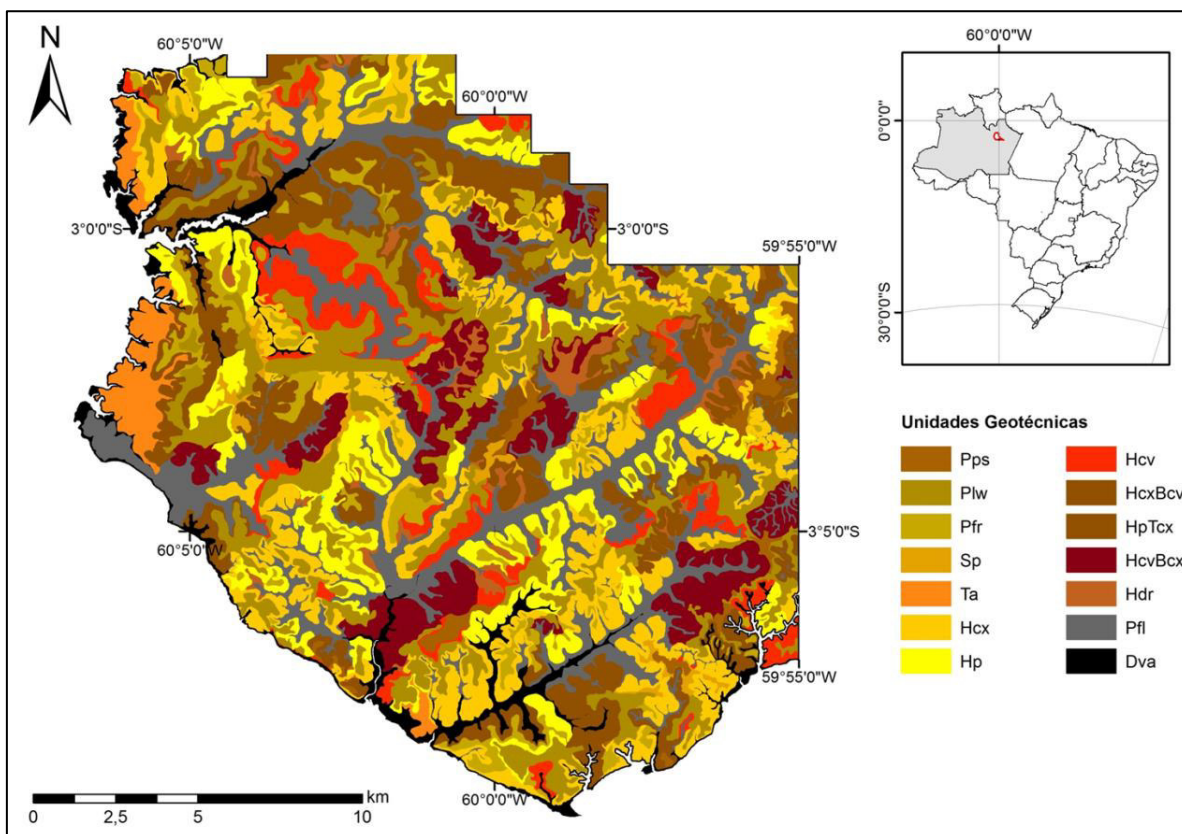
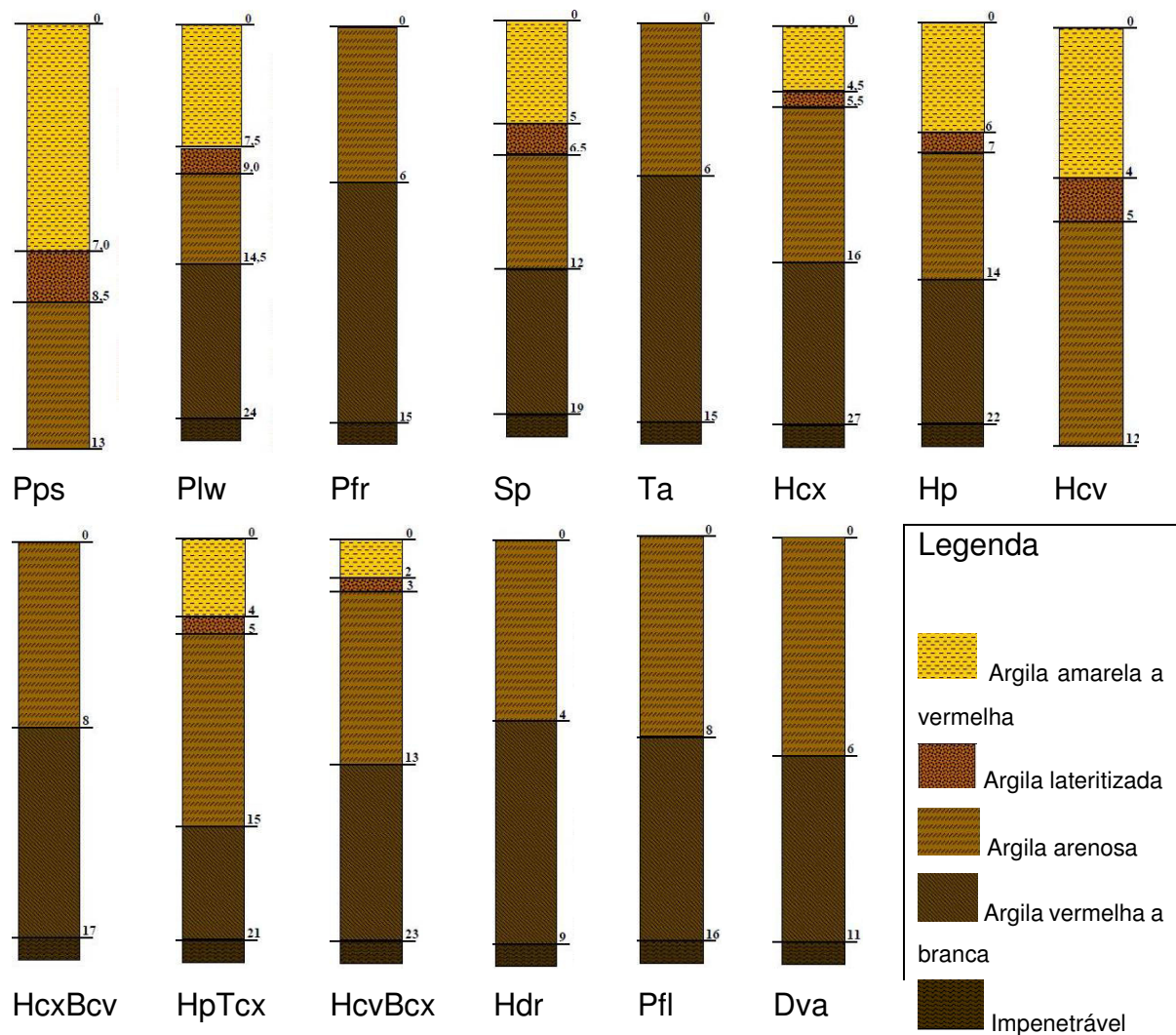


Figura 14: Mapa de unidades geotécnicas. Adaptado de Roque (2006)

Tabela 17: Unidades definidas por Roque (2006) com a respectiva descrição do solo superficial.

Sigla	Nome	Descrição do solo superficial (< 2 m)
Pps	Platô com superfície plana	Argilas amarelas a vermelhas
Plw	Platô com superfície levemente ondulada	Argilas amarelas a vermelhas
Pfr	Fragmento de platô	Argila arenosa
Sp	Superfície de ligação entre platôs	Argilas amarelas a vermelhas
Ta	Terraço aluvionar	Argila arenosa
Hcx	Encosta convexa	Argilas vermelhas a amarelas
Hp	Encosta plana	Argilas amarelas a vermelhas
Hcv	Encosta côncava	Argilas amarelas a vermelhas
HcxBcv	Encosta convexa com base côncava	Argila arenosa vermelha a branca
HpTcx	Encosta plana com topo convexo	Argilas amarelas a vermelhas
HcvBcx	Encosta côncava com base convexa	Argilas amarelas a vermelhas
Hdr	Cabeceira de drenagem	Argila arenosa amarela a branca
Pfl	Planície de inundação	Argila arenosa
Dva	Fundo de vale	Argila arenosa amarela e areia branca a média



**Figura 15: Perfis típicos das unidades propostas por Roque (2006).**

Como o solo da área é o latossolo amarelo, que tem como característica o grau de desenvolvimento e profundidade acentuados, adotou-se a profundidade máxima prevista no método de mapeamento de vulnerabilidade para o parâmetro solo, que é de 2 m de espessura. Dessa maneira a partir da composição dos mapas de Prado (2004) e Roque (2006) foi gerado um mapa de solos para esse estudo tomando-se por referência a descrição das camadas superiores, menores que 2 m de profundidade, e as unidades de solos definidas pelos autores supracitados. Esse mapa de solos foi elaborado através da interpretação qualitativa e da correlação entre as descrições das unidades e o diagrama textural do IBGE (2007).

### 3.2.5. Topografia (T)

A camada referente à topografia foi construída a partir das curvas de nível em formato *shapefile* fornecidas pela Prefeitura Municipal de Manaus (IMPLURB, 2015) definidas a cada 5 m, e a partir da base cartográfica do IBGE com curvas de nível a cada 20 m. As curvas de nível de 5 m cobriram a maior parte da área de estudos, exceto a porção do extremo norte da área e a porção leste (Distrito Industrial e Puraquequara), onde foram utilizadas as curvas de nível de 20 m, ou seja, com menor nível de detalhamento.

Para o tratamento dos dados topográficos foi utilizado o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator). Como a área de estudos está inserida em duas zonas, 20 e 21, do sistema de projeção UTM, foi necessário projetar os dados altimétricos para um sistema de coordenadas local, criado unicamente para trabalhar em UTM. Essa etapa foi realizada exclusivamente para evitar erros e conflitos entre as zonas cartográficas em projeção UTM.

As curvas de nível foram processadas no ArcGis® versão 10.2 para a elaboração do modelo digital de terreno pelo método de interpolação por rede de triangulação (TIN). Os valores de elevação do terreno foram divididos em oito grupos principais de altitudes e classificados por coloração e tonalidades distintas, sendo subdivididos em altitudes inferiores a 30 m, entre 30 e 40 m, entre 40 e 50 m, entre 50 e 60 m, entre 60 e 70 m, entre 70 e 80 m, entre 80 e 90 m, entre 90 e 100 m e para valores maiores que 100 m.

A declividade do terreno é definida como a relação entre a distância vertical e a distância horizontal. Assim, a partir das bases topográficas e do modelo digital de terreno, foi gerado o mapa de declividades da área em porcentagem, que consiste na relação entre a distância vertical e a distância horizontal (Equação 5).

Equação 5)

$$D (\%) = \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

Onde:

D = declividade (%)

$\Delta v$  = distância vertical entre dois pontos

$\Delta h$  = distância horizontal entre dois pontos

As taxas de declividade foram subdivididas em cinco categorias, conforme regulamenta o método de mapeamento de vulnerabilidade DRASTIC, tais como: menor que 2%, entre 2 e 6%, entre 6 e 12%, entre 12 e 18% e maior que 18%.

### 3.2.6. Zona não saturada (I)

A zona não saturada refere-se ao substrato litológico cujos espaços vazios estão preenchidos predominantemente por gases, representa no perfil litológico toda a área acima da zona saturada até a superfície (POEHLS; SMITH, 2009). Para adequação aos critérios de mapeamento da vulnerabilidade no método DRASTIC, a zona não saturada a ser considerada é o substrato entre a camada superior do nível estático e a base da camada de solo, conforme ilustrado na Figura 16.

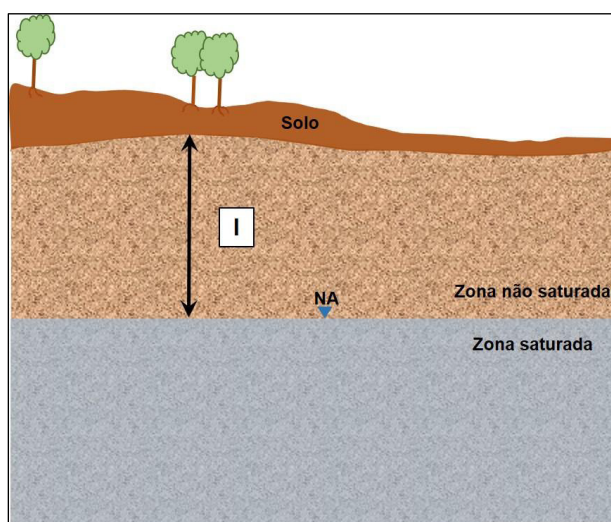
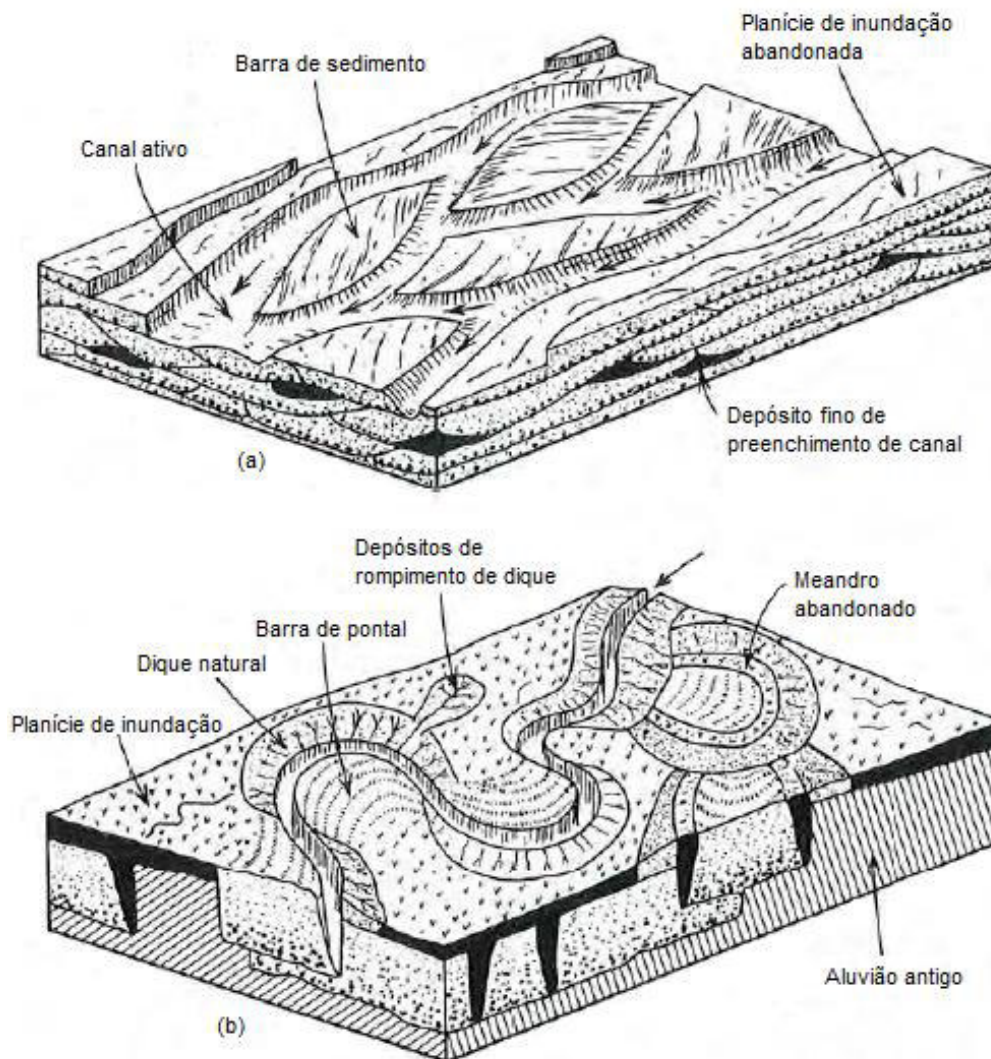


Figura 16: Intervalo da zona não saturada para aplicação do método DRASTIC.

Conforme descrito no Capítulo 2.1.1, os sedimentos depositados na formação Alter do Chão são oriundos predominantemente de ambiente fluvial entrelaçado de alta energia e meandrante de baixa energia. Dessa forma, a partir de informações bibliográficas que discorrem sobre a FAC e sua evolução em dois tipos principais de ambiente de sedimentação, espera-se que a litologia do AAC tenha componentes dispostos em condições semelhantes às condições do modelo teórico ilustrado na Figura 17.





**Figura 17: Blocos diagrama representativos dos sistemas de deposição fluvial a) entrelaçado e b) sistema de deposição fluvial meandrante. Adaptado de Freeze e Cherry (1979).**

As principais fontes de dados para a caracterização da geologia da zona não saturada foram os mesmos utilizados para caracterização do meio aquífero, ou seja: perfil de poços do SIAGAS, perfil de poços da RIMAS, perfil de três furos de sondagens dos trabalhos de Riker *et al.* (no prelo) e perfil de dois furos de sondagem de Andretta (2014). A seleção dos registros para utilização e homogeneização também foi a mesma, selecionados poços que preenchem os seguintes requisitos:

- Relatório de perfuração com perfil litológico;
- Poços do projeto RIMAS;
- Poços pertencentes a grandes empresas e cuja área fim requer alta demanda por água, e conseqüentemente, uma maior exigência e controle na fiscalização do serviço da empresa de perfuração; tais como empresas

de comercialização de água mineral, empresa de abastecimento público, indústrias, além de poços de órgãos públicos.

- Perfis de sondagem a trado realizados pela equipe técnica da CPRM, realizados para o projeto de Riker et al (no prelo) e realizados para os estudos de Andretta (2014).

Os 617 pontos de informações litológicas foram plotados em ambiente SIG juntamente com o mapa de profundidade do nível estático (descrito no item 3.2.1 e apresentado no item 4.1) e, as informações da profundidade do nível de água foram extraídas para cada um desses pontos. Dessa forma, para caracterizar a zona não saturada, foram excluídas as informações litológicas referentes a zona saturada, baixo na linha do nível de água, e também excluídos os dois primeiros metros, que se referem a camada de solos. Em seguida foram quantificadas as espessuras dos tipos litológicos de cada ponto e determinada a camada que ocorrem em maior espessura. Para obter o mapa característico do parâmetro os dados foram plotados novamente em ambiente SIG e realizada interpolação com posterior checagem individual dos pontos.

### **3.2.7. Condutividade hidráulica (C)**

Condutividade hidráulica é a medida da habilidade do aquífero em conduzir água sob influência do gradiente de uma superfície potenciométrica, ou seja, a facilidade da água fluir pelo meio quando submetido a um gradiente.

Nos estudos de vulnerabilidade intrínseca no método DRASTIC a condutividade hidráulica está diretamente relacionada com o transporte de um possível contaminante, ou seja, tem como premissa a distância e o tempo que o contaminante pode se espalhar após entrar em contato com a água do aquífero. Ressalta-se que o método DRASTIC de vulnerabilidade utiliza apenas as características do aquífero e, portanto, as características do contaminante e tipos de reações sofridas ao longo do seu trajeto não são considerados.

Para a determinação da condutividade hidráulica, foram utilizados os valores de transmissividade obtidos por Aguiar (2002) para os poços perfurados pela CPRM nas décadas de 1970, 1980 e 1990. Dentre os valores apresentados por esse autor, foram selecionados somente os poços com profundidades superiores a 150 m para garantir

condições próximas à de poços totalmente penetrantes, uma vez que o limite médio do aquífero é a 200 m de profundidade (AGUIAR, 2002). Os valores de transmissividade no trabalho de Aguiar (2002) foram obtidos através da interpretação da recuperação do nível após a finalização do bombeamento para, desse modo, eliminar os efeitos causados pelas oscilações na vazão da bomba e diminuir as interferências externas. Conforme informações obtidas pessoalmente com o autor citado acima, o método utilizado para obter a transmissividade foi o método simplificado de Coop/Jacob realizado através da Equação 6.

Equação 6)

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s}$$

Onde:

T = coeficiente de transmissividade (m<sup>2</sup>/hora)

Q = Vazão de bombeamento (m<sup>3</sup>/hora)

Δs = Intervalo de recuperação em um ciclo logarítmico (m)

Para obtenção do valor de condutividade hidráulica foi aplicada a Equação 7 que relaciona a transmissividade e a de condutividade hidráulica que são diretamente proporcionais.

Equação 7)

$$K = \frac{T}{b}$$

Onde:

K = condutividade hidráulica (m/dia)

T = coeficiente de transmissividade (m<sup>2</sup>/dia)

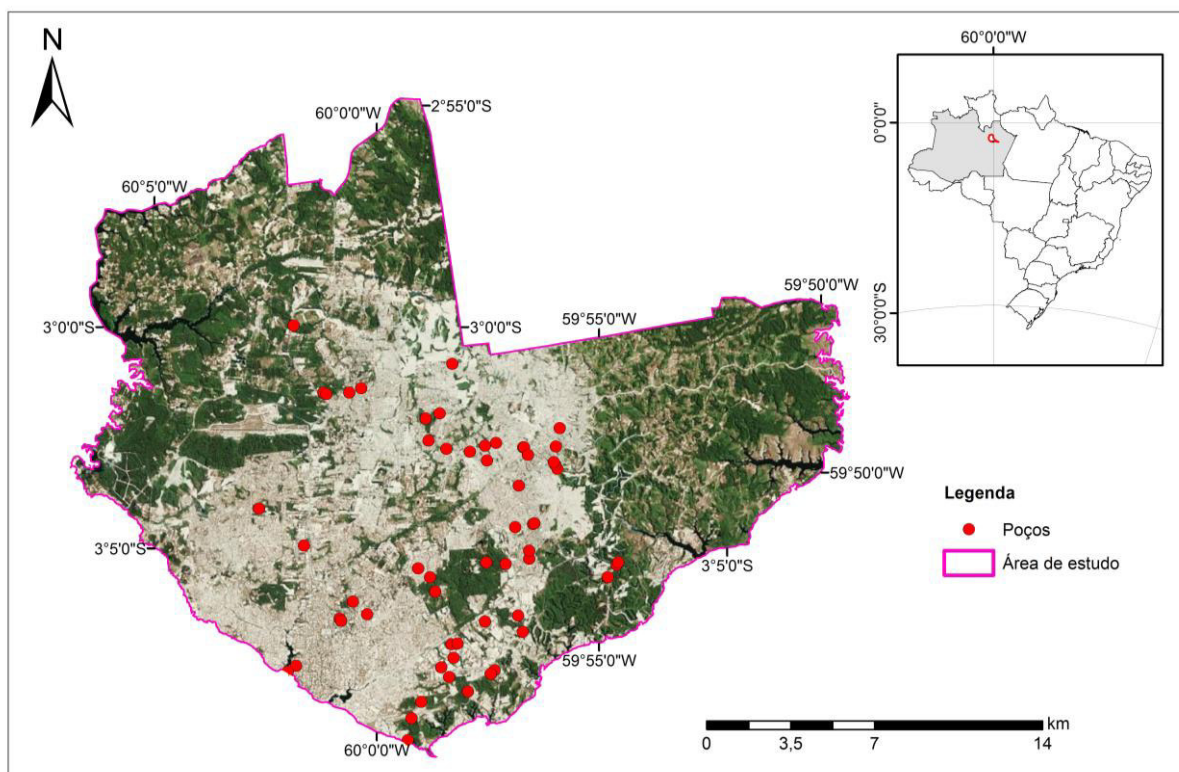
b = espessura do aquífero (m)

Foram verificadas as extensões das seções filtrantes de cada um dos poços e das camadas drenantes da seção saturada. Verificou-se que, de maneira geral, as seções filtrantes são menores que as camadas drenantes, e do que a espessura total

do AAC. Assim, para calcular a condutividade hidráulica a partir da transmissividade foram empregados os valores relativos ao tamanho da seção filtrante. Foi utilizado também o dado de condutividade hidráulica obtido no teste de bombeamento de 48 horas no poço instalado nas dependências da UFAM para os estudos de desenvolvimento da dissertação de mestrado de Trindade (em preparação).

Para checagem dos resultados, foi realizada a comparação entre os valores obtidos com os valores teóricos de condutividade hidráulica para diferentes substratos. Após a realização dos cálculos, os valores máximos e mínimos obtidos foram plotados no gráfico teórico proposto por Freeze e Cherry (1979).

Foram utilizadas informações de transmissividade de 58 poços, sendo 57 do trabalho de Aguiar (2002) e um de Trindade (em preparação). Conforme apresentado na Figura 18, os poços utilizados para a determinação da condutividade hidráulica encontram-se distribuídos, de maneira geral, na região centro sul da área, onde se concentra a maior ocupação populacional. No restante da área os valores foram extrapolados pela interpolação pelo método do inverso da distância ao quadrado.



**Figura 18: Poços com teste de bombeamento utilizados para determinação da condutividade hidráulica da área.**

## 4. RESULTADOS

O estudo dos dados secundários e o levantamento de dados primários permitiram a elaboração de uma caracterização hidrogeológica para o AAC na cidade de Manaus. Os principais parâmetros hidráulicos para o aquífero foram caracterizados de forma criteriosa e em compatibilidade com a escala de trabalho. A seguir são apresentados os resultados e mapas temáticos para cada um dos parâmetros definidos na aplicação do método DRASTIC, bem como o mapa final da vulnerabilidade intrínseca para o AAC na área estudada. Ressalta-se que as cores apresentadas nos mapas seguem uma escala que vai do azul para o vermelho onde o azul representa menor vulnerabilidade e o vermelho maior vulnerabilidade, conforme ilustrado a seguir.



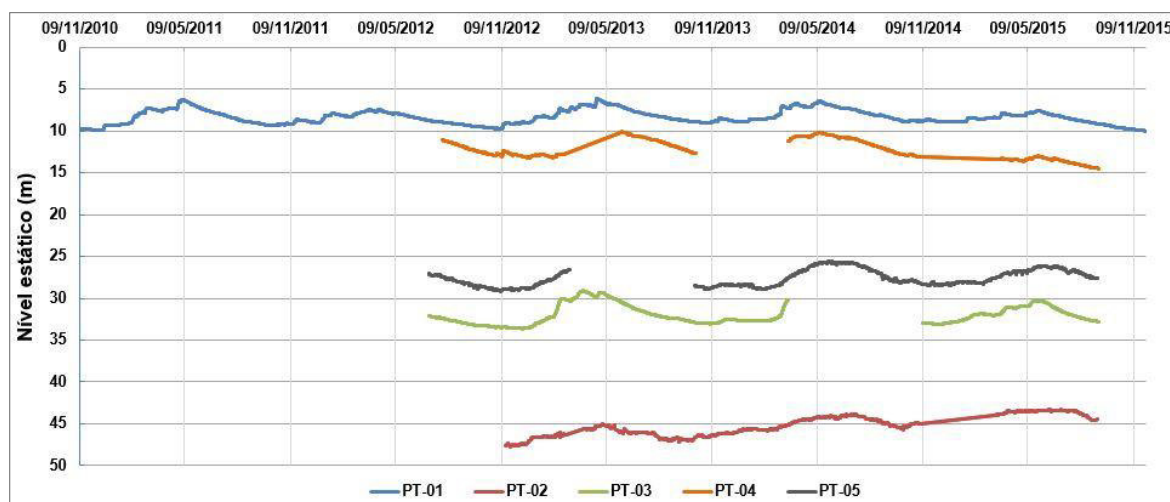
### 4.1. Profundidade do nível de água (D)

A variação do nível de água subterrânea é mostrada no gráfico da Figura 19 que correlaciona os níveis medidos de profundidade do nível de água com o período monitorado. A partir desse gráfico, o poço PT-01, instalado nas dependências da CPRM, foi destacado na Figura 20, pois apresenta o monitoramento contínuo no período de 2010 a 2015. A análise de seus dados indicou a variação sazonal de cerca de 3,6 m entre o nível mais profundo (novembro) e o nível mais raso (maio).

A partir do valor máximo obtido para a variação sazonal, foram plotados os pontos de mínima profundidade, referentes ao mês de maio, e os pontos de máxima profundidade, do mês de novembro (Figura 21); uma reta de correlação foi traçada entre eles e sua equação foi definida (Equação 8). A partir da Equação 8 foram calculados os fatores de correção conforme mês de obtenção do dado. Em seguida, os valores de monitoramento foram subtraídos de seus fatores de correção respectivos (Tabela 18).

Essa correção foi aplicada aos poços selecionados do SIAGAS e pôde-se definir as profundidades médias da água subterrânea na área de estudos. As profundidades do nível de água na zona urbana de Manaus variam de 1,5 m a 81,5 m (Tabela 19).

Os novos dados obtidos para a profundidade do nível de água foram lançados em ambiente SIG e estão distribuídos espacialmente conforme é ilustrado na Figura 22 e detalhado no Apêndice A. Através da aplicação do método de interpolação pelo método do inverso da distância, foi definido o mapa de profundidade do nível de água (Figura 23).



**Figura 19: Monitoramento do nível estático de cinco poços do projeto RIMAS.**



**Figura 20: Monitoramento do poço PT-01 do projeto Rimas com variação sazonal bem marcada.**

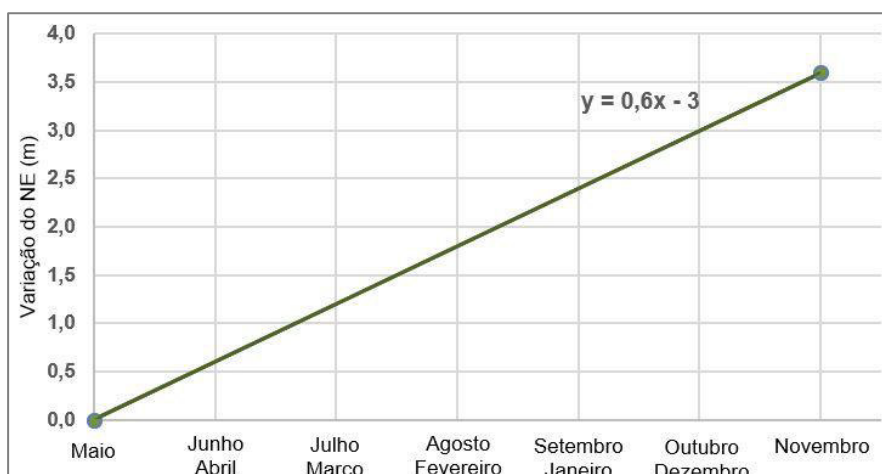
Equação 8)

$$y=0,6x - 3$$

Onde:

y=fator de correção; e

x= mês em que foi realizada a medida.



**Figura 21: Regressão linear para correção do nível estático dos poços**

**Tabela 18: Fator de correção a ser subtraído dos dados monitorados, conforme mês de coleta da informação.**

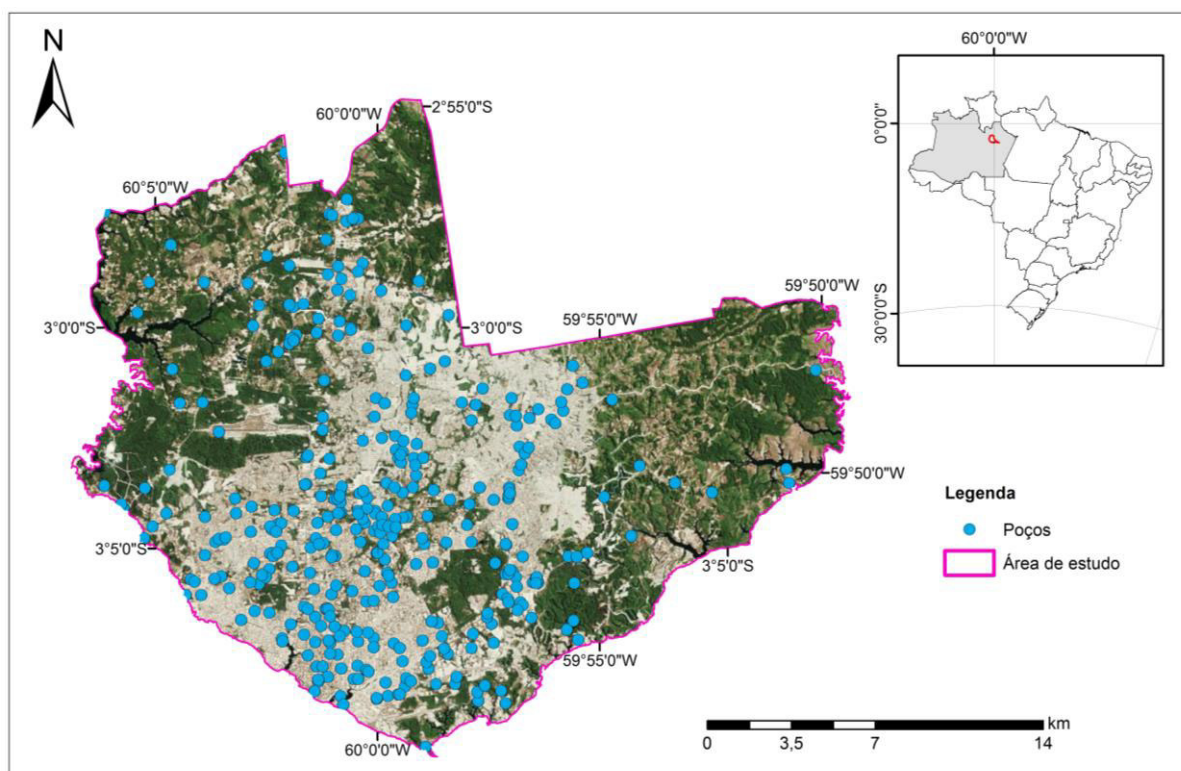
Equação $y=0,6x - 3$	
Período monitorado	Fator de correção (m)
Maio	0,0
Abril e junho	0,6
Março e julho	1,2
Fevereiro e agosto	1,8
Janeiro e setembro	2,4
Dezembro e outubro	3,0
Novembro	3,6

Após a elaboração do mapa, os intervalos para as profundidades de nível da água subterrânea foram adequados aos definidos para esse parâmetro no método DRASTIC, em que valores mais rasos representam maior vulnerabilidade, enquanto que valores mais profundos representam menor vulnerabilidade. De forma geral, observa-se a predominância de níveis entre 15,2 e 22,9 m distribuídos por toda a área, o que sugere um índice intermediário de vulnerabilidade (Figura 23). Níveis mais profundos com valores superiores a 22,9 m são observados predominantemente nas porções sudeste, sudoeste e de forma mais rara na região noroeste e central da área, o que indica índice de vulnerabilidade mais baixo. Na porção do extremo norte e nordeste ocorrem porções onde o nível d'água é mais raso, com valores abaixo de 15,2 m, o que sugere índice mais alto de vulnerabilidade.

As áreas de valores mais profundos do nível de água podem ser interpretadas como locais onde ocorre maior extração de água subterrânea por utilização de poços tubulares. Já as áreas com níveis mais rasos podem estar associadas a regiões próximas a drenagens. Ressalta-se que as áreas destacadas como de maiores

profundidades na zona sudeste, sudoeste e centro norte bem como as áreas com profundidades rasas na área central também foram identificadas nos estudos de Saraiva (2015).

No extremo leste e no extremo norte da área, por serem regiões com baixa ocupação urbana e, portanto, baixa densidade de dados, foram obtidos valores no processo de interpolação que podem representar um possível exagero em relação à condição natural do local. Dessa maneira a interpolação das informações gerou uma região de nível de água profundo a leste e intermediário a norte (Figura 23).



**Figura 22: Mapa de pontos utilizados para interpolação e definição do mapa de profundidade do nível de água.**



**Tabela 19: Intervalo de profundidades com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para a área**

<b>Profundidade do nível da água (m)</b>	<b>Índices (<math>D_r</math>)</b>	<b><math>D_r * D_w</math></b>
> 30,5	1	5
22,9 - 30,5	2	10
15,2 - 22,9	3	15
9,1 - 15,2	5	25
4,6 - 9,1	7	35
1,5 - 4,6	9	45
0 - 1,5	10	50
<b>PESO DRASTIC (<math>D_w</math>)</b>	<b>5</b>	

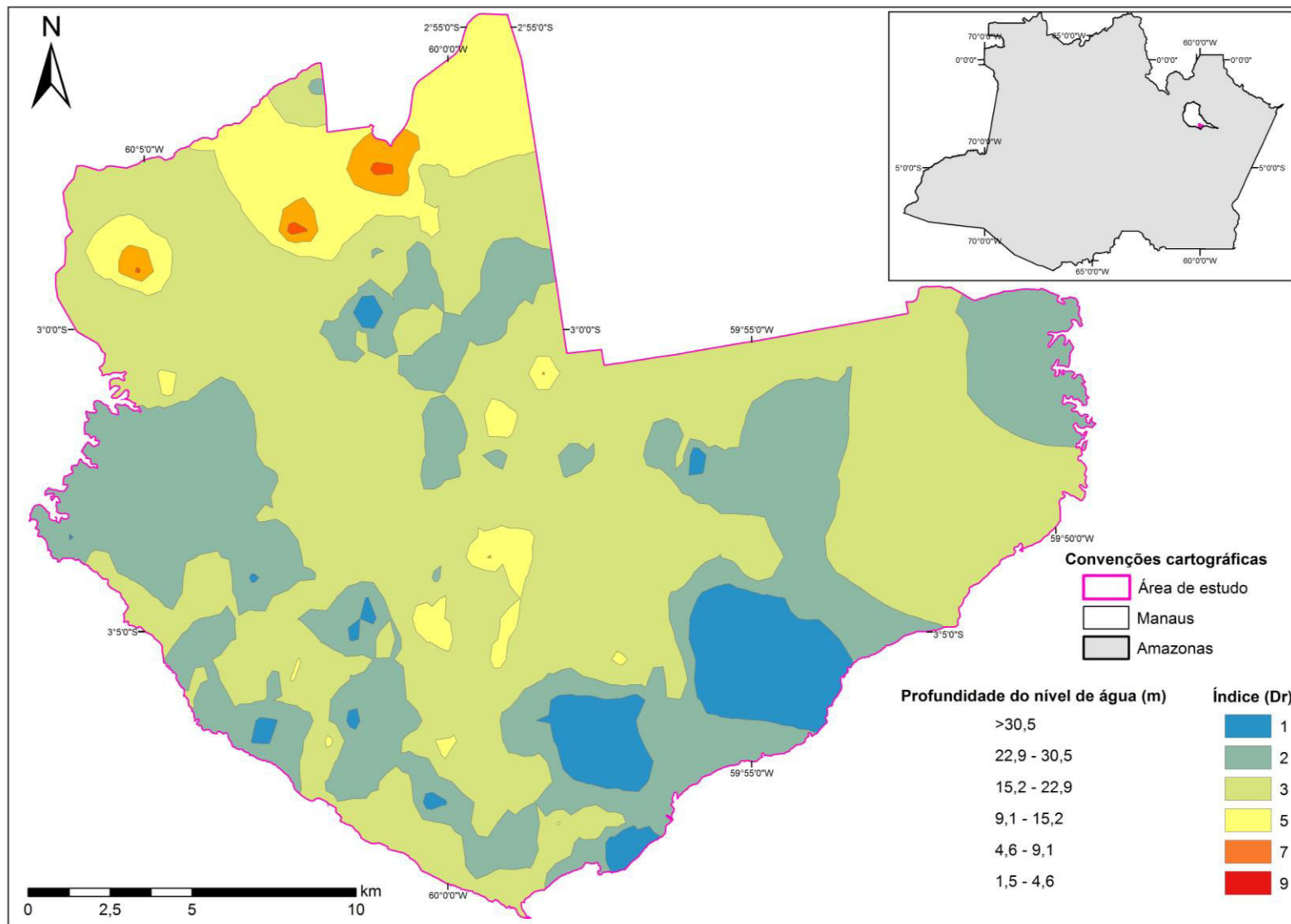


Figura 23: Mapa de interpolação da profundidade do nível estático para a área de Manaus.

## 4.2. Recarga (R)

A partir da interpretação dos dados consultados, foi possível definir as principais fontes de recarga para a área:

- Recarga natural por infiltração de água de chuva;
- Recarga por infiltração de água da rede de distribuição pública de água;
- Recarga por infiltração de esgoto lançado em fossas (sépticas e irregulares);
- Recarga por lançamento de esgoto a céu aberto.

É proposto o modelo conceitual de síntese de recarga para a área estudada, conforme ilustrado na Figura 24, onde foram identificando as principais fontes de recarga no contexto da dinâmica urbana da cidade. Os principais fluxos de circulação de água no processo de recarga são:

- Circulação da água no processo natural do ciclo hidrológico com infiltração de água meteórica recarregando o aquífero e drenagens, evapotranspiração e retorno da água para a atmosfera;
- Água superficial captada dos rios para abastecimento público que é lançada nos solos e infiltra recarregando o aquífero nos processos de vazamento da rede de tubulação e de fossas; e,
- Circulação de água subterrânea retirada do aquífero por captação e após uso se infiltra no solo a partir de vazamento de fossas, contribuindo também na recarga do aquífero.

Para áreas com cobertura florestal preservada, o valor calculado para a recarga foi de 963 mm, que representa a taxa de infiltração obtida por Brito (2014) de 41% da precipitação aplicado à média de 2.349 mm para Manaus.

A partir dos valores de produção média, divulgados no relatório da ARSAM (2012), e os dados divulgados pela SNIS (2014), foi possível estimar a taxa média de recarga indireta por perdas de água na tubulação de abastecimento. De acordo com SNIS (2014), cerca de 48,6% (Tabela 20) da água tratada é perdida na forma de

vazamento pela rede na distribuição de água o que equivale a 75,73 (m<sup>3</sup>/dia/km) em perdas lineares. Do restante da água que é distribuída (51,4%), cerca de 9,66x10<sup>7</sup>m<sup>3</sup>/ano se torna efluente. Os tipos de destinação dado aos efluentes, calculados a partir da proporção dos dados de cadastro realizado por servidores do Sistema Único de Saúde – SUS (SIAB-2014), são apresentados na Tabela 21. As informações de produção e taxa de vazamentos, bem como os cálculos referentes a geração de efluentes, área e taxa de recarga são apresentadas na Tabela 22. Como a empresa de abastecimento pública de água está em processo desligamento dos poços tubulares profundos e, ampliação do sistema de distribuição de água superficial captada, estima-se que que permaneçam ativos apenas 10% a partir de 2017.

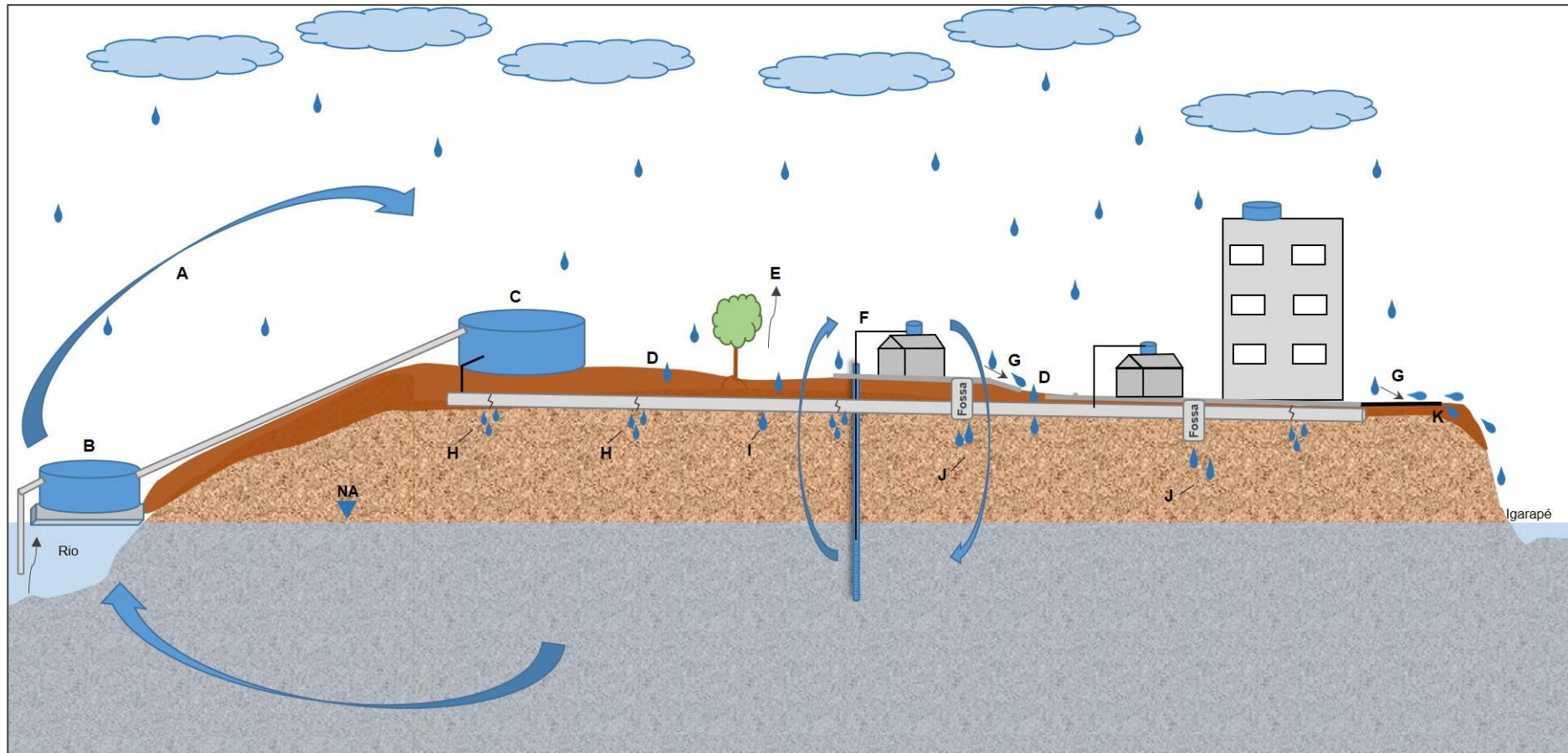
A recarga indireta do AAC é representada pelo volume de água em perdas por vazamento na rede de tubulação e volume de efluentes lançados em fossas (sépticas ou irregulares), conforme modelo esquemático apresentado na Figura 25. Destaca-se que a recarga artificial é de 68% do valor total de água captada e distribuída pela empresa de abastecimento.

**Tabela 20: Percentual de perdas de água por vazamento na rede de distribuição em 2012, 2013 e 2014 (SNIS, 2014).**

<b>Ano</b>	<b>Prestador de serviços</b>	<b>Perdas na distribuição (%)</b>
2014	Manaus Ambiental - MA	49,28
2013	Manaus Ambiental - MA	48,16
2012	Manaus Ambiental - MA	48,49
<b>Média últimos 3 anos</b>		<b>48,6</b>

**Tabela 21: Estimativa de tipos de lançamento de efluentes a partir do cadastro de famílias (SIAB, 2014).**

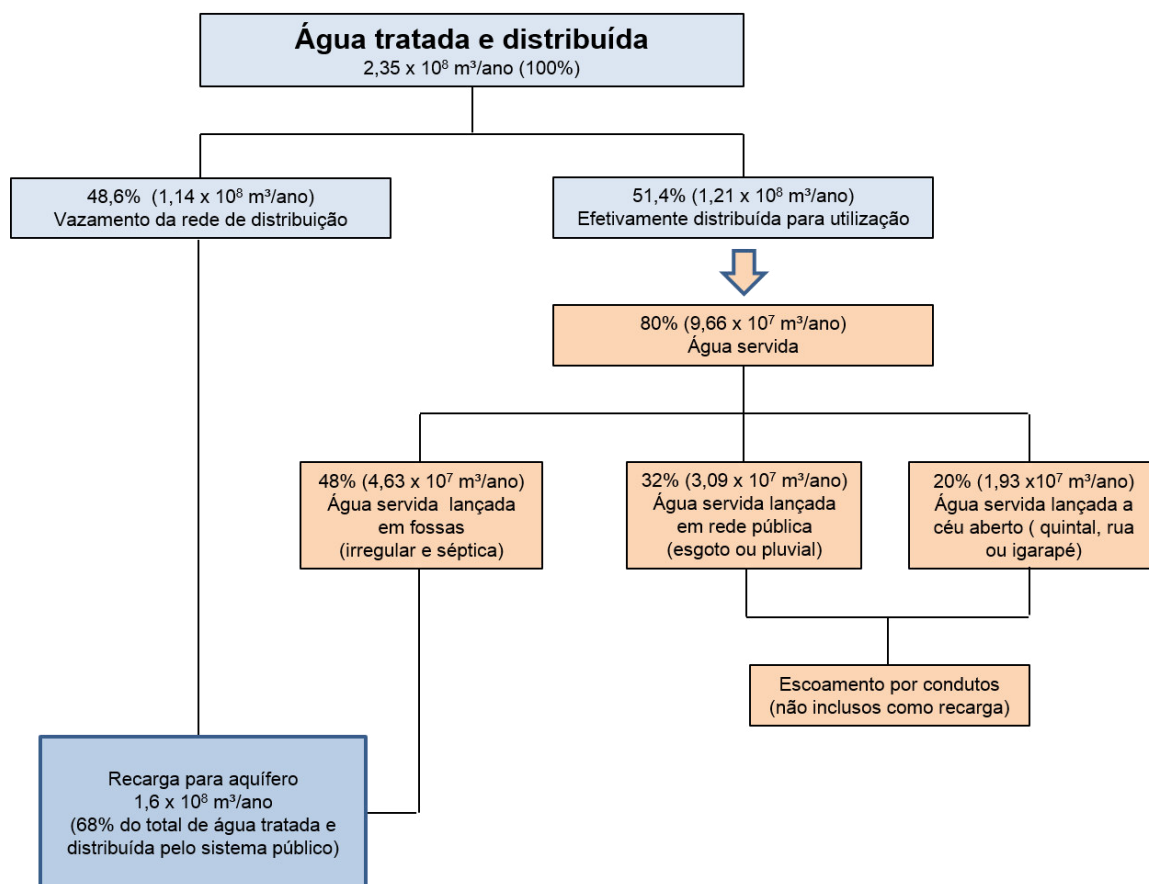
<b>Tipo de lançamento do efluente</b>	<b>Nº de famílias</b>	<b>%</b>
Rede esgoto ou pluvial	47.764	32%
Fossa	71.001	48%
Céu aberto	28.900	20%
<b>Total</b>	<b>147.665</b>	



**Figura 24: Modelo conceitual de síntese para a recarga na área urbana de Manaus. A) Água superficial captada para a distribuição pública, B) Captação e tratamento da água superficial, C) Reservatório de distribuição, D) Infiltração de água de chuva para recarga natural, E) Evapotranspiração, F) Captação de água subterrânea através de poços e cacimbas, G) Escoamento superficial, H) Vazamento na rede de distribuição, I) Água infiltrada na zona não saturada, J) Infiltração de efluente de fossa, K) Lançamento de efluente a céu aberto.**

Tabela 22: Dados de produção de poços e perdas por sistema de abastecimento e complexo de produção de água. \*Fonte: ARSAM (2012); \*\* Cálculo com 10% dos poços em atividade.

Origem da água	*Complexo de produção	*Produção média (m <sup>3</sup> /s)	*Produção média (m <sup>3</sup> /ano)	Perdas vazamento (48,6%) (m <sup>3</sup> /ano)	Água efetivamente consumida (51,4%) 0,8 (m <sup>3</sup> /ano)	Fossas 48% (m <sup>3</sup> /ano)	Área (km <sup>2</sup> )	Recarga (mm/ano)
Superficial	ETA Complexo ponta do Ismael	5,2	1,64x10 <sup>8</sup>	7,97x10 <sup>7</sup>	6,74x10 <sup>7</sup>	3,24x10 <sup>7</sup>	148,54	<b>536,53</b>
	ETA Mauazinho	0,2	6,31x10 <sup>6</sup>	3,07x10 <sup>6</sup>	2,59x10 <sup>6</sup>	1,24x10 <sup>6</sup>	19,97	<b>153,49</b>
	Ponta das Lajes	1,8	5,52x10 <sup>7</sup>	2,68x10 <sup>7</sup>	2,27x10 <sup>7</sup>	1,09x10 <sup>7</sup>	41,11	<b>652,37</b>
	<b>Total superficial</b>	<b>7,2</b>	<b>2,25x10<sup>8</sup></b>	<b>1,10x10<sup>8</sup></b>	<b>9,27x10<sup>7</sup></b>	<b>4,45x10<sup>7</sup></b>	<b>209,62</b>	
Subterrânea	CPA's - Poços	0,1	4,67x10 <sup>6</sup>	2,27x10 <sup>6</sup>	3,84x10 <sup>6</sup>	1,84x10 <sup>6</sup>	3,55	<b>639,64</b>
	<b>Total subterrânea</b>	<b>0,1</b>	<b>4,67x10<sup>6</sup></b>	<b>2,27x10<sup>6</sup></b>		<b>1,84x10<sup>6</sup></b>	<b>3,55</b>	
<b>Total</b>		<b>7,3</b>	<b>2,30x10<sup>8</sup></b>	<b>1,12x10<sup>8</sup></b>	<b>9,66x10<sup>7</sup></b>	<b>4,63x10<sup>7</sup></b>	<b>213,17</b>	



**Figura 25: Relação proposta para a recarga indireta, antrópica, para a área urbana de Manaus.**

A delimitação em ambiente SIG das áreas e tipo de cobertura de solo e sistema de abastecimento público de água são ilustrados na Figura 26, bem como os respectivos valores finais de recarga calculados. Esses valores foram divididos em intervalos conforme estabelecido no método para esse parâmetro. Os três grupos principais de taxa de recarga foram classificados por coloração e tonalidades distintas, conforme tabela de cores definidas para esse trabalho, sendo subdivididos em intervalo entre 101,6 e 177,8 mm/ano, entre 177,6 e 254 mm/ano e valores maiores que 254 mm/ano conforme apresentado na Tabela 23 e na Figura 27.

Dessa maneira, para a interpretação do parâmetro recarga no critério de avaliação DRASTIC da vulnerabilidade, foram calculados os valores referentes ao atributo, através da relação da taxa de recarga ( $R_r$ ) da área e o peso da categoria do atributo no DRASTIC ( $R_w$ ) conforme listado na Tabela 23.

Observa-se que a área urbana de Manaus apresenta predomínio de taxas de recarga médias a altas com valores superiores a 153,5 mm/ano. A maior taxa

calculada refere-se à recarga natural por infiltração de água de chuva que é de 963 mm/ano.

Na região central da área a taxa de recarga estimada é alta. Isso ocorre por influência dos sistemas de distribuição pública de água coincidentes com essa região e o valor alto encontrado reflete a grande influência da recarga artificial, que acontece devido às elevadas taxas de perda por vazamento e lançamento de efluentes.

A porção sudeste, referente ao sistema Mauzinho, apresentou taxa de recarga moderada porque, apesar de pertencer à área coberta pela distribuição pública de água, o volume de produção e distribuição é significativamente baixo. No entanto, embora não existam dados para quantificação imediata, estima-se que a taxa de recarga possa ser ligeiramente mais elevada, devido à utilização de poços tubulares para extração de água por particulares com posterior lançamento de efluentes em fossas.

É importante ressaltar que, apesar da taxa de recarga artificial ser alta, a recarga natural por infiltração de água de chuva em áreas com cobertura florestal, frente à alta pluviosidade da região, é superior, com taxa de recarga de no mínimo um terço mais elevada.

**Tabela 23: Intervalo de taxas de recarga com os respectivos índices relativos e valores do atributo obtidos para a área.**

<b>Recarga</b>		
<b>R (mm/ano)</b>	<b>Índices (R<sub>r</sub>)</b>	<b>R<sub>r</sub> * R<sub>w</sub></b>
101,6 - 177,8	6	24
177,8 - 254,0	8	32
>254,0	9	36
<b>Peso DRASTIC (R<sub>w</sub>)</b>	<b>4</b>	



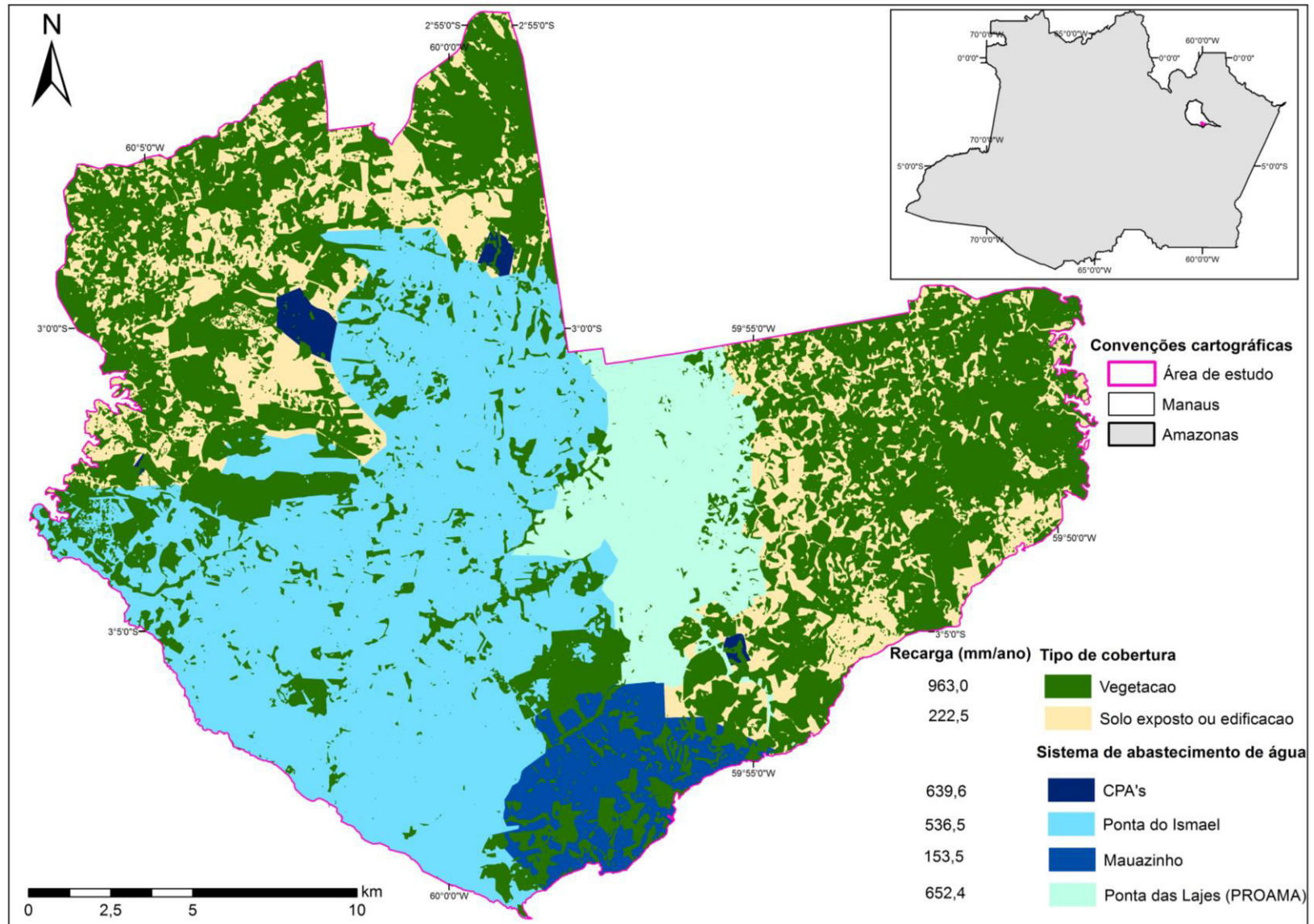


Figura 26: Mapa representativo da recarga para a cidade de Manaus.

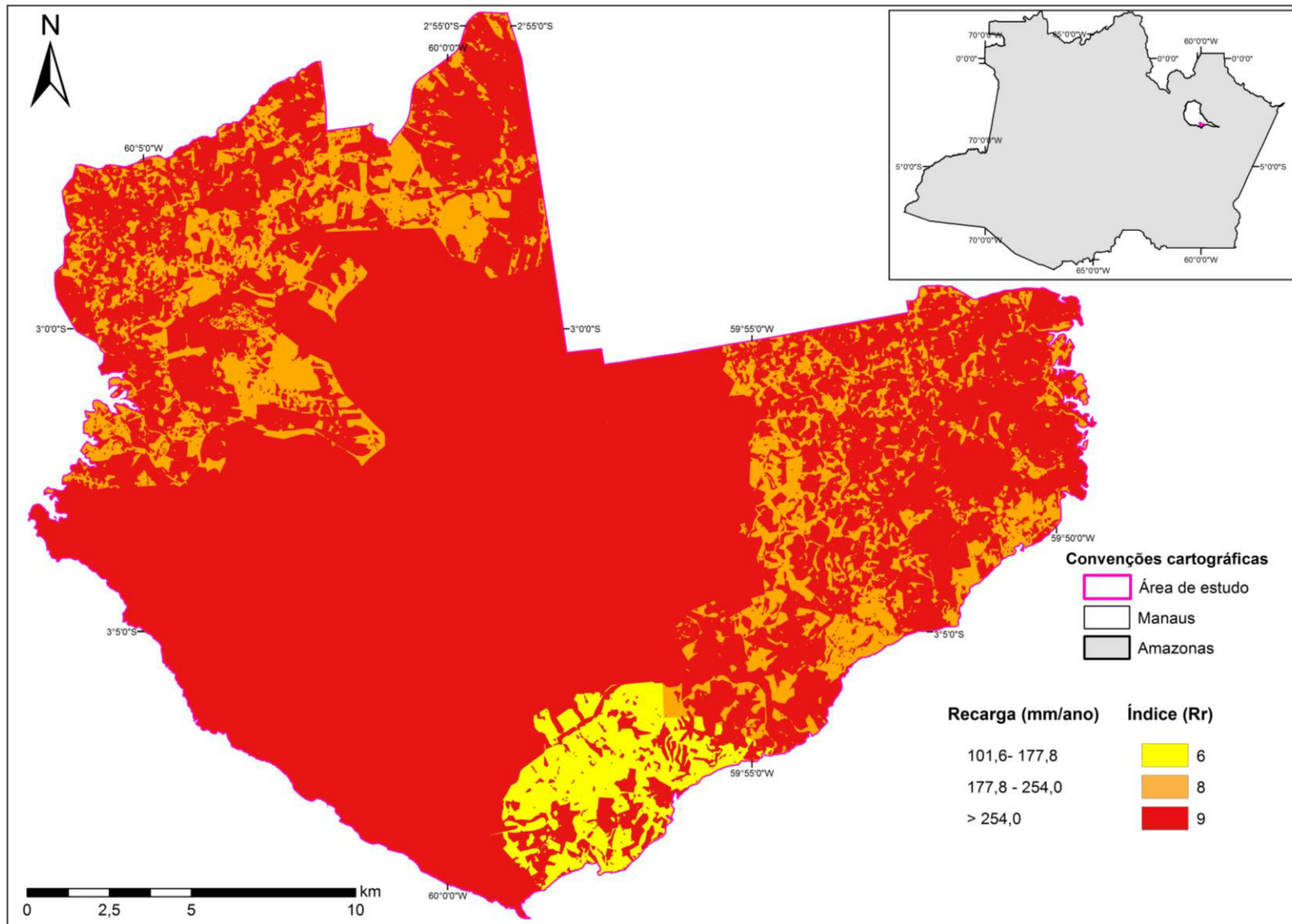
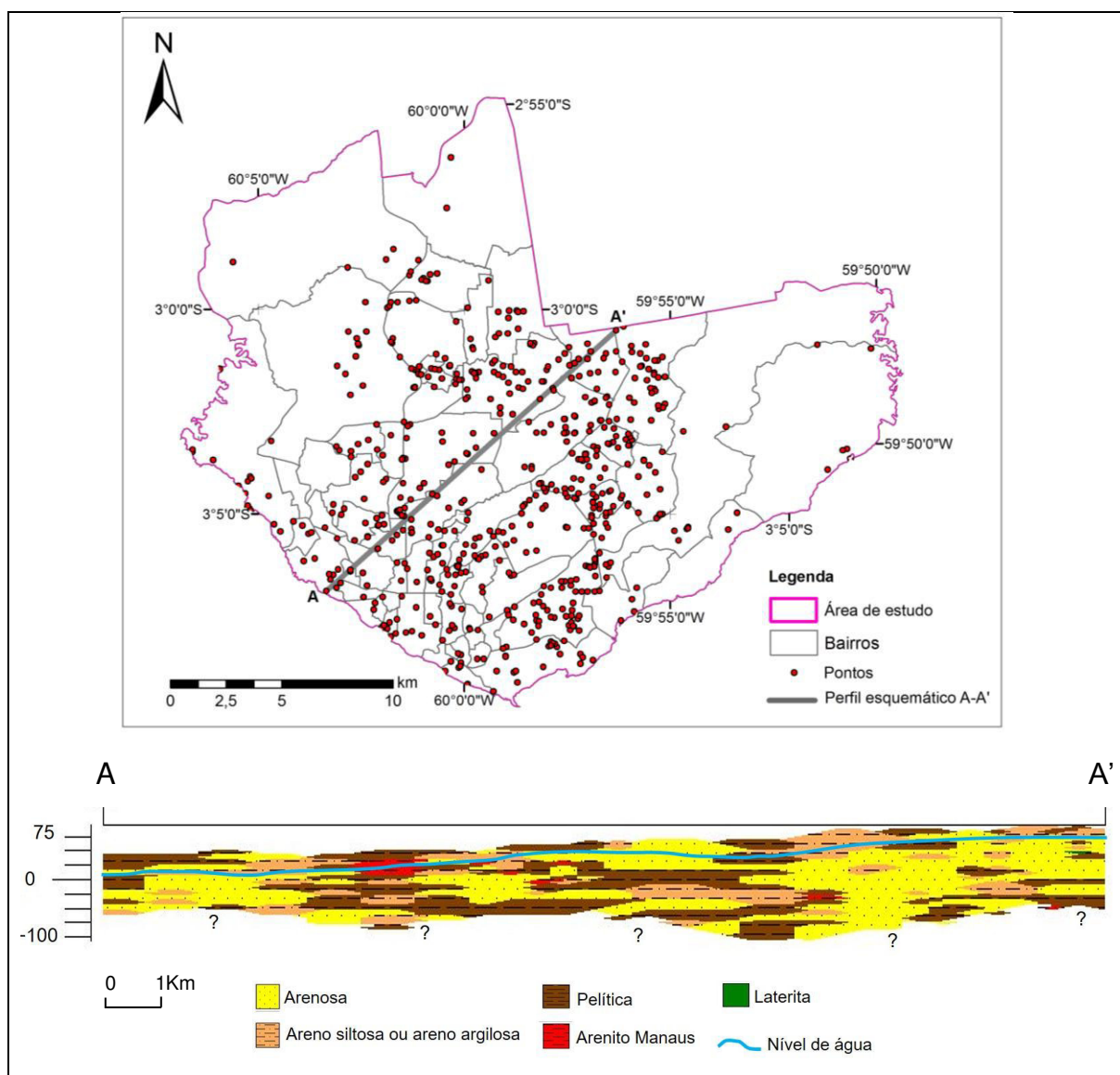


Figura 27: Mapa da taxa de recarga para a área urbana de Manaus.

### 4.3. Meio Aquífero (A)

A partir das informações de litologia de poços e furos de sondagem foi possível elaborar o perfil esquemático representativo da litologia da FAC na área estudada com indicação do nível de água para a caracterização do meio aquífero, conforme Figura 28. A superfície do perfil representa a interpolação dos valores de cota indicados nos pontos e, a linha de nível de água representa a interpolação dos valores de nível de água.



**Figura 28: Mapa da área de estudos com os pontos de informações litológicas plotados, direção e sentido do perfil litológico esquemático representativo. Perfil esquemático com informações da textura das camadas litológicas com as respectivas profundidades (m) e do nível de água subterrânea. Sendo A localizado no bairro da Compensa e A' localizado no bairro Cidade de Deus. O nome de todos os bairros pode ser visto na figura 40.**

No perfil típico apresentado, as unidades observadas são intercalações entre camadas de textura pelítica, areno siltosa ou areno argilosa e arenosa. Ressalta-se que pelo tipo de sistema de deposição que deu origem à formação Alter do Chão, que é principalmente fluvial entrelaçado e meandrante, as unidades litológicas representadas em perfil podem não ter persistência em outras direções. Também são observadas unidades pós deposicionais representadas pelo arenito silicificado (Arenito Manaus) e laterita.

O principal substrato para a condução da água no AAC identificado são as camadas arenosas. Para a adequação aos parâmetros característicos do método DRASTIC, que admitem para camadas arenosas valores entre 4 e 9, o valor adotado foi 7 (Tabela 24) por ser interpretado como representativo para uma situação média de arenitos com granulometria variável de fina a grossa. O mapa para esse parâmetro é apresentado na Figura 29.

**Tabela 24: Intervalo de índice com o respectivo índice relativo e valor do atributo obtido para o parâmetro Meio Aquífero (A) para metodologia DRASTIC**

<b>Meio Aquífero</b>		
<b>Descrição geológica</b>	<b>Índice (<math>A_r</math>)</b>	<b><math>A_r * A_w</math></b>
Arenoso	7	21
<b>Peso DRASTIC (<math>A_w</math>)</b>	<b>3</b>	

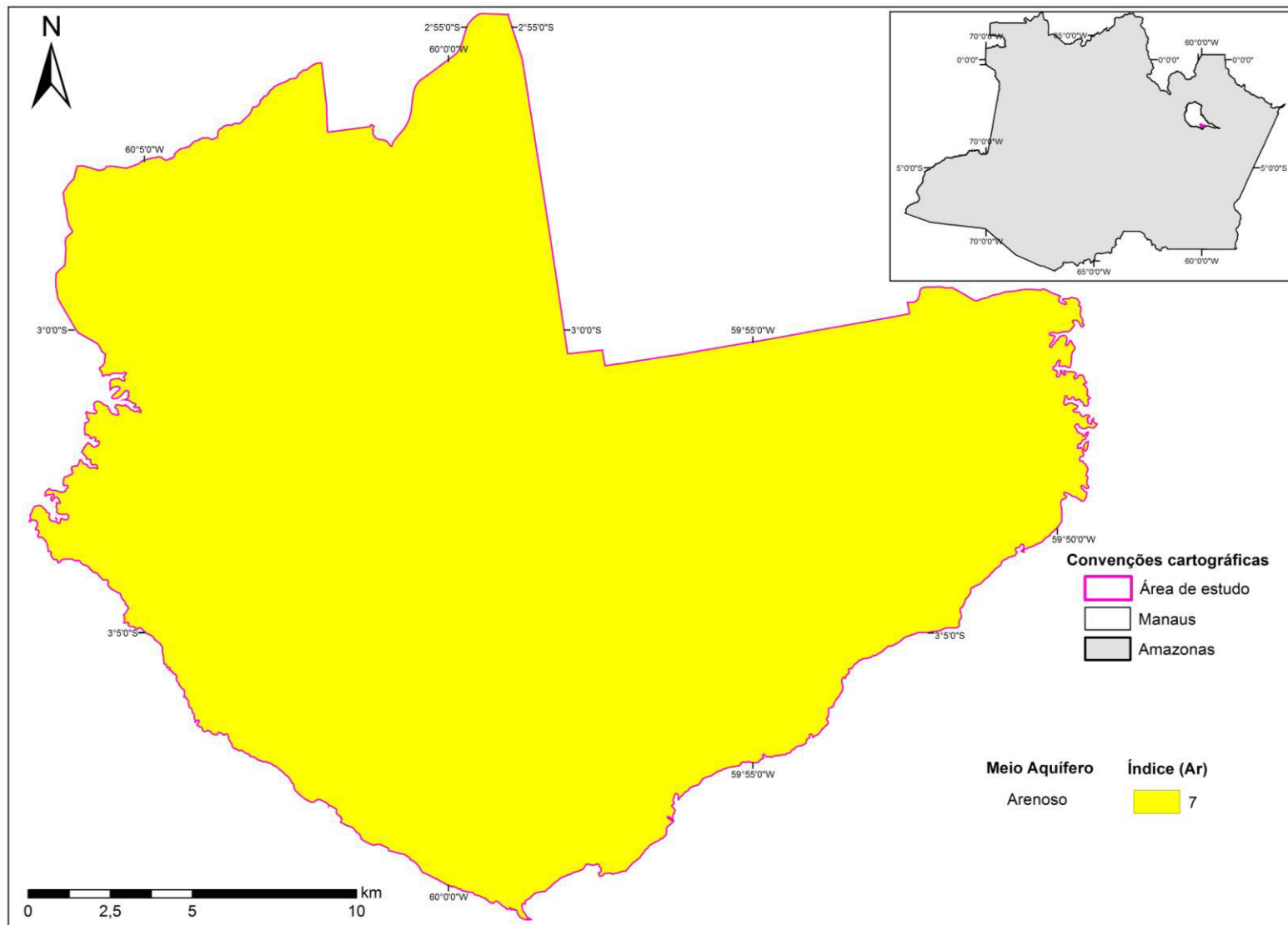


Figura 29: Mapa para o meio aquífero principal da área urbana de Manaus e o respectivo índice de classificação DRASTIC.

#### 4.4. Solos (S)

A partir da compilação dos mapas e perfis propostos por Prado (2004), de escala 1:100.000, e Roque (2006), 1:25.000, foi possível a elaboração do mapa de solos para a área de estudos. Os perfis descritos nos trabalhos desses dois autores foram interpretados e, com base no diagrama textural do IBGE (2007), foi feita a classificação qualitativa, conforme ilustrado na Figura 30 e descrito na Tabela 25. As unidades de solos (Figura 31) foram classificadas principalmente como franco-argilosas e franco-arenosas (Figura 32).

Dessa forma, para a interpretação do parâmetro solos no critério de avaliação DRASTIC da vulnerabilidade, foram calculados os valores referentes ao atributo, através da multiplicação do índice do tipo de solo ( $S_r$ ) da área e o peso da categoria do atributo no DRASTIC ( $S_w$ ) conforme listado na Tabela 26.

As áreas cujo solo é franco-arenoso apresentaram índice de vulnerabilidade mais altos em comparação às áreas com solo franco-argiloso. Isto ocorre porque substratos arenosos permitem a passagem da água e eventual contaminante mais facilmente que substratos argilosos.

As áreas cujo solo é franco argiloso estão associadas, predominantemente, a terrenos de platôs distribuídos, enquanto as áreas de solos franco arenosos representam, principalmente, vales e taludes. Exceção é observada no extremo norte da área, que representa uma região mais elevada topograficamente, porém o substrato de solo é franco-arenoso.

**Tabela 25: Descrição sucinta das unidades de solos caracterizadas por \*Prado (2004) e por \*\*ROQUE (2006) para a área urbana de Manaus e a classificação adotada para adequação dos substratos a classificação definida no método DRASTIC.**

<b>Sigla</b>	<b>Nome</b>	<b>Descrição do solo superficial (&lt; 2 m)</b>	<b>Classificação</b>
*Pps	Platô com superfície plana	Argilas amarelas a vermelhas	Franco argiloso
*Plw	Platô com superfície levemente ondulada	Argilas amarelas a vermelhas	Franco argiloso
*Pfr	Fragmento de platô	Argila arenosa	Franco arenoso
*Sp	Superfície de ligação entre platôs	Argilas amarelas a vermelhas	Franco argiloso
*Ta	Terraço aluvionar	Argila arenosa	Franco arenoso
*Hcx	Encosta convexa	Argilas vermelhas a amarelas	Franco argiloso
*Hp	Encosta plana	Argilas amarelas a vermelhas	Franco argiloso
*Hcv	Encosta côncava	Argilas amarelas a vermelhas	Franco argiloso
*HcxBcv	Encosta convexa com base côncava	Argila arenosa vermelha a branca	Franco arenoso
*HpTcx	Encosta plana com topo convexo	Argilas amarelas a vermelhas	Franco argiloso
*HcvBcx	Encosta côncava com base convexa	Argilas amarelas a vermelhas	Franco argiloso
*Hdr	Cabeceira de drenagem	Argila arenosa amarela a branca	Franco arenoso
*Pfl	Planície de inundação	Argila arenosa	Franco arenoso
*Dva	Fundo de vale	Argila arenosa amarela e areia branca a média	Franco arenoso
**C-12	Colina de topo convexo	Argiloso ou argilo siltoso	Franco argiloso
**T-22-3	Interflúvios tabulares com vales de fundo chato	Podzols de textura arenosa e comportamento não-laterítico	Franco arenoso
**T-31-1	Feições de relevo desenvolvidos ao longo dos rios	Areia-argilosa a argila-siltosa de comportamento laterítico	Franco arenoso
**T-32-2	Interflúvios na forma de platôs	Podzol-hidromórficos e areias quartzosas com textura areno-argilosa de comportamento não-laterítico	Franco arenoso

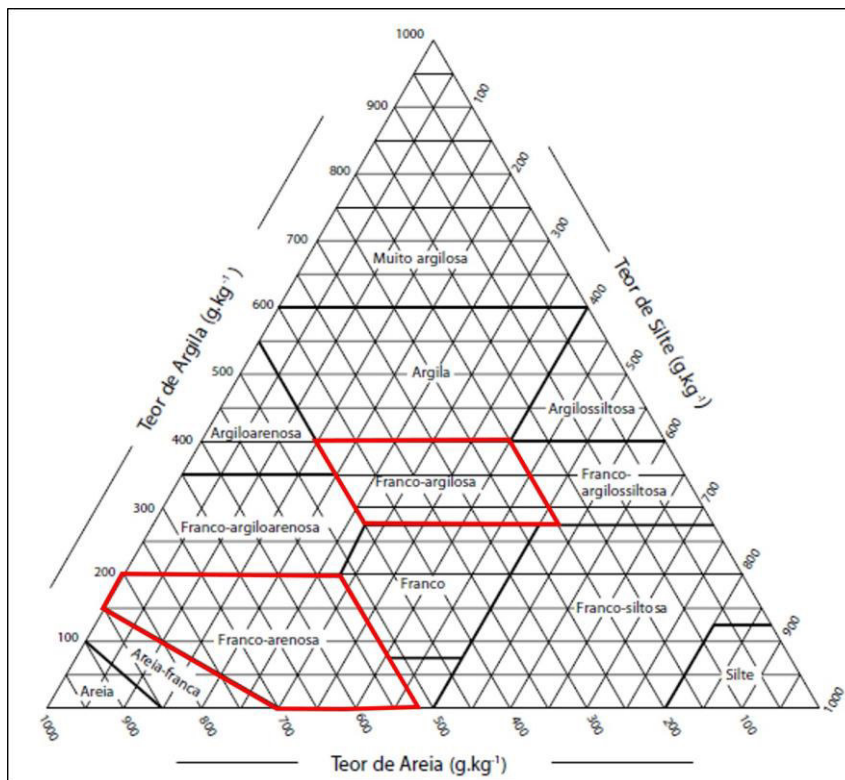


Figura 30: Diagrama textural com realce em vermelho das texturas interpretadas para o solo da área de estudos. Adaptado de IBGE (2007).

Tabela 26: Intervalo de índice de solos com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para o parâmetro Solo (S) e índices relativos para metodologia DRASTIC

Composição do solo	Índice (S <sub>r</sub> )	S <sub>r</sub> * S <sub>w</sub>
Franco argiloso	3	6
Franco arenoso	6	12
<b>Peso DRASTIC (S<sub>w</sub>)</b>	<b>2</b>	



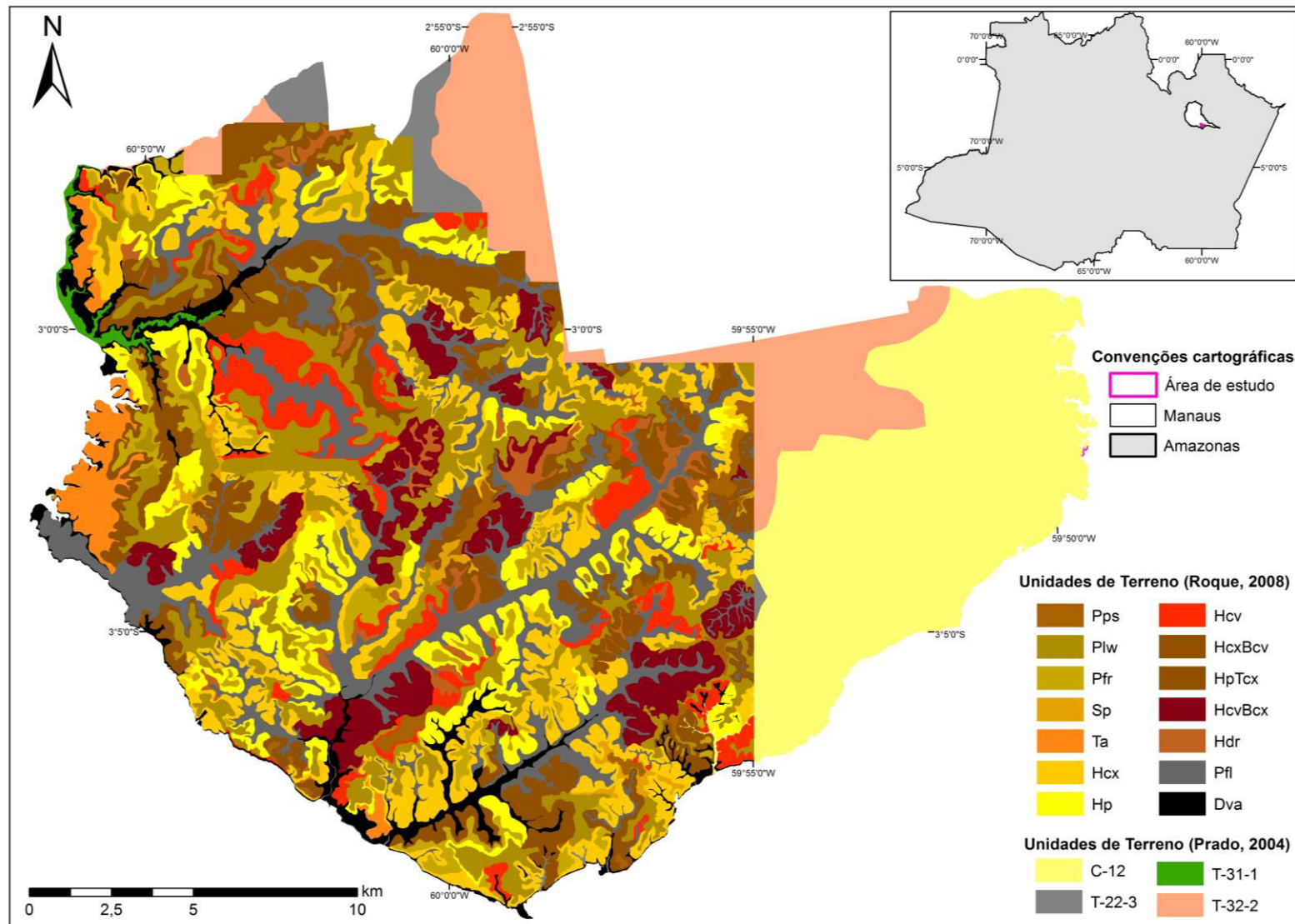


Figura 31: Mapa de fácies de solos para a área estudada, junção dos mapas de Prado (2004) e Roque (2006).

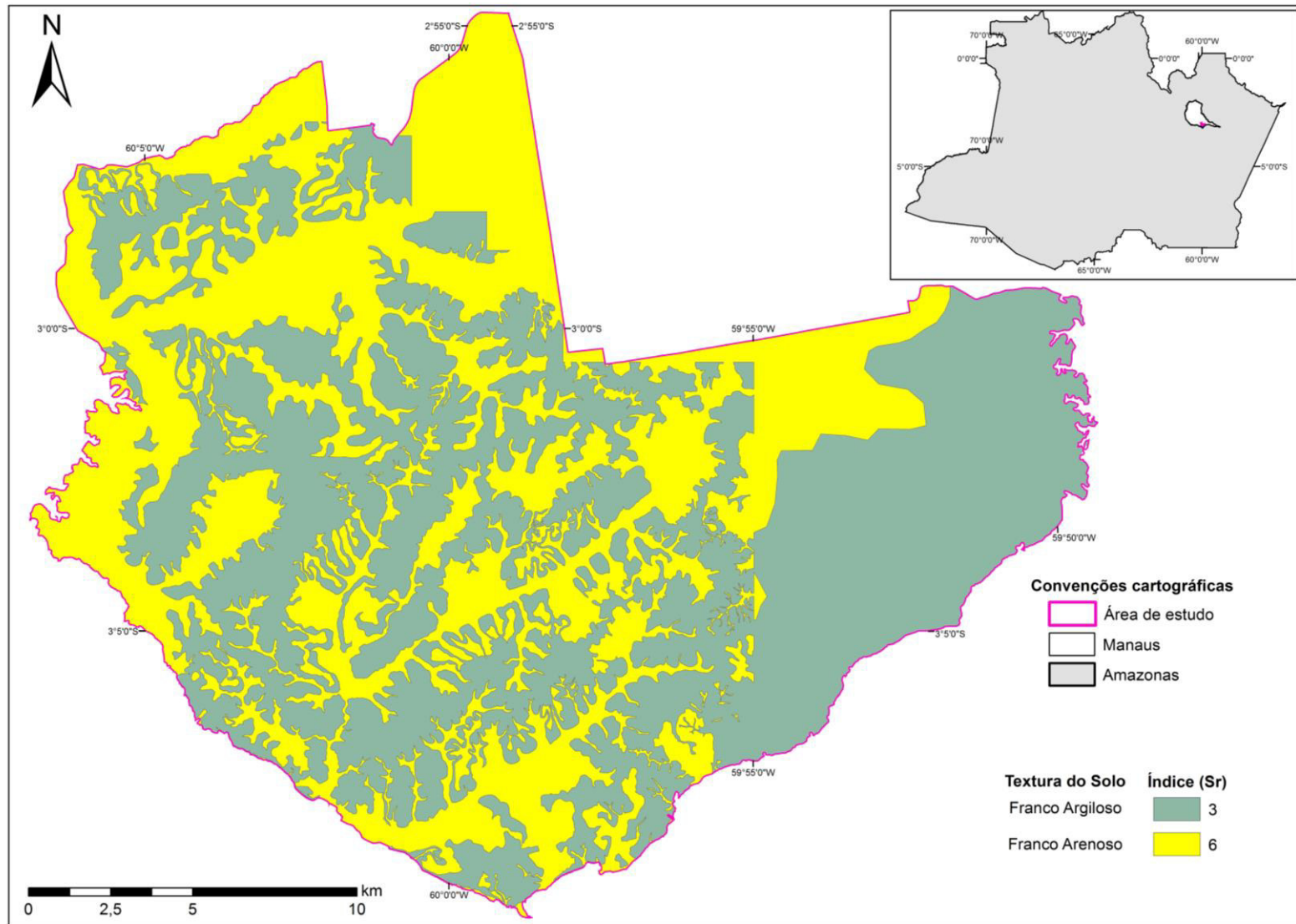


Figura 32: Mapa de índices DRASTIC para solos.

#### 4.5. Topografia (T);

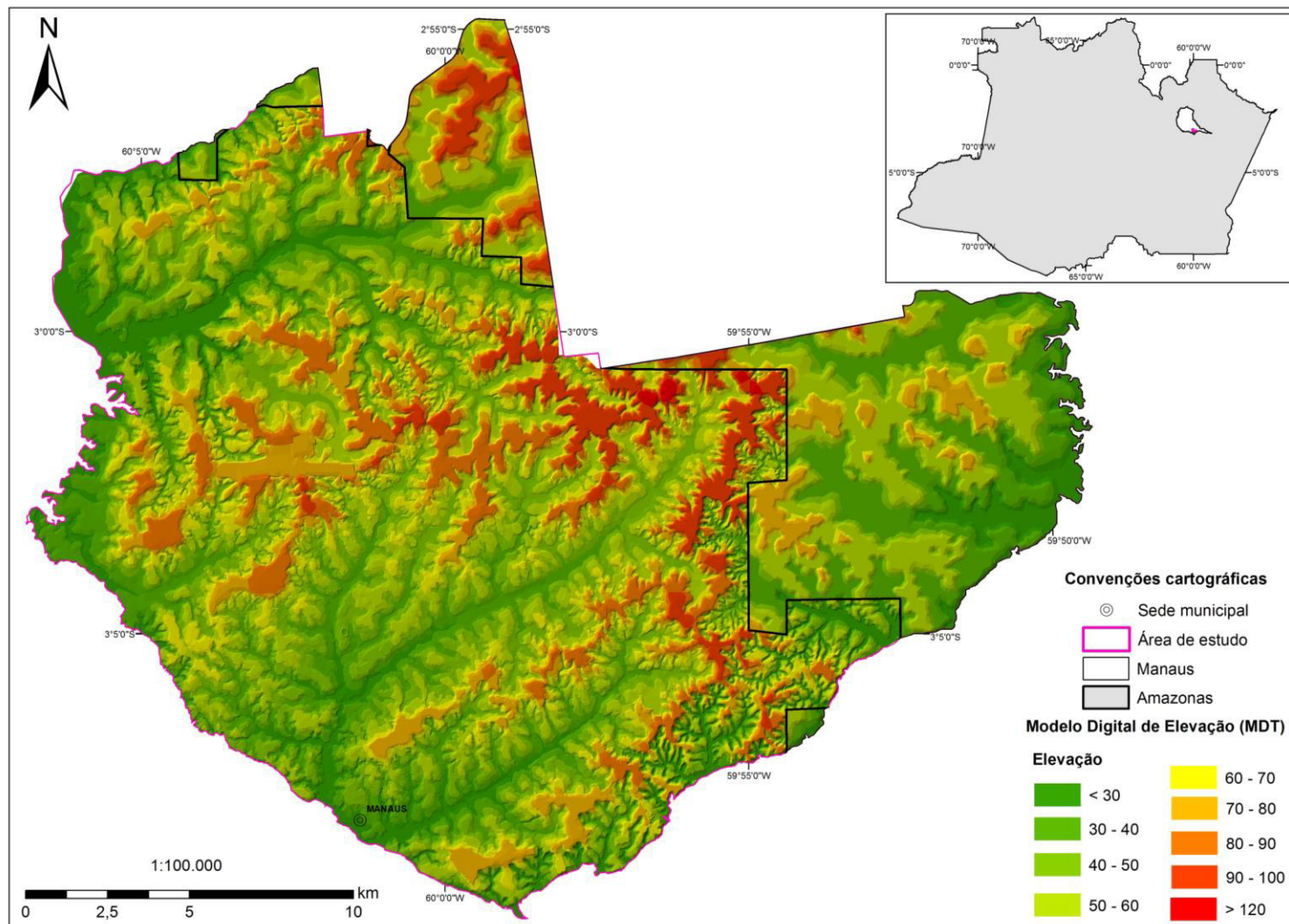
Os valores de elevação do terreno foram divididos em oito grupos principais de altitudes e classificados por coloração e tonalidades distintas, sendo subdivididos em altitudes inferiores a 30 m, entre 30 e 40 m, entre 40 e 50 m, entre 50 e 60 m, entre 60 e 70m, entre 70 e 80 m, entre 80 e 90 m, entre 90 e 100 m e para valores maiores que 100 m (Figura 33). A partir das bases topográficas e modelo digital de elevação (MDE), foi gerado o mapa de declividades da área em porcentagem, subdivididas em cinco categorias, tais como: menor que 2%, entre 2 e 6 %, entre 6 e 12%, entre 12 e 18% e maior que 18%. Conforme ilustrado na Figura 34, observa-se o predomínio de baixas declividades

Dessa forma, para a interpretação do parâmetro topografia no critério de avaliação DRASTIC da vulnerabilidade, foram calculados os valores referentes ao atributo, através da multiplicação do índice da declividade ( $T_r$ ) da área e o peso da categoria do atributo no DRASTIC ( $T_w$ ) conforme listado na Tabela 27.

Observa-se que a área urbana da cidade de Manaus apresenta predomínio de declividades baixas a médias, geralmente abaixo de 12% em todas as áreas. Declividades altas ocorrem restritas nas encostas de platôs.

**Tabela 27: Intervalo de declividades para determinação do parâmetro topografia, com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para a área**

Topografia (% declividade)		
Declividade (%)	Índice ( $T_r$ )	$T_r * T_w$
> 18	1	1
12 - 18	3	3
6 - 12	5	5
2 - 6	9	9
0 - 2	10	10
<b>Peso DRASTIC (<math>T_w</math>)</b>	<b>1</b>	



**Figura 33: Modelo Digital de Elevação (MDE) para a área de estudos. As áreas do extremo norte e extremo leste do mapa foram interpoladas com curvas de nível de menor resolução (20 m) em relação às demais áreas com curvas de nível de 5 m. O limite entre as diferentes resoluções está indicada pela linha preta do mapa.**

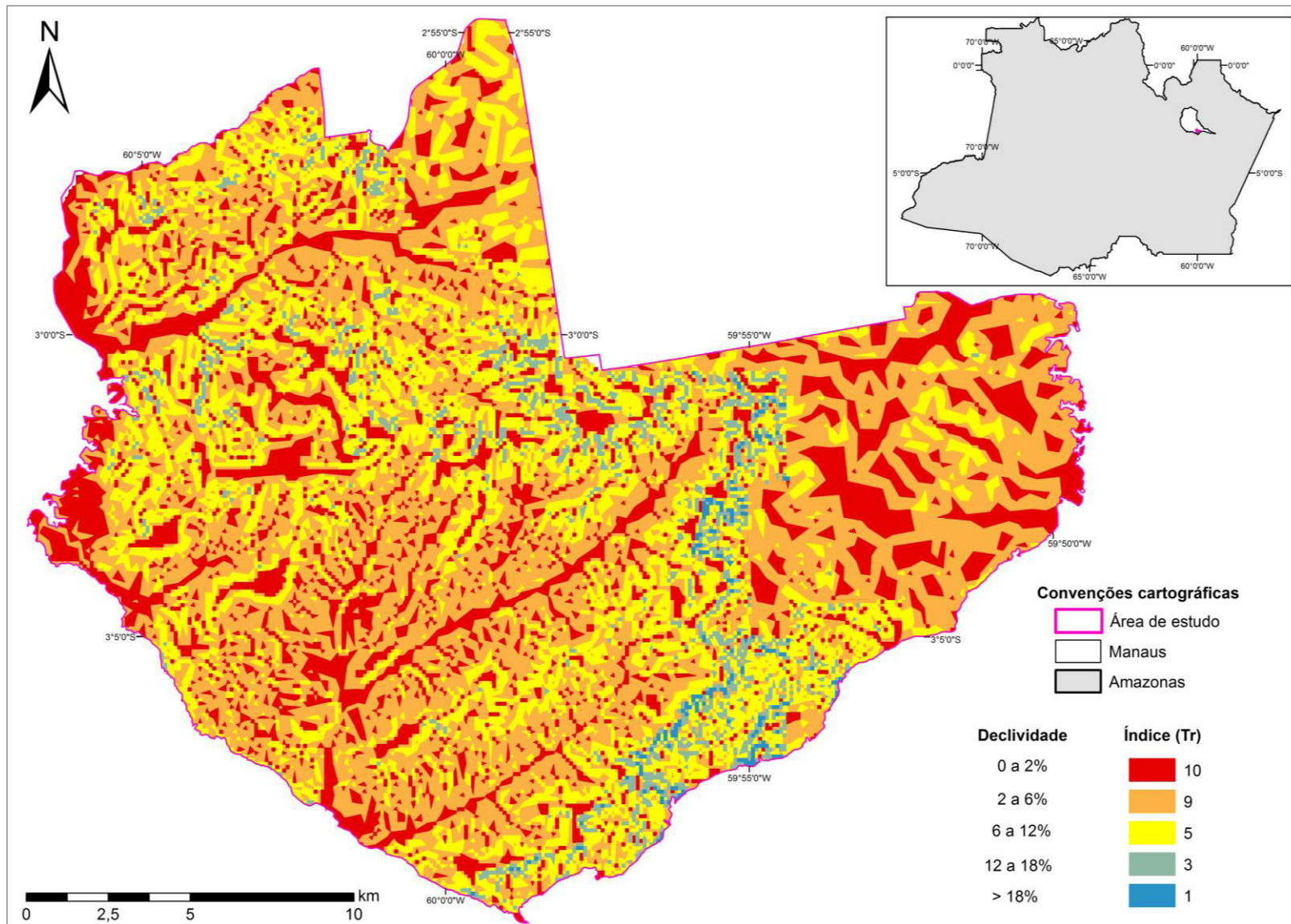


Figura 34: Mapa de índices do parâmetro Topografia (T) para o cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC.

#### 4.6. Zona não saturada (I)

De acordo com a análise, consistência e padronização dos dados de descrição litológica de poços, foram definidos os substratos predominantes na zona não saturada em toda a área de estudos. Os substratos foram adequados aos estabelecidos para esse parâmetro no método DRASTIC, em que unidades mais pelíticas representam menor vulnerabilidade, enquanto que valores mais arenosos representam maior vulnerabilidade. Dessa forma, foram calculados os valores referentes ao atributo, através da multiplicação do índice da zona não saturada ( $I_r$ ) da área e o peso da categoria do atributo no DRASTIC ( $I_w$ ) conforme listado na Tabela 28.

A Figura 35 apresenta o mapa de índices do parâmetro zona não saturada. De forma geral, observa-se a predominância de camadas areno silto argilosas distribuídas por toda a área. Substratos predominantemente arenosos ocorrem nas áreas noroeste, sudeste e centro sul. Já os substratos predominantemente pelíticos ocorrem a norte, a sudoeste e a noroeste da área e maneira menos expressiva nas porções centrais.

**Tabela 28: Intervalo de substratos da zona não saturada com os respectivos índices relativos e valores do atributo obtidos para a área.**

Zona não saturada		
Intervalos	Índices ( $I_r$ )	$I_r * I_w$
Pelítica	5	25
Areno silto argiloso	6	30
Arenosa	7	35
<b>Peso DRASTIC (<math>I_w</math>)</b>	<b>5</b>	

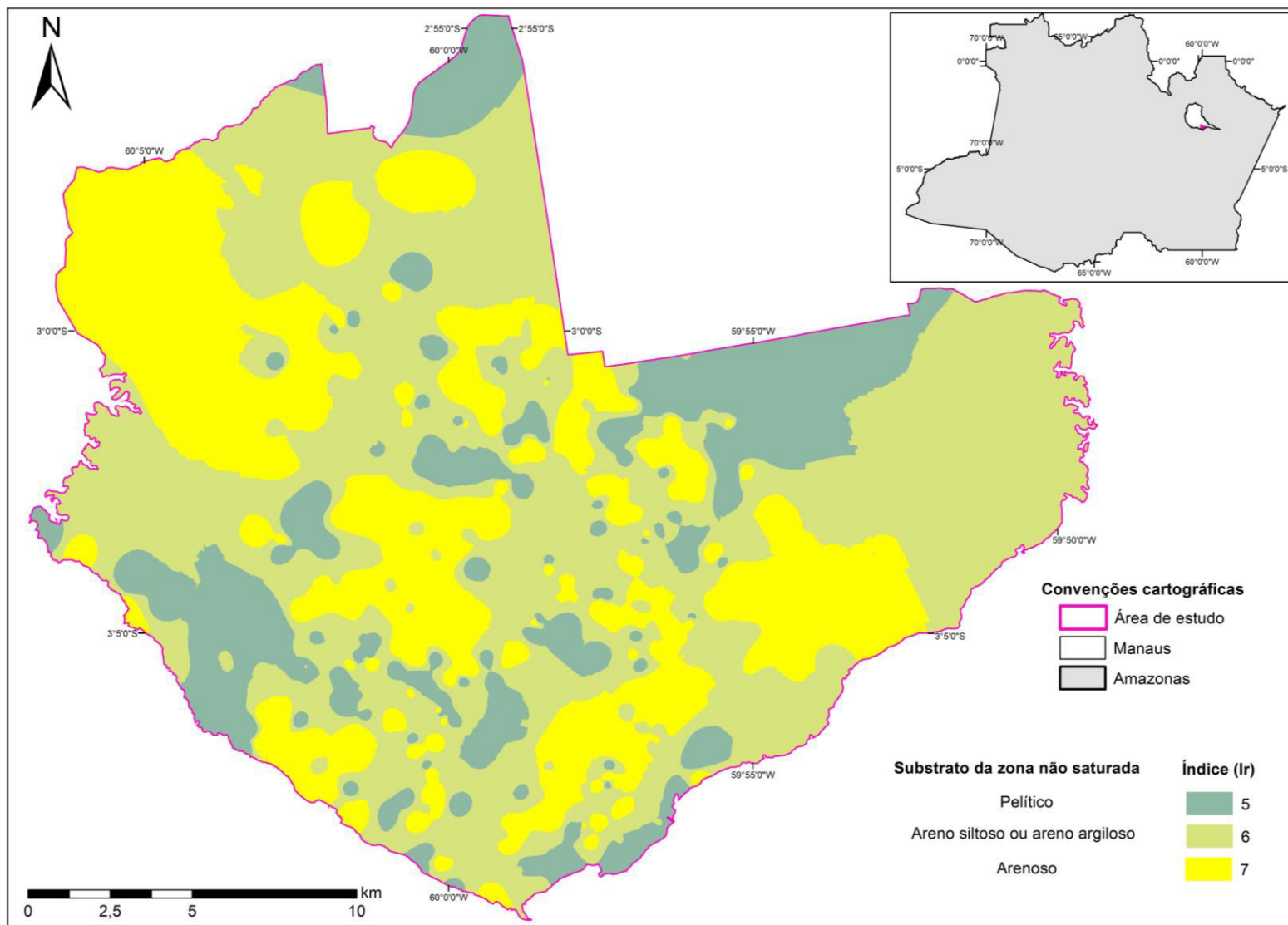


Figura 35: Mapa de índices do parâmetro zona não saturada (I) para o cálculo do índice de vulnerabilidade DRASTIC.

#### 4.7. Condutividade Hidráulica (C)

A partir dos valores de transmissividade disponibilizados por AGUIAR (2002), a condutividade hidráulica foi calculada para a área urbana de Manaus. Para se comparar os valores calculados com os teóricos apresentados para alguns dos principais tipos litológicos, foi utilizado o gráfico de Freeze e Cherry (1979) (Figura 36), onde a faixa representativa dos valores obtidos, na ordem de grandeza de  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  m/s, foi destacada em cinza. Verifica-se que a condutividade hidráulica obtida é compatível com os valores teóricos sugeridos para o substrato litológico de silte, areia siltosa e areia pura e corroboram com os tipos litológicos descritos para o AAC na cidade de Manaus.

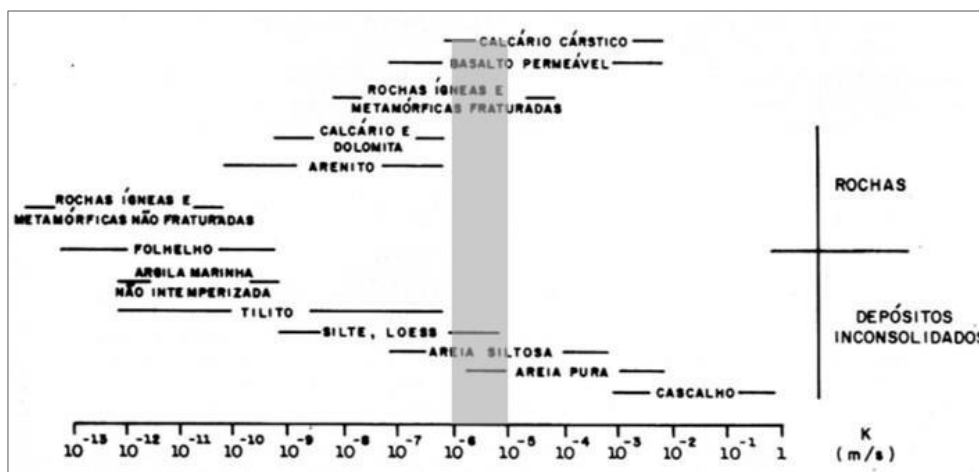
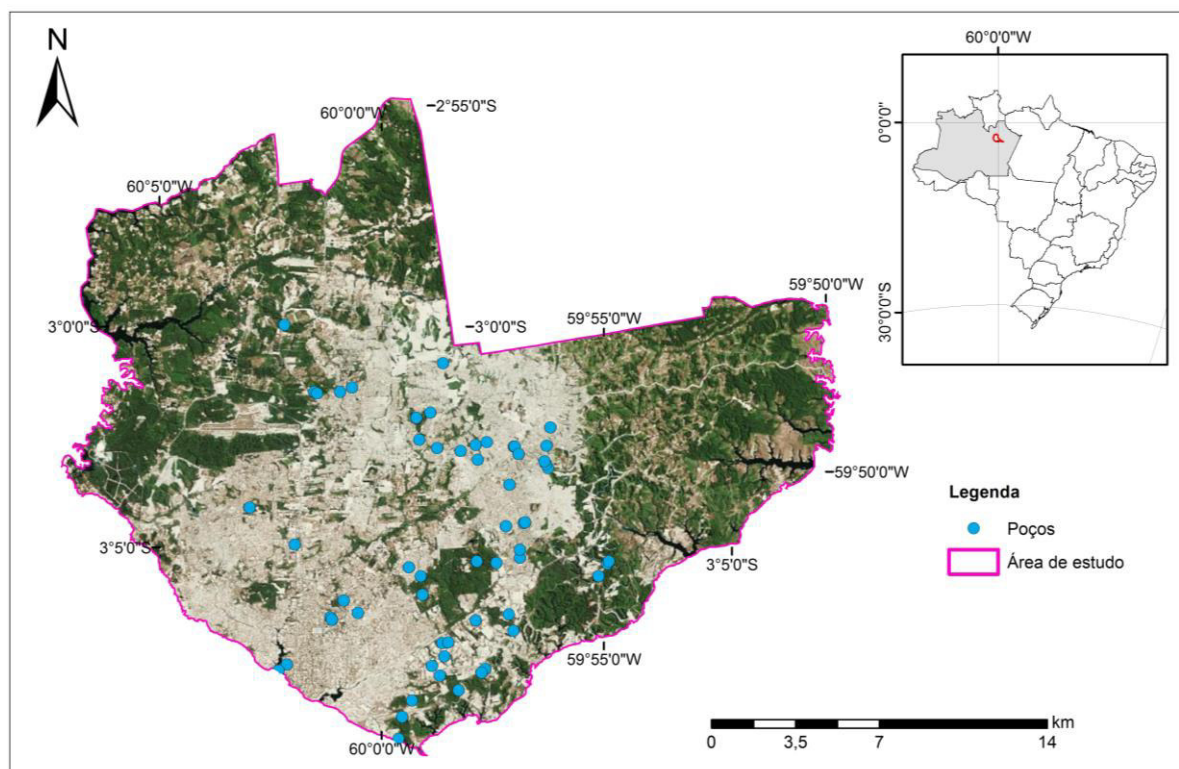


Figura 36: Condutividade hidráulica das unidades litológicas. Adaptado de Freeze e Cherry (1979)

A localização dos poços com informações de condutividade hidráulica calculada e que foram utilizados na elaboração do mapa deste parâmetro é apresentada na Figura 37 e, a tabela contendo todas as informações é apresentada no Apêndice B.

Na interpretação do parâmetro condutividade hidráulica no critério de avaliação DRASTIC da vulnerabilidade, foram calculados os valores referentes ao atributo, através da multiplicação do índice da condutividade ( $C_r$ ) da área e o peso da categoria do atributo no DRASTIC ( $C_w$ ) (Tabela 29). Conforme ilustrado na Figura 38 os valores de condutividade são predominantemente inferiores a 4,1 m/dia, e localmente nas regiões sudoeste e central da área foram caracterizadas como ligeiramente superiores, com valores entre 4,1 e 12, 2 m/dia.





**Figura 37: Mapa de pontos utilizados para interpolação e definição do mapa de condutividade hidráulica.**

**Tabela 29: Intervalo de condutividade hidráulica com os respectivos índices relativos e valor do atributo obtidos para a área**

Condutividade hidráulica		
C (m/d)	Índices ( $C_r$ )	$C_r * C_w$
< 4,1	1	3
4,1 - 12,2	2	6
<b>Peso DRASTIC (<math>C_w</math>)</b>	<b>3</b>	

Os obtidos nesse trabalho representam valores médios para a área, e pontualmente podem não ser precisos por conta da grande variação que este parâmetro pode possuir. Os dados primários de teste de bombeamento utilizados para a determinação dos valores de transmissividade são uma extrapolação de dados gerados em testes de bombeamento, cuja finalidade era a escolha do melhor posicionamento para a instalação da bomba e, não a determinação os parâmetros hidrodinâmicos para o aquífero. No entanto, os resultados obtidos mostraram-se compatíveis aos valores teóricos para as litologias descritas na área, e assim adequados para compor o mapeamento de vulnerabilidade intrínseca.

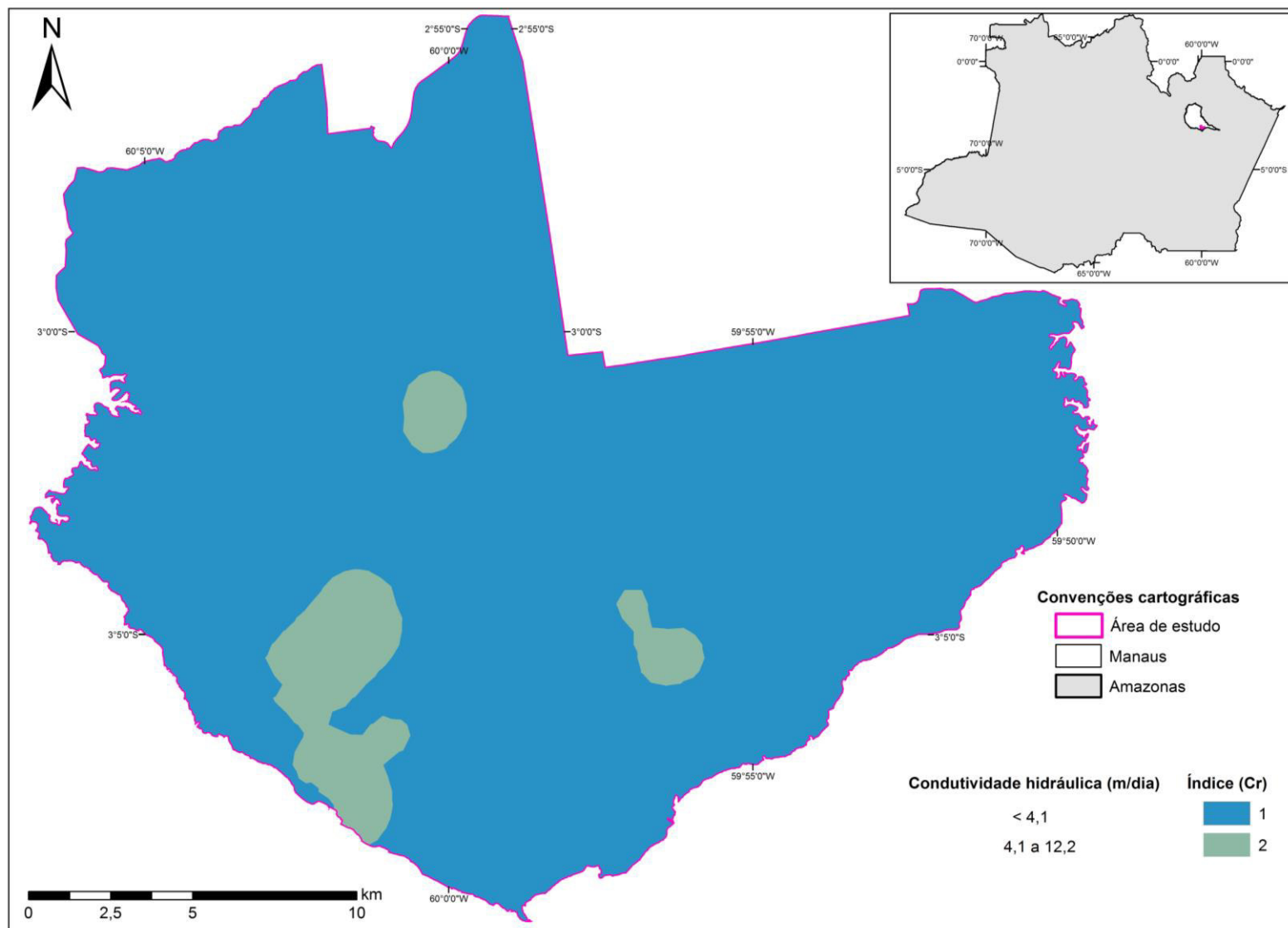


Figura 38: Mapa para a condutividade hidráulica média da cidade de Manaus e índice de classificação DRASTIC para esse parâmetro.

#### 4.8. DRASTIC

Dados os parâmetros físicos e hidrodinâmicos descritos anteriormente, e a aplicação da equação do método DRASTIC, foi possível a elaboração do mapa de vulnerabilidade intrínseca do AAC na cidade de Manaus, utilizando SIG. A matriz do cálculo para a área de estudos é mostrada na Tabela 30. Para cada parâmetro foram listados os valores máximos e mínimos de índice bem como seu resultado final, além dos valores máximos e mínimos possíveis e os efetivamente obtidos para o índice DRASTIC nesse estudo.

Os valores possíveis mínimos e máximos representam situações em que no pixel de saída do índice final DRASTIC, todos os parâmetros individuais teriam valores mínimos ou máximos respectivamente, enquanto que os valores efetivos representam a combinação real encontrada para o índice final de saída. A integração de todos os parâmetros hidrodinâmicos resultou no mapa final de vulnerabilidade, sendo os resultados obtidos classificados em escala de cores que representam os distintos graus de vulnerabilidade definidos no método (Figura 39).

Alguns parâmetros têm mais influência do que os demais. Os resultados de vulnerabilidade muito baixa, presentes nas zonas sul e sudeste da cidade, foram fortemente influenciadas pelas altas (maiores que 22,9 m) profundidade do nível de água (peso 5 no cálculo) e pelos baixos valores (153,5 mm/ano) calculados para a recarga da área (peso 4 no cálculo). Ressalta-se que a taxa de recarga foi calculada apenas utilizando os dados de abastecimento público do sistema Mauzinho, mas nesta estão concentradas indústrias que utilizam poços de captação de água subterrânea e, portanto, parte do efluente gerado pode contribuir com a recarga do aquífero. Dessa maneira, a taxa de recarga dessa região provavelmente foi subestimada. Como a recarga tem forte influência sobre o índice de vulnerabilidade, ela provavelmente está subestimada na área.

Os resultados para vulnerabilidade moderada e alta na porção noroeste e central foram influenciadas, mais fortemente, por valores de nível de água raso concomitantemente com camada de solo e zona não saturada com substratos predominantemente arenosos.

Cerca de 1,28% da área foi classificada como de vulnerabilidade muito baixa, 40,01% como de vulnerabilidade baixa, 57,36% como de vulnerabilidade moderada leve, 1,34% como de vulnerabilidade moderada e 0,01% como de vulnerabilidade alta.

Destaca-se que as áreas de vulnerabilidade baixa e moderada leve predominam na área de estudos e se distribuem por toda a área, enquanto áreas classificadas como de vulnerabilidade muito baixa concentram-se na parte sul e sudeste. Já as áreas de vulnerabilidade moderada concentram-se na porção noroeste e central e, e as áreas de vulnerabilidade alta localizam-se na porção noroeste.

**Tabela 30: Matriz do cálculo do índice DRASTIC com os valores máximos e mínimos para índices, parâmetro e índice final do AAC na cidade de Manaus.**

	Peso (w)	Índice (r) mínimo	Índice (r) máximo	(w*r) mínimo	(w*r) máximo
<b>D</b>	5	1	9	5	45
<b>R</b>	4	6	9	24	36
<b>A</b>	3	7	7	21	21
<b>S</b>	2	3	6	6	12
<b>T</b>	1	1	10	1	10
<b>I</b>	5	5	7	25	35
<b>C</b>	3	1	2	3	6
Valores possíveis				85	165
<b>Valores obtidos</b>				<b>87</b>	<b>162</b>

Na Figura 40, cujo mapa de vulnerabilidade com sobreposição da delimitação dos bairros é apresentado, observa-se que as áreas com índice de vulnerabilidade alta estão presentes nos bairros Tarumã-Açu e Lago Azul. Áreas com vulnerabilidades moderadas são observadas nos bairros Aleixo, Parque 10 de novembro, Tarumã-Açu, Lago Azul e no extremo sul do bairro São Jorge. Destaca-se que parte da área indicada como vulnerabilidade moderada no bairro Lago Azul é coincidente com o Aterro Sanitário de Manaus e que parte da área indicada como vulnerabilidade moderada no bairro Parque 10 de Novembro abrange parte da área delimitada do Parque do Mindu.

Já as áreas indicadas com vulnerabilidade muito baixa ocorrem nos bairros Distrito Industrial I, Mauzinho, Vila Buriti e Colônia Antônio Aleixo. Conforme citado anteriormente, para esta área o índice gerado pode estar subestimado, por conta da ausência de dados de extração de água por poços particulares.

Para gerar o mapa de vulnerabilidade, as informações acerca da profundidade do nível de água, características da zona não saturada e condutividade hidráulica foram definidas a partir da interpolação de pontos (Figura 41), enquanto que as informações acerca de recarga, meio aquífero, solos e topografia abrangem toda a

área de estudos. Dessa forma, nas áreas leste, oeste e extremo norte, pela baixa densidade de dados utilizados, o mapa final gerado apresenta menor confiabilidade, podendo apresentar vulnerabilidade distinta do apresentado. Assim, o mapa de vulnerabilidade apresentado representa uma escala regional, e foi elaborado com base em dados disponíveis até 2015. Recomenda-se que para o planejamento e implantação de projetos de uso e ocupação do solo sejam realizados estudos em escala de maior detalhe, adequados ao tipo de empreendimento, seus potenciais poluidores e a lei vigente.

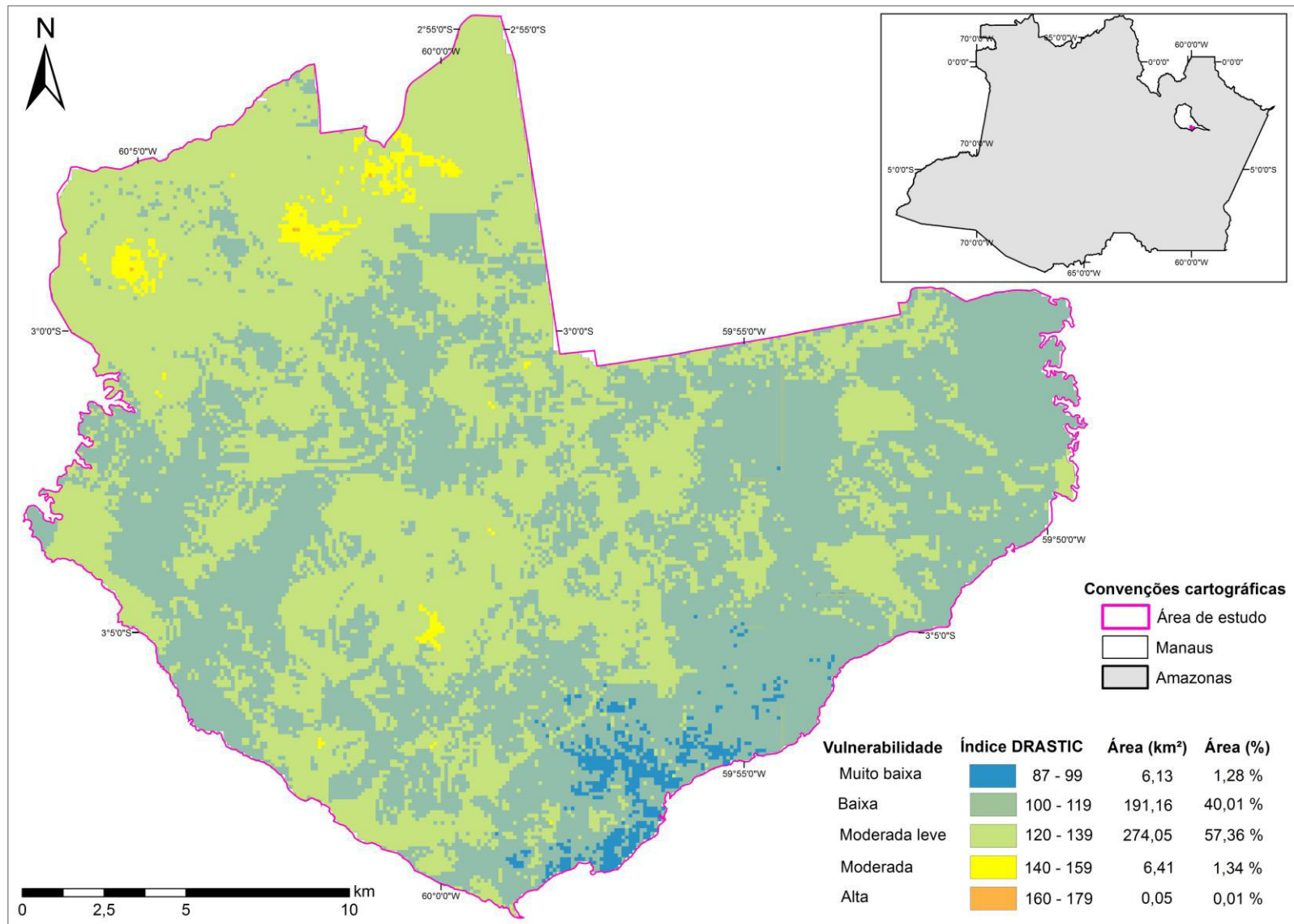


Figura 39: Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRASTIC.

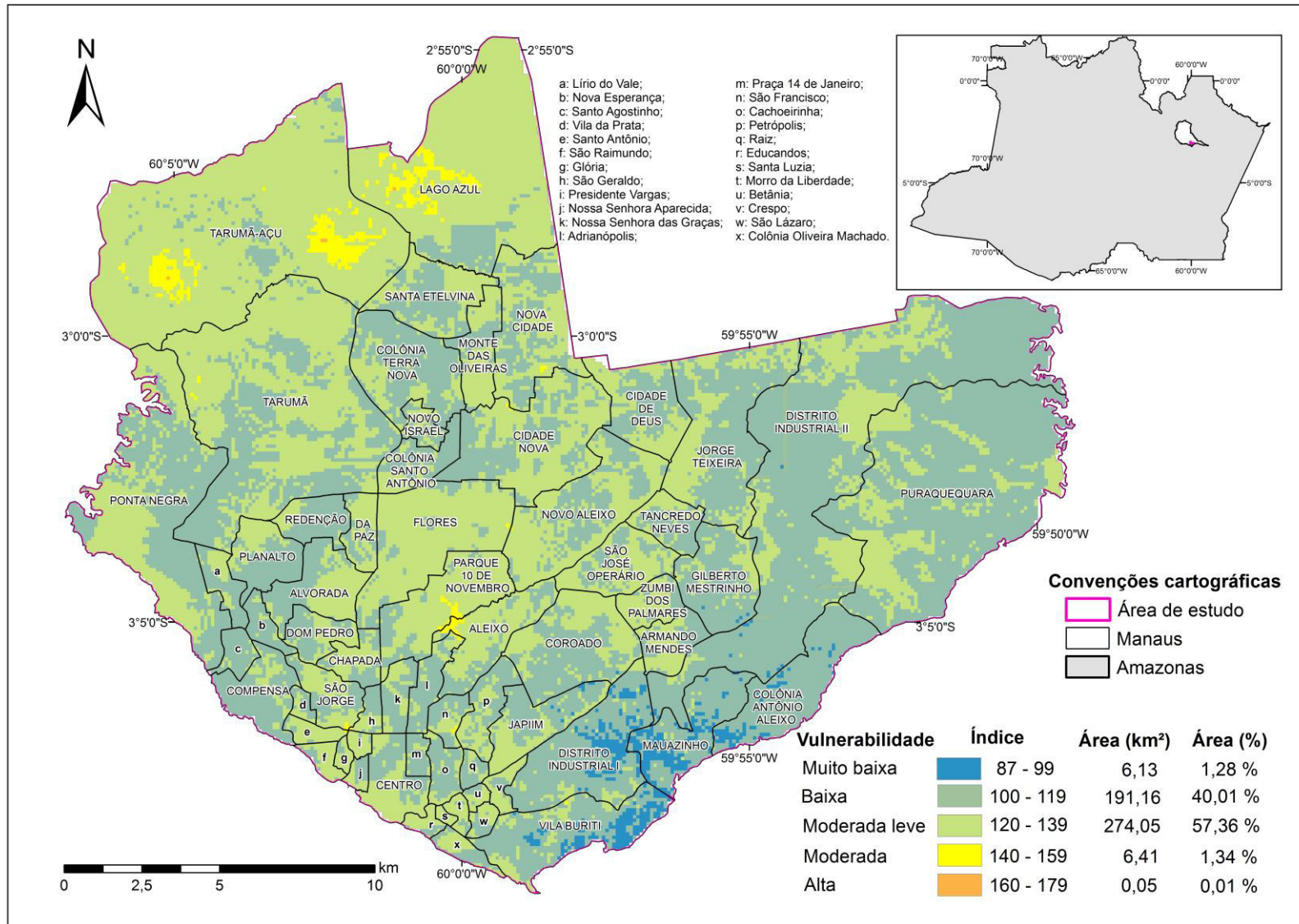
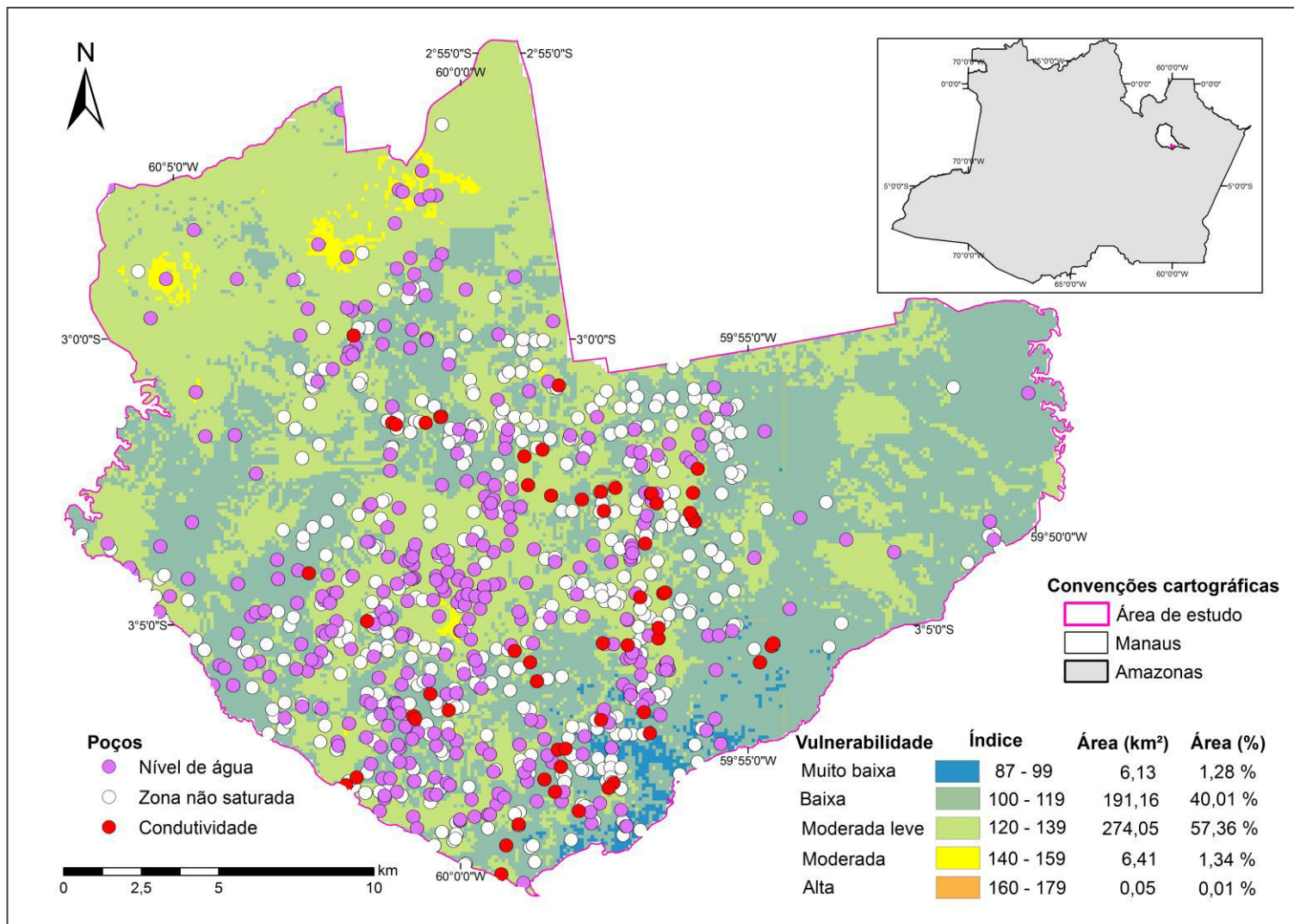


Figura 40: Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRATIC com a identificação dos bairros.



**Figura 41: Mapa da vulnerabilidade intrínseca de Manaus classificada pelo método DRASTIC com a indicação dos pontos utilizados para determinar os parâmetros nível de água, zona não saturada e condutividade hidráulica. Os demais parâmetros utilizados para determinação do mapa final de vulnerabilidade (recarga, meio aquífero, solo e topografia) cobriram toda a área de estudos.**



## 5. CONCLUSÕES

A integração dos dados existentes e a adoção ou adaptação de metodologias para a obtenção de parâmetros físicos e hidrodinâmicos conduziram a avanços importantes na caracterização do aquífero Alter do Chão na área urbana de Manaus, que colaboraram para a elaboração do mapa de vulnerabilidade em escala regional 1:100.000. Com relação aos parâmetros físicos e hidrodinâmicos, as conclusões obtidas são descritas a seguir.

As profundidades do nível das águas subterrâneas são altas, geralmente, superiores a 15 m. Os maiores valores para a profundidade do nível são interpretados como coincidentes com as áreas onde ocorre maior extração de água subterrânea por poços tubulares. Já as áreas com níveis mais rasos podem ser associadas a áreas próximas a drenagens.

A recarga do aquífero é predominantemente de três tipos: natural, pela infiltração de água de chuva nas áreas não impermeabilizadas; antrópica, induzida através infiltração da água proveniente de vazamento da rede de distribuição pública de água; e antrópica, induzida por infiltração de efluentes lançados em fossas. A taxa de recarga do aquífero é predominantemente alta, tanto natural (963 mm/ano) quanto artificial (entre 153,5 e 652,4 mm/ano). Por tratar-se de uma área urbanizada, a taxa de recarga é fortemente influenciada pelo grande aporte de água superficial do rio que é captada e distribuída pelo sistema público de abastecimento e transforma-se em recarga para o aquífero por vazamento ou por lançamento em solo. Esse aporte de recarga artificial é de 68% de todo o volume de água captado e distribuído pelo sistema público de água e representa em média aproximadamente 60% da taxa de recarga natural que ocorre em ambientes com cobertura de floresta.

O substrato das camadas de solo, zona não saturada e meio aquífero apresentam intercalações de camadas de granulometrias distintas. Para o solo, esta intercalação está intimamente relacionada ao processo de formação do latossolo amarelo e, ao processo de sedimentação recente pelos processos de intemperismo físico que ocorrem desencadeados pelas alta temperatura e alta pluviosidade. As camadas de solos franco-argilosos ocorrem frequentemente associados aos platôs, enquanto as camadas arenosas estão associadas aos taludes e vales.

A zona não saturada é formada por camadas litológicas de granulometrias variáveis entre arenosas, areno-siltosas ou areno-argilosas e, camadas pelíticas. Estas camadas apresentam persistências horizontais e verticais distintas. Tais características estão associadas ao processo de deposição da formação Alter do Chão descrito como de ambiente fluvial meandrante e entrelaçado. Essa alternância de camadas favorece a autoproteção do aquífero, possibilitando a ocorrência dos processos de retenção ou degradação caso um possível contaminante percole verticalmente.

O meio aquífero é constituído essencialmente por camadas arenosas, pois apesar do substrato saturado também possuir camadas de granulometrias mais finas, semelhante ao descrito para a zona não saturada, a água circula essencialmente pelas camadas onde há maior facilidade de percolação.

A condutividade hidráulica, intimamente relacionada ao meio aquífero, é essencialmente baixa com valores menores que 4,0 m/dia.

A declividade da área é principalmente baixa, com áreas de altas declividades restritas aos taludes nas zonas de transição entre os vales e platôs. Dessa maneira a baixa declividade confere uma maior possibilidade de infiltração da água de superfície.

No que tange a vulnerabilidade do AAC, as suas características intrínsecas conferem uma condição predominante de vulnerabilidade baixa a moderada leve. Os principais fatores que geram maior grau de proteção natural ao aquífero são o seu nível de água profundo, sua camada de solo com elevada quantidade de argilas e o substrato litológico da zona não saturada com ampla representação de camadas de silte e argila. Dessa maneira, apesar da área estudada apresentar baixa declividade e elevadas taxas de recarga, que aumentariam significativamente a vulnerabilidade, os substratos existentes no percurso da água infiltrada até atingir o aquífero e a maior profundidade do nível de água oferecem distância e elementos litológicos para sua autoproteção.

Ressalta-se que mapas de vulnerabilidade são produtos dinâmicos e devem ser aprimorados e refinados em função do avanço dos estudos físicos e hidrogeológicos básicos. Mapas de vulnerabilidade em escala de detalhe podem indicar resultados diferentes e, inclusive, vulnerabilidades mais elevadas.

Os estudos da vulnerabilidade caracterizam o grau de autoproteção que o aquífero apresenta naturalmente e indicam áreas que são mais ou menos suscetíveis a contaminação, porém não impedem que o aquífero seja contaminado. Os processos de contaminação são, geralmente, complexos e apresentam inúmeras condicionantes

e variáveis que não são abordados nos estudos de vulnerabilidade, tais como: tipo de contaminante, tempo de saturação do contaminante, tempo de degradação, volume de contaminante, reações químicas com o meio, dentre outros. Dessa forma, o mapa de vulnerabilidade apresentado nesse trabalho não tem nenhuma referência quanto à presença ou ausência de contaminação.

## 6. REFERÊNCIAS

ABDELMADJID, B. Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria). **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 7, n. 10, p. 949-960, out. 2013.

ABDULLAHI, U. S. Evaluation of models for assessing groundwater vulnerability to pollution in Nigeria. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 2, n. 2, p. 138–142, 2009.

ABINADER, H. D.; NOGUEIRA, A. C. R.; MAPES, R. W.; COLEMAN, D. S. Estratigrafia de depósitos cenozóicos da porção centro-oeste da Bacia do Amazonas. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 11, 2007. Belém: ABEQUA.

ABREU, F. A. M.; CAVALCANTI, I.N.; MATTA, M. A. S. O Sistema Aquífero Grande Amazônia – SAGA: um imenso potencial de água subterrânea no Brasil. In: III Congresso Internacional de Meio Ambiente, 2013, São Paulo. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://13sga.sbg-no.org.br/arquivos/cd/pdf/ST6/4.pdf>> Acesso em: 30 julho 2014.

AGUIAR, C. J. B. 2002. **Carta Hidrogeológica da cidade de Manaus**. Manaus: CPRM, 2002. 8 p.

AGUIAR, C. J. B. **Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas**. /Manaus: CPRM, RIMAS, Volume 6 (Relatório Diagnóstico), 2012.

ALBUQUERQUE, O. R. 1922. **Reconhecimentos geológicos no vale do Amazonas**. Rio de Janeiro: DNPM (Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim 3), Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, v. 19, p. 15-56, 1922.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J.; HACKETT, G. **DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings [Report]**. - Oklahoma : US EPA Report 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, 1987.

ALMEIDA, F. F. M. Tectono-magmatic activation of the South American Platform and associated mineralization. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 24., 1972. Montreal, **Proceedings...** Montreal: IUGS, 1972. Section 3, Tectonics, p. 339-346.

ANA, 2007. Agência Nacional das Águas. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas do Brasil.** Ministério do Meio Ambiente. <[http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA\\_DO\\_ENQUADRAMENTO.pdf](http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DO_ENQUADRAMENTO.pdf)>

ANA, 2016. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>> acessado em fevereiro de 2016.

ANDRETTA, E. R. **Alteração da formação Alter do Chão, como diagnóstico para a erodibilidade, em Manaus-AM.** 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

ARCGIS. ArcGIS 10.2 for Desktop. Software: version 10.2.0.3348. ESRI, United States of America, 2013.

ARSAM. **Relatório de atividades.** Manaus: ARSAM, 2012. 66 p.

BRITO, A. P. **Elaboração de modelo numérico de fluxo de água subterrânea para uma microbacia de água clara na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus - AM.** 2014. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

CABRAL, J. S. P.; LOBO FERREIRA, J. P. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COSTA, W. D. **Água Subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento.** Tópicos Especiais em Recursos Hídricos. v. 4. Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 447 p.

CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. N. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972. Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1972. v. 3, p. 35-46.

CARVALHO, D. L. R. Identificação de Ilhas de Calor Urbana na Cidade de Manaus-AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 874-881.

CIVITA, M.; MAIO, M.de. **SINTACS:** Un sistema paramétrico per la valutazione e la cartografia per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, Metodologia e automazione . - Bologna: Ed. Pitagora, 1997. 191 p.

COSTA, W. D.; COSTA H. F.; FERREIRA, C. A.; MORAES, J. F. S.; VILLA VERDE, E. R.; COSTA, L. B.; COSTA FILHO, W. D. **Estudo Hidrogeológico e Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes** – Projeto HIDROREC II. Secretaria de Recursos Hídricos, Governo do Estado de Pernambuco/ANA, Proágua, Recife, PE. 2002.

COSTA, A.M.R., WAICHMAN, A.; SANTOS, E.E.A. Uso e qualidade da água subterrânea na cidade de Manaus. In: XIII Congresso brasileiro de águas subterrâneas, 13., 2004. São Paulo. **Livro de resumos...** São Paulo: ABAS, 2004. Disponível em <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1186/showToc>> Acesso em: 12 janeiro de 2016

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

CUNHA, P. R. C.; GONZAGA., F.G.; COUTINHO, L.F.C.; FEIJÓ, F.J. **Bacia do Amazonas**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro: Petrobras, 1994. v.8, n.1, p. 47-55, jan./mar.

CUNHA, P. R. C.; MELO, J.H. G. de; SILVA, O.B. da. **Bacia do Amazonas**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro: Petrobras, 2007. v. 15, n. 2, p. 227-251.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrología subterránea**. 2.ed. Barcelona: Ed.Omega, 1983.

DAEMON, R. F. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 5, n. 2, p. 58-84, 1975.

DAEMON, R. F.; CONTREIRAS, C. J. A. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971. São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1971. p. 79-88.

DINO, R. et al. Palynostratigraphy and sedimentary facies of miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 34, p. 61-80, 2012.

DINO, R.; SILVA, O. B.; ABRAHÃO, D. Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5., 1999. Rio Claro. **Boletim de Resumos Expandidos...** Rio Claro: SBG, p. 557-565.

EIRAS, J. F. et al. **Bacia do Solimões**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro: Petrobras, 1994. v.8, n.1, p. 17-45, jan./mar.

FALESI, I.C.; CRUZ, E. de S. & PEREIRA, F.B. Os solos da área Manaus/Itacoatiara. Belém, IPEAN, 1969. 116p. (IPEAN. Boletim Técnico. Série Estudos e Ensaio, 1).

FEITOSA, Fernando A. Carneiro (Coord.) et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; Recife: LABHID, 2008. 812 p.

FOCAZIO et al/U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. **Assessing ground-water vulnerability to contamination: providing scientifically defensible information for decision makers**. U.S. Geological Survey Circular 1224. 2002. Disponível em: <<http://pubs.water.usgs.gov/cir1224>>.

FOSTER, S. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy**. - Noordwijk : In: International conference of vulnerability of soil and groundwater to pollutants, 1987.

FOSTER, S. 1998. **Groundwater recharge and pollution vulnerability of British aquifers: a critical overview**. In: Robins, N. (editor). Groundwater pollution, aquifer recharge and vulnerability. Geological Society, London, Special Publication, 130, 7-22.

FOSTER, S.; Hirata, R. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology based on available data** [Conference]. - Lima : WHO-PAHO; HPE-CEPIS, 1988. - p. 81.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc. New Jersey. 1979. 604 p.

GALVÃO, M. V. G. **Bacias sedimentares brasileiras: Bacia de Marajó**. Aracajú: Fundação Paleontológica Phoenix, 2004. (Série Bacias Sedimentares, ano 6, n. 67).

GUERRA, A. T.; GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 652 p.

HIRATA, R. **Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a vulnerabilidade à poluição de aquíferos**. Seminário-Traller. Protección de Acuíferos Frente a La Contaminacion: Metodologia. Toluca, México, jun. 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia Brasileira**. 2 ed., n.4. Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação Brasileira. 2012. Rio de Janeiro** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).

IMPLURB - Instituto Municipal de Planejamento Urbano. **Mapa topográfico de Manaus**. Escala 1:10.000. Curvas de Nível com equidistância de 5 m. Prefeitura Municipal de Manaus. IMPLURB. (formato digital), 2015.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estudio de los climas de la Tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

**Manaus Ambiental** 2014. Disponível em:

<<http://www.manausambiental.com.br>>. Acesso em 23/10/2014.

MARTINI, P. R.; DUARTE, V.; ARAI, E.; MORAES, J. A. **Metodologia de medição das extensões dos rios Amazonas e Nilo utilizando imagens modis e geocover**. In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento, 13., 2008. Havana: Editora SELPER, 2008.

MENDES, A. C.; TRUCKENBROD, W.; NOGUEIRA, A. C. R. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 42, n. 1, p. 39-57, 2012.

NOGUEIRA, A. C. R.; HORBE, A. M. C.; PAZ, J. D. S.; MOTTA, M. B.; ROZO, J. M. G. O Neógeno da Amazônia Ocidental. In: IX Simpósio de Geologia da Amazônia, 9., 2006. Belém. **Anais...** Belém: SBG, 2006.

PALMA, K. A. L. **Gênese e distribuição das silicificações alforantes em Manaus**. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

PAYNE, F.C.; QUINNAN, J.A; POTTER, S. T. **Remediation Hydraulics**. CRC Press Boca Raton, FL, 2008. 408 p.

PLAYFORD, G.; DINO, R. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: part two. **Palaeontographica Abteilung B**, v. 255, p. 87-145, 2000.

POEHLS, D. J.; SMITH, G. J. **Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology**. 1 ed. San Diego. Ed. Elsevier, 2009. 517 p.



PRADO, I. D. M. **Sistemática de Investigação dos Materiais Inconsolidados para Mapeamento Geotécnico na Região Amazônica**: Estudo de Caso na Região de Manaus. 2004. 168 f. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2004.

REBOUÇAS, A. C. Águas Subterrâneas, In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil**: Capital ecológico, uso e conservação.. 3. ed, São Paulo: Escrituras editora, 2006.

REIS, N. J. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Manaus, 2006. p. 23-27.

REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E. Arcabouço Geológico. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. p. 15-44.

RIKER, S. R. L; LIMA, F. J. C.; MOTTA, M. B. **Geologia e Recursos Minerais da Região Metropolitana de Manaus**. Manaus: CPRM. No prelo.

ROQUE , W. V. **Mapeamento Geoambiental da área urbana de Manaus-AM**. 2006. 162 f. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília,DF, 2006.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 5ed. São Paulo: Ed.Contexto, 2000. 85 p.

ROSSETTI, D. F. ; NETO, R. G. First evidence of marine influence in the Cretaceous of the Amazonas Basin, Brazil. **Cretaceous research**. v. 27, p. 513-528, 2006.

ROZO, J. M. G. **Evolução holocênica do Rio Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do Rio Madeira**. 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)- Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2004.

ROZO, J. M. G.; NOGUEIRA, A. C. R.; HORBE, A. M. C.; CARVALHO, A. S. Depósitos neógenos da Bacia do Amazonas. In: HORBE, A. M. C.; SOUZA, V. S. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Manaus: SBG, 2005. v. 4, p. 201-207.

SANTOS, D.B.; FERNANDES, P. E. C. A.; DREHER, A. M.; CUNHA, F. M. B.; BASEI, M. A. S.; TEIXEIRA, J. B. G. **Folha SB.21 Tapajós; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, DNPM. Projeto RADAM 1975. 418 p.

SARGES, R. R.; SILVA T. M. da; RICOMINI, C. Caracterização do relevo da região de Manaus, Amazônia Central. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2011, v.12, n.1, p. 95-104.

SARAIVA, A. M. **Evolução do nível de água do aquífero Alter do Chão no município de Manaus, Amazonas, ao longo de quatro décadas**. 2015. 43 f. Monografia. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, v. 10, p. 18-39, 2002.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO-AMAZONAS. **Empresas Certificadas do PIM 2012**. SEPLAN. 2012. Disponível em: <<http://www.seplan.am.gov.br/arquivos/download/arqeditor/EMPRESAS-CERTIFICADAS-DO-PIM-2012-Vers%C3%A3o-II.pdf>> Acesso em 24/07/2015.

SHAFT CONSULTORIA. **Estudo Hidrogeológico da Cidade de Manaus: Relatório Final**. Manaus: Águas do Amazonas, 2005. v.1.

SIAB - Sistema de Informação da Atenção Básica. **Indicadores de Saneamento no município de Manaus**. 2014. Disponível em: <<http://www.deepask.com/goes?page=manaus/AM-Confira-os-indicadores-de-saneamento-no-seu-municipio---rede-de-esgoto-fossa-a-ceu-aberto>> Acesso em 20/07/2016.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Instituto Trata Brasil-Saneamento e Saúde. **Ranking do Saneamento: Resultados com base no SNIS 2014**. São Paulo, 2014. Disponível em < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>>

SOARES, E. A. A. **Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste da Bacia do Amazonas**. 2007. 205 f. Tese (Doutorado)-Universidade de São Paulo, São Paulo: 2007.

SOARES, E. A. A.; TATUMI, S. H.; RICCOMINI, C. 2010. OSL age determinations of Pleistocene fluvial deposits in central Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 3, p. 691-699, 2010.

SOARES, E. A. A.; DINO, R.; SOARES, D. P.; ANTONIOLI, L.; SILVA, M. A. L. New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the central Amazonas Basin area. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, p. 337-357, 2015.

SOARES, E. A. A.; WAHNFRIED I. D.; DINO, R. Estratigrafia de subsuperfície da sequência sedimentar cretácea-neógena das regiões de Manaus e Itacoatiara, Amazônia Central. **Geologia USP, Série Científica**, v. 16, n. 1, p. 23-41, 2016.

SOUZA, M. M. Perfil geológico BR-174 (Manaus-Boa Vista): No trecho Manaus-Serra do Abonari. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, 1974. p. 29-33.

SOUZA, E. L. de; GALVÃO, P. H. F.; PINHEIRO, C. S. S.; BAESSA, M. P. M.; DEMÉTRIO, J. G. A.; BRITO, W.R. R. Síntese da hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões: Sistemas Aquíferos Içá-Solimões e Alter do Chão. **Geologia USP, Série científica**, São Paulo, v. 13, n.1, p. 107-117, 2013.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. 1955. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. 104p. **Publications in Climatology**, v. VIII, n.1, 1955. 104 p.

TRAVASSOS, W. A. S.; BARBOSA FILHO, C. M. **Tectonismo terciário na área do rio Tapajós, Bacia do Amazonas**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, v. 4, n.3, p. 299-314, 1990.

TRINDADE, P. H.D. **Confinamento hidráulico na Formação Alter do Chão em Manaus-AM**. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Universidade Federal do Amazonas, Manaus, em preparação.

VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): Principais fatores controladores de impactos urbano-ambientais**. 2008. 310 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.

VON STEMPTVOORT D., Ewert, L., Wassenaar, L. Aquifer Vulnerability Index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping. **Canadian Water Resources Journal**, v. 18, p. 25-37, 1992.

VRBA, J. The impact of aquifer intensive use on groundwater quality. In: LLAMAS, R. ; CUSTODIO, E. (Ed.). **Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities**. The Netherlands: A. A. Balkema Publishers, 2001. p. 113-132.

VRBA J. ; ZOPOROZEC, A. **Guideline on mapping groundwater vulnerability**. International Association of Hydrogeologists, Hannover, Internacional Contributions to Hydrogeology, 1994. 16 p.

## **7. APÊNDICES**

APÊNDICE A - Dados utilizados para determinação da profundidade do nível de água.

APÊNDICE B - Dados utilizados para determinação da condutividade hidráulica.

APÊNDICE A - Dados utilizados para determinação da profundidade do nível de água.

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300003099	030622	600110	120,0	30/03/2005	32	32	67	49,5	0,5	31,50	1,20	30,30
1300003122	030546	595630	84,0	10/08/2005	41	44	76	60,0	0,5	40,50	1,80	38,70
1300003125	030657	600139	80,0	15/08/2005	26	36	72	54,0	0,5	25,50	1,80	23,70
1300003130	030412	600021	68,0	28/09/2005	23	24	60	42,0	0,5	22,50	2,40	20,10
1300003132	030411	600049	60,0	28/09/2005	10	24	56	40,0	0,5	9,50	2,40	7,10
1300003133	030357	600050	40,0	28/09/2005	10	19	36	27,5	0,5	9,50	2,40	7,10
1300003281	025848	600107	80,0	12/08/2005	27,3	36	78	57,0	0,5	26,80	1,80	25,00
1300003290	025603	600205	60,0	01/11/2005	29	31	60	45,5	0,48	28,52	3,60	24,92
1300003295	025823	600229	30,0	09/11/2005	1,25	18	30	24,0	0,2	1,05	3,60	1,05
1300005179	030701	600005	28,0	12/06/2007	1,5	12	24	18,0	0,7	0,80	0,60	0,80
1300005280	030606	595939	24,0	09/06/2009	8,5	6	24	15,0	0,15	8,35	0,60	7,75
1300005674	030318	600117	70,0	29/06/2009	19,5	25	61	43,0	0,5	19,00	0,60	18,40
1300005676	030506	600222	70,0	13/06/2009	23	24	66	45,0	0,5	22,50	0,60	21,90
1300005688	030206	595753	72,0	09/07/2008	28,9	30	68	49,0	0,5	28,40	1,20	27,20
1300005689	030558	600034	50,0	01/06/2008	11,45	30	46	38,0	0,5	10,95	0,60	10,35
1300005692	030425	595937	80,0	10/01/2007	16	40	76	58,0	0,5	15,50	2,40	13,10
1300005695	030246	595935	60,0	16/04/2008	12	26	56	41,0	0,5	11,50	0,60	10,90
1300005696	030001	600036	70,0	20/04/2008	15	38	66	52,0	0,5	14,50	0,60	13,90
1300005698	030723	595825	70,0	18/04/2008	20	24	60	42,0	0,5	19,50	0,60	18,90
1300005699	025958	600248	60,0	09/04/2008	20	24	56	40,0	0,5	19,50	0,60	18,90
1300005704	030409	600026	60,0	25/09/2008	21	20	60	40,0	0,5	20,50	2,40	18,10
1300005707	025837	600053	60,0	01/08/2008	24	28	56	42,0	0,5	23,50	1,80	21,70
1300005708	030511	595644	60,0	01/07/2008	27,6	28	56	42,0	0,5	27,10	1,20	25,90
1300005710	030702	600209	72,0	23/01/2008	26	28	68	48,0	0,5	25,50	2,40	23,10
1300005714	030227	595936	62,0	24/09/2007	22	36	52	44,0	0,5	21,50	2,40	19,10
1300005715	030409	600003	37,0	08/08/2007	18	25	37	31,0	0,5	17,50	1,80	15,70
1300005716	030757	600032	70,0	28/10/2006	30,41	34	69	51,5	0,5	29,91	3,00	26,91
1300005731	030510	600057	72,0	28/08/2006	35	36	68	52,0	0,5	34,50	1,80	32,70
1300005734	030820	600050	42,0	12/03/2009	12	28	40	34,0	0,5	11,50	1,20	10,30

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300005735	030138	595443	80,0	11/03/2009	36	40	80	60,0	0,3	35,70	1,20	34,50
1300005736	030650	595544	80,0	07/05/2008	30	36	80	58,0	0,5	29,50	0,00	29,50
1300005744	030249	595926	80,0	15/03/2008	26,3	28	80	54,0	0,5	25,80	1,20	24,60
1300005746	030242	595648	60,0	13/07/2008	26	28	56	42,0	0,3	25,70	1,20	24,50
1300005754	030832	600046	60,0	14/06/2006	18	32	52	42,0	0,3	17,70	0,60	17,10
1300005768	030708	595723	59,2	24/04/2008	42,55	32,9	59,2	46,1	0,5	42,05	0,60	41,45
1300005770	030538	600331	65,0	09/08/2005	12	37	61	49,0	0,5	11,50	1,80	9,70
1300005771	030153	595549	100,0	10/06/2009	27	28	84	56,0	0,5	26,50	0,60	25,90
1300005789	030633	600124	82,0	23/05/2005	16	40	68	54,0	0	16,00	0,00	16,00
1300005791	030459	600130	60,0	24/07/2006	40,05	4,4	57,5	31,0	0,5	39,55	1,20	38,35
1300005799	030511	595542	73,0	19/01/2005	43,86	36	66	51,0	0,5	43,36	2,40	40,96
1300005826	030205	595605	60,0	07/03/2006	12	32	60	46,0	0,5	11,50	1,20	10,30
1300005853	030408	600219	80,0	15/06/2009	27	28	75	51,5	0,5	26,50	0,60	25,90
1300005854	030652	600045	80,0	30/06/2009	20	40	80	60,0	0,5	19,50	0,60	18,90
1300005855	030312	595048	82,0	19/03/2006	12	44	76	60,0	0,3	11,70	1,20	10,50
1300005862	030540	595626	48,0	30/07/2008	17	24	42	33,0	0,5	16,50	1,20	15,30
1300005863	030003	600036	60,0	10/04/2008	15	28	52	40,0	0,5	14,50	0,60	13,90
1300005864	025910	595955	60,0	16/08/2008	22	36	52	44,0	0,5	21,50	1,80	19,70
1300005870	030413	600003	40,0	02/09/2008	18	24	28	26,0	0,5	17,50	2,40	15,10
1300005872	030603	600419	84,0	04/07/2005	22	36	80	58,0	0,6	21,40	1,20	20,20
1300005873	030627	600226	80,0	30/11/2008	29	36	68	52,0	0,5	28,50	3,60	24,90
1300005874	030046	600230	80,0	15/11/2008	23	40	76	58,0	0,5	22,50	3,60	18,90
1300005880	030519	595845	67,0	07/08/2008	27	30	62	46,0	0,5	26,50	1,80	24,70
1300005883	030531	595658	70,0	22/01/2008	23	24	70	47,0	0,5	22,50	2,40	20,10
1300005891	030436	600004	100,0	12/03/2007	12	36	84	60,0	0,5	11,50	1,20	10,30
1300005895	030739	600027	80,0	28/10/2008	27	48	68	58,0	0,5	26,50	3,00	23,50
1300005900	030337	595702	80,0	30/07/2009	27	28	68	48,0	0,5	26,50	1,20	25,30
1300005905	030509	600353	72,0	10/06/2009	28	52	68	60,0	0,3	27,70	0,60	27,10
1300005908	030258	600105	84,0	19/08/2007	15,4	45	60	52,5	0,5	14,90	1,80	13,10
1300005912	030337	595742	80,0	02/05/2009	15	44	76	60,0	0,5	14,50	0,00	14,50
1300005916	030405	600014	72,0	15/04/2009	28	52	68	60,0	0,3	27,70	0,60	27,10
1300005919	030430	595959	27,0	31/03/2009	14	21	27	24,0	0,3	13,70	1,20	12,50

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300005922	030515	595950	92,0	27/10/2009	36	28	88	58,0	1	35,00	3,00	32,00
1300005923	030621	600108	76,0	22/10/2009	18	32	68	50,0	0,3	17,70	3,00	14,70
1300005925	030056	595849	68,0	14/10/2009	25	26	64	45,0	0,5	24,50	3,00	21,50
1300005926	030531	600017	64,0	10/09/2009	28	28	64	46,0	0,5	27,50	2,40	25,10
1300005927	030546	595941	64,0	25/09/2009	31	32	64	48,0	0,5	30,50	2,40	28,10
1300005928	030345	600024	80,0	25/10/2008	22	32	68	50,0	0,3	21,70	3,00	18,70
1300005931	025857	595904	80,0	15/06/2009	27	36	76	56,0	0,3	26,70	0,60	26,10
1300005935	030801	600120	54,0	26/05/2009	22	24	48	36,0	0,5	21,50	0,00	21,50
1300005941	030642	595726	80,0	10/01/2009	31	44	64	54,0	0,5	30,50	2,40	28,10
1300005943	030028	600013	72,0	01/12/2009	35,5	36	68	52,0	0,5	35,00	3,00	32,00
1300005944	030010	600150	80,0	20/08/2009	35	36	80	58,0	0,5	34,50	1,80	32,70
1300005946	025943	595824	80,0	30/01/2009	26	28	68	48,0	0,5	25,50	2,40	23,10
1300005947	030351	600014	60,0	16/02/2009	32	32	52	42,0	0,3	31,70	1,80	29,90
1300005949	030417	595954	62,0	14/01/2009	10	36	52	44,0	0,5	9,50	2,40	7,10
1300005951	030602	595711	80,0	09/01/2009	22	36	72	54,0	0,5	21,50	2,40	19,10
1300005954	030145	595913	56,0	20/07/2007	12	32	56	44,0	0,3	11,70	1,20	10,50
1300005955	025859	600354	80,0	12/04/2008	23	36	72	54,0	0,3	22,70	0,60	22,10
1300005965	030714	600005	80,0	01/02/2010	26	32	76	54,0	0,5	25,50	1,80	23,70
1300005968	030257	595911	80,0	09/02/2010	32	44	72	58,0	0,5	31,50	1,80	29,70
1300005969	030331	595044	80,0	15/02/2010	22	28	64	46,0	0,5	21,50	1,80	19,70
1300005973	030745	600015	80,0	05/03/2010	50	40	76	58,0	0,5	49,50	1,20	48,30
1300005976	030740	600122	48,0	12/03/2010	22	24	42	33,0	0,5	21,50	1,20	20,30
1300005978	030213	595652	74,0	01/03/2010	9	28	64	46,0	0,5	8,50	1,20	7,30
1300005979	030412	600051	65,0	08/04/2010	30	0	65	32,5	0,5	29,50	0,60	28,90
1300005980	030112	600112	42,0	19/04/2006	16	20	42	31,0	0,5	15,50	0,60	14,90
1300005983	030156	595914	100,0	30/03/2010	37	40	80	60,0	0,5	36,50	1,20	35,30
1300005986	030443	595940	76,0	07/04/2010	36	28	76	52,0	0,5	35,50	0,60	34,90
1300005989	030637	600304	100,0	09/04/2010	38	40	80	60,0	0,5	37,50	0,60	36,90
1300005992	030145	595747	70,0	21/04/2010	21	24	60	42,0	0,5	20,50	0,60	19,90
1300005993	030151	595623	80,0	15/04/2010	36	36	80	58,0	0,5	35,50	0,60	34,90
1300006000	030344	595228	62,0	06/05/2010	16	24	60	42,0	0,3	15,70	0,00	15,70
1300006017	030602	600102	80,0	01/06/2010	32	24	80	52,0	0,5	31,50	0,60	30,90

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300006020	030343	600050	52,0	11/05/2010	8	24	48	36,0	0,5	7,50	0,00	7,50
1300006021	025932	600154	32,6	21/06/2010	12,5	18	30	24,0	0,3	12,20	0,60	11,60
1300006022	030439	595956	55,0	29/06/2010	21	24	48	36,0	0,2	20,80	0,60	20,20
1300006026	030400	595756	66,0	05/06/2010	21	32	60	46,0	0,2	20,80	0,60	20,20
1300006028	030136	600002	83,0	01/07/2010	30	30	66	48,0	0,5	29,50	1,20	28,30
1300006029	030448	600328	82,0	05/06/2010	24	40	76	58,0	0,3	23,70	0,60	23,10
1300006031	030724	600054	56,0	26/06/2010	18	32	52	42,0	0,5	17,50	0,60	16,90
1300006033	030706	600208	80,0	08/07/2010	20,7	36	76	56,0	0,5	20,20	1,20	19,00
1300006034	030641	595838	100,0	08/06/2010	34	36	68	52,0	0,5	33,50	0,60	32,90
1300006065	030313	600441	79,0	28/04/2011	27,23	32	76	54,0	0,42	26,81	0,60	26,21
1300006066	030804	595815	78,0	26/04/2011	9,99	28	76	52,0	0,14	9,85	0,60	9,25
1300006067	030354	595822	80,0	16/05/2011	25,24	28	76	52,0	0,1	25,14	0,00	25,14
1300006068	030451	595753	80,0	27/06/2009	15	32	68	50,0	0,5	14,50	0,60	13,90
1300006150	030136	595659	82,0	01/08/2011	12	44	76	60,0	0,14	11,86	1,80	10,06
1300006152	030136	595911	82,0	02/08/2011	4	48	72	60,0	0,36	3,64	1,80	1,84
1300006169	030230	595954	60,0	04/08/2011	27	28	56	42,0	0,2	26,80	1,80	25,00
1300006204	030454	595857	60,0	15/06/2009	8	30	45	37,5	0,7	7,30	0,60	6,70
1300006205	030521	595908	84,0	15/02/2010	12	24	60	42,0	0	12,00	1,80	10,20
1300006209	030708	600104	80,0	07/05/2010	28	40	64	52,0	0,5	27,50	0,00	27,50
1300006211	030725	600134	86,0	18/08/2010	36	44	76	60,0	0,5	35,50	1,80	33,70
1300006215	030757	600026	80,0	29/11/2010	14	20	76	48,0	0,5	13,50	3,60	9,90
1300006224	030417	600353	64,0	21/07/2010	13	28	52	40,0	0,5	12,50	1,20	11,30
1300006228	030625	600246	85,0	28/09/2010	35	48	68	58,0	0,5	34,50	2,40	32,10
1300006283	030425	600121	84,0	14/10/2010	35	40	68	54,0	0,52	34,48	3,00	31,48
1300006290	030340	595702	80,0	05/10/2011	10	48	72	60,0	0,2	9,80	3,00	6,80
1300006316	030308	595406	110,0	09/09/2008	32	28	76	52,0	0,5	31,50	2,40	29,10
1300006322	030425	600017	54,0	21/10/2011	17,25	32	48	40,0	0,2	17,05	3,00	14,05
1300006323	030420	600020	84,0	21/10/2011	33	48	64	56,0	0,15	32,85	3,00	29,85
1300006327	030451	600023	83,0	21/10/2011	10	44	76	60,0	0,07	9,93	3,00	6,93
1300006359	025833	600020	60,0	17/08/2010	11	40	56	48,0	0,5	10,50	1,80	8,70
1300006362	030428	595953	60,0	05/06/2010	18	36	48	42,0	0,5	17,50	0,60	16,90
1300006363	030804	595841	80,0	15/10/2010	34,5	39	67	53,0	0,5	34,00	3,00	31,00



ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300006365	030257	595858	84,0	05/12/2010	18	40	80	60,0	0,5	17,50	3,00	14,50
1300006367	030427	600214	42,0	07/01/2011	15,4	6,5	37	21,8	0,5	14,90	2,40	12,50
1300006368	030506	600001	100,0	12/08/2009	7,8	26	72	49,0	0,5	7,30	1,80	5,50
1300006369	030540	595625	48,0	09/10/2009	20	24	48	36,0	0,5	19,50	3,00	16,50
1300006370	030159	595701	80,0	28/09/2010	24	36	76	56,0	0,5	23,50	2,40	21,10
1300006377	030412	600311	80,0	04/02/2011	38	40	80	60,0	0,5	37,50	1,80	35,70
1300006395	030525	600155	80,0	02/03/2011	21	40	76	58,0	0,5	20,50	1,20	19,30
1300006397	030639	595847	80,0	25/02/2011	37	41	72	56,5	0,5	36,50	1,80	34,70
1300006401	030352	600312	80,0	22/02/2011	25	24	76	50,0	0,5	24,50	1,80	22,70
1300006405	030234	600020	60,0	17/04/2008	27	32	60	46,0	0,5	26,50	0,60	25,90
1300006413	030335	600609	80,0	31/08/2010	35	36	68	52,0	0,5	34,50	1,80	32,70
1300006415	030446	595900	30,0	12/04/2011	15	10	24	17,0	0,5	14,50	0,60	13,90
1300006428	030344	595926	82,0	05/04/2011	1	32	80	56,0	0,5	0,50	0,60	0,50
1300006440	030257	595932	30,0	06/05/2011	12	21	27	24,0	0,5	11,50	0,00	11,50
1300006460	030542	600412	100,0	08/06/2011	27,68	23	76	49,5	0,5	27,18	0,60	26,58
1300006464	030333	600136	80,0	03/06/2007	20	44	76	60,0	0,5	19,50	0,60	18,90
1300006473	030416	595852	52,0	28/04/2011	12	26	48	37,0	0,5	11,50	0,60	10,90
1300006479	030350	595454	62,0	30/06/2011	15,4	28	56	42,0	0,5	14,90	0,60	14,30
1300006481	030706	600026	82,0	07/04/2011	31	32	76	54,0	0,5	30,50	0,60	29,90
1300006491	030743	595851	55,0	19/07/2011	20	40	52	46,0	0,5	19,50	1,20	18,30
1300006500	030256	600136	80,0	17/08/2011	28	40	72	56,0	0,5	27,50	1,80	25,70
1300006501	030437	600251	83,0	20/05/2011	20	28	76	52,0	0,5	19,50	0,00	19,50
1300006616	030124	595544	82,0	07/11/2011	6	36	72	54,0	0,23	5,77	3,60	2,17
1300006619	030251	595641	102,0	10/11/2011	30	28	92	60,0	0,4	29,60	3,60	26,00
1300006621	030451	600339	80,0	28/07/2011	28	36	76	56,0	0,5	27,50	1,20	26,30
1300006625	025952	600051	74,0	21/09/2011	27,5	28	68	48,0	0,5	27,00	2,40	24,60
1300006626	025508	600048	80,0	30/09/2011	13	30	68	49,0	0,5	12,50	2,40	10,10
1300006632	030622	600108	84,0	01/10/2011	48	40	80	60,0	0,3	47,70	3,00	44,70
1300006635	030342	600019	84,0	14/06/2011	17	44	76	60,0	0,5	16,50	0,60	15,90
1300006637	030535	595707	15,0	18/11/2011	6	6	12	9,0	0	6,00	3,60	2,40
1300006641	030541	600340	63,0	23/12/2007	30	24	58	41,0	0,5	29,50	3,00	26,50
1300006646	030705	600106	62,0	25/10/2011	22	28	60	44,0	0,5	21,50	3,00	18,50

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300006674	025149	600348	60,0	31/01/2009	20	24	48	36,0	0,5	19,50	2,40	17,10
1300006679	030143	595950	74,0	13/09/2010	28	32	64	48,0	0,3	27,70	2,40	25,30
1300006686	030820	595946	70,0	16/08/2011	25	32	64	48,0	0,5	24,50	1,80	22,70
1300006687	030455	595706	82,0	13/10/2011	19	48	72	60,0	0,5	18,50	3,00	15,50
1300006690	030454	595707	102,0	27/10/2011	31	32	84	58,0	0,5	30,50	3,00	27,50
1300006691	025928	600140	72,0	13/10/2011	21	32	68	50,0	0,5	20,50	3,00	17,50
1300006729	030550	600056	82,0	17/10/2011	30	32	72	52,0	0,3	29,70	3,00	26,70
1300006730	030608	595704	90,0	08/09/2011	45,5	27	90	58,5	0,5	45,00	2,40	42,60
1300006732	030015	600154	62,0	09/11/2011	29,45	32	60	46,0	0,5	28,95	3,60	25,35
1300006736	030349	600116	53,0	17/12/2011	21	32	48	40,0	0,5	20,50	3,00	17,50
1300006738	030634	595632	58,0	09/09/2010	23	24	48	36,0	0,4	22,60	2,40	20,20
1300006739	030435	600056	82,0	02/09/2011	20	36	80	58,0	0,5	19,50	2,40	17,10
1300006741	030142	595806	84,0	16/08/2011	22	40	76	58,0	0,5	21,50	1,80	19,70
1300006774	030052	595536	80,0	14/06/2012	10	48	72	60,0	0,15	9,85	0,60	9,25
1300006775	030210	595600	102,0	14/06/2012	58	24	92	58,0	0,5	57,50	0,60	56,90
1300006778	030115	595523	80,0	13/06/2012	24	36	76	56,0	0,16	23,84	0,60	23,24
1300006783	030141	595552	82,0	13/06/2012	10	36	64	50,0	0,34	9,66	0,60	9,06
1300006807	030011	600053	64,0	20/06/2012	25	36	52	44,0	0,5	24,50	0,60	23,90
1300006857	030613	595647	92,0	06/10/2010	32	36	84	60,0	0,5	31,50	3,00	28,50
1300006863	030633	595732	78,0	06/10/2010	12	36	72	54,0	0,7	11,30	3,00	8,30
1300006865	030547	595623	87,0	28/06/2012	12	20	84	52,0	0,5	11,50	0,60	10,90
1300006880	030544	595624	25,0	10/02/2011	14	13	25	19,0	0,5	13,50	1,80	11,70
1300006883	030509	600101	44,0	30/08/2011	11	20	40	30,0	0,5	10,50	1,80	8,70
1300006945	030709	595938	70,0	02/04/2012	23,37	42	66	54,0	0,5	22,87	0,60	22,27
1300006947	030715	595930	51,0	28/11/2011	12,7	24	51	37,5	0,1	12,60	3,60	9,00
1300006952	030539	595625	84,0	22/09/2011	29	28	84	56,0	0,5	28,50	2,40	26,10
1300006956	030646	600058	82,0	24/04/2012	28	46	74	60,0	0,3	27,70	0,60	27,10
1300006957	030506	600000	90,0	05/03/2012	14	32	80	56,0	0,5	13,50	1,20	12,30
1300006958	030403	600250	70,0	20/06/2009	31	56	64	60,0	0,5	30,50	0,60	29,90
1300006959	025614	600614	61,0	23/02/2012	6	28	56	42,0	0,5	5,50	1,80	3,70
1300006960	030759	595917	80,0	12/03/2012	45	25	55	40,0	0,3	44,70	1,20	43,50
1300006961	030417	595920	81,0	05/03/2012	27,7	36	76	56,0	0,55	27,15	1,20	25,95

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300006962	030707	600124	82,0	09/02/2012	28,6	32	72	52,0	0,5	28,10	1,80	26,30
1300006963	030422	595936	64,0	19/01/2012	22,5	32	52	42,0	0,5	22,00	2,40	19,60
1300006964	030418	595926	64,0	26/01/2012	23,3	28	56	42,0	0,5	22,80	2,40	20,40
1300006966	030555	600126	83,0	02/03/2011	23	40	76	58,0	0,3	22,70	1,20	21,50
1300006967	030547	595534	104,0	20/01/2012	70	28	58	43,0	0,5	69,50	2,40	67,10
1300006969	030447	600334	80,0	06/03/2012	26	28	72	50,0	0,5	25,50	1,20	24,30
1300006972	030603	600358	84,0	30/03/2012	31,25	32	72	52,0	0,5	30,75	1,20	29,55
1300006975	030222	600334	80,0	02/11/2011	26	20	76	48,0	0,5	25,50	3,60	21,90
1300006976	030354	595723	100,0	05/03/2012	29,85	32	76	54,0	0,5	29,35	1,20	28,15
1300006977	030238	595907	82,0	20/01/2012	28	36	80	58,0	0,5	27,50	2,40	25,10
1300006997	030321	595908	82,0	12/05/2012	12	30	80	55,0	0,3	11,70	0,00	11,70
1300007005	030547	595626	85,0	15/07/2012	19	32	60	46,0	0,2	18,80	1,20	17,60
1300007007	025900	600255	80,0	24/01/2012	21	42	70	56,0	0,1	20,90	2,40	18,50
1300007017	030353	600058	64,0	15/06/2009	20	32	52	42,0	0,5	19,50	0,60	18,90
1300007020	030446	600123	72,0	22/11/2007	34	40	68	54,0	0,3	33,70	3,60	30,10
1300007028	030409	600153	63,0	14/09/2012	18,91	28	60	44,0	0,22	18,69	2,40	16,29
1300007031	030659	600051	62,0	22/03/2007	29	30	58	44,0	0,5	28,50	1,20	27,30
1300007039	030336	600048	60,0	15/06/2006	17	36	56	46,0	0,4	16,60	0,60	16,00
1300007041	030445	600325	80,0	11/09/2012	20	40	72	56,0	0,2	19,80	2,40	17,40
1300007043	030434	600223	75,0	10/09/2012	33	28	68	48,0	0,15	32,85	2,40	30,45
1300007045	030331	595948	57,0	11/09/2012	25	22	36	29,0	0,5	24,50	2,40	22,10
1300007050	030507	600225	72,0	20/01/2006	33	52	68	60,0	0,2	32,80	2,40	30,40
1300007051	030435	600217	72,0	17/03/2005	31	52	60	56,0	0,3	30,70	1,20	29,50
1300007052	030528	600226	73,0	21/03/2006	16	48	68	58,0	0,15	15,85	1,20	14,65
1300007058	030740	600114	76,0	26/10/2012	35	42	70	56,0	0,5	34,50	3,00	31,50
1300007059	030704	595529	104,0	23/12/2006	12	32	88	60,0	0,23	11,77	3,00	8,77
1300007088	030539	595653	80,0	19/04/2012	20,4	32	78	55,0	0,5	19,90	0,60	19,30
1300007089	030341	595844	64,0	17/08/2012	12	20	59	39,5	0,3	11,70	1,80	9,90
1300007101	030200	595653	60,0	01/06/2010	20	48	60	54,0	0,5	19,50	0,60	18,90
1300007130	030723	600104	72,0	11/08/2007	25	48	68	58,0	0,5	24,50	1,80	22,70
1300007138	030338	600514	81,0	03/10/2012	36	48	72	60,0	0,2	35,80	3,00	32,80
1300007139	030202	600114	80,0	05/10/2012	16	40	76	58,0	0,2	15,80	3,00	12,80

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300007143	030143	600427	58,0	06/10/2006	42	36	48	42,0	0,2	41,80	3,00	38,80
1300007154	030734	595854	62,0	04/11/2012	24,65	28	52	40,0	1	23,65	3,60	20,05
1300007155	030417	600107	102,0	07/11/2012	34,45	40	80	60,0	1	33,45	3,60	29,85
1300007156	030402	595946	102,0	07/11/2012	34,45	40	80	60,0	1	33,45	3,60	29,85
1300007159	030754	600107	70,0	17/10/2012	24,04	46	66	56,0	0,5	23,54	3,00	20,54
1300007160	030619	600139	62,0	03/10/2012	24	22	60	41,0	0,5	23,50	3,00	20,50
1300007212	030203	595635	100,0	23/07/2012	36	32	88	60,0	0,5	35,50	1,20	34,30
1300007213	030446	600515	104,0	26/08/2012	20	30	80	55,0	0,3	19,70	1,80	17,90
1300007216	030824	600001	50,0	15/08/2012	16	24	44	34,0	0,5	15,50	1,80	13,70
1300007217	030823	600001	70,0	18/09/2012	22	24	52	38,0	0,5	21,50	2,40	19,10
1300007220	025844	600026	52,0	19/11/2012	32	24	44	34,0	0,5	31,50	3,60	27,90
1300007276	030623	600106	80,0	17/08/2012	53,5	36	79	57,5	0,5	53,00	1,80	51,20
1300007290	030554	600320	60,0	23/03/2009	20	32	60	46,0	0,15	19,85	1,20	18,65
1300007298	030533	595947	100,0	10/06/2006	16	32	56	44,0	0,5	15,50	0,60	14,90
1300007306	030612	600015	100,0	04/07/2008	26	28	84	56,0	0,64	25,36	1,20	24,16
1300007309	030747	600012	80,0	25/10/2006	36	48	72	60,0	0,5	35,50	3,00	32,50
1300007328	030548	600240	88,0	30/11/2007	18	20	52	36,0	0,5	17,50	3,60	13,90
1300007378	030352	595703	82,0	26/12/2006	31	48	72	60,0	0,4	30,60	3,00	27,60
1300007381	025308	595611	72,0	18/04/2005	15	36	72	54,0	0,5	14,50	0,60	13,90
1300007393	030520	595721	80,0	21/02/2008	18	36	76	56,0	0,3	17,70	1,80	15,90
1300007402	030705	595859	84,0	14/08/2008	22	36	64	50,0	0,48	21,52	1,80	19,72
1300007454	030506	595517	120,0	17/08/2012	82	38	68	53,0	0,5	81,50	1,80	79,70
1300007459	030352	600054	82,0	21/03/2013	18	40	80	60,0	0,3	17,70	1,20	16,50
1300007462	030632	600104	102,0	26/01/2013	28	22	98	60,0	0,5	27,50	2,40	25,10
1300007497	030813	595713	84,0	10/02/2012	20	32	68	50,0	0,5	19,50	1,80	17,70
1300007500	030123	595738	62,0	14/02/2013	38	42	48	45,0	0,3	37,70	1,80	35,90
1300007501	030716	595830	72,0	22/07/2008	24	36	68	52,0	0,3	23,70	1,20	22,50
1300007505	030243	595636	64,0	09/11/2006	12	24	56	40,0	0,3	11,70	3,60	8,10
1300007610	030254	600134	100,0	25/01/2013	18	24	64	44,0	0,2	17,80	2,40	15,40
1300007637	030430	600225	60,0	03/09/2010	13	24	52	38,0	0,5	12,50	2,40	10,10
1300007638	030456	600210	62,0	14/03/2013	52	28	56	42,0	0,5	51,50	1,20	50,30
1300007639	030617	595644	70,0	10/02/2013	36	22	58	40,0	0,45	35,55	1,80	33,75

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300007650	030420	595936	60,0	31/01/2012	23	28	60	44,0	0,51	22,49	2,40	20,09
1300007658	030453	600113	90,0	26/01/2013	39	24	84	54,0	0,6	38,40	2,40	36,00
1300007659	030454	600119	60,0	04/02/2013	32	28	52	40,0	0,11	31,89	1,80	30,09
1300007662	030807	595923	80,0	21/02/2013	13	24	78	51,0	0,3	12,70	1,80	10,90
1300007664	030534	595703	60,0	17/02/2012	18	32	52	42,0	0,3	17,70	1,80	15,90
1300007665	030234	595925	60,0	15/03/2008	20	32	56	44,0	0,5	19,50	1,20	18,30
1300007666	025909	600054	42,0	19/03/2013	7	18	36	27,0	0,1	6,90	1,20	5,70
1300007786	030426	600210	72,0	30/11/2011	19	40	64	52,0	0,5	18,50	3,60	14,90
1300007787	030656	595751	104,0	21/11/2011	61	28	64	46,0	0,5	60,50	3,60	56,90
1300007788	030454	595952	82,0	03/10/2012	18	28	80	54,0	0,5	17,50	3,00	14,50
1300007791	030520	600247	90,0	10/04/2012	24	32	76	54,0	0	24,00	0,60	23,40
1300007804	030624	595651	80,0	31/08/2007	28	36	80	58,0	0,5	27,50	1,80	25,70
1300007809	030314	595649	70,0	17/11/2011	15	25	60	42,5	0,5	14,50	3,60	10,90
1300007810	030754	595813	63,0	29/05/2013	36	40	50	45,0	0,5	35,50	0,00	35,50
1300007812	030533	600131	80,0	17/06/2013	19	32	76	54,0	0,5	18,50	0,60	17,90
1300007816	030758	600120	80,0	23/09/2013	18	32	76	54,0	0,3	17,70	2,40	15,30
1300007818	030613	595703	164,0	28/06/2013	55	48	56	52,0	0,5	54,50	0,60	53,90
1300007820	030201	600004	80,0	12/03/2007	26	26	72	49,0	0,5	25,50	1,20	24,30
1300007827	030539	600231	60,0	10/07/2012	15	24	60	42,0	0,5	14,50	1,20	13,30
1300007828	025929	600159	50,0	04/05/2012	25,03	32	49	40,5	0,5	24,53	0,00	24,53
1300007829	025836	600159	56,0	04/05/2012	10	28	52	40,0	0,5	9,50	0,00	9,50
1300007850	030628	595731	90,0	15/02/2012	69	28	58	43,0	0,5	68,50	1,80	66,70
1300007851	030715	595753	80,0	13/08/2012	36	28	68	48,0	0,8	35,20	1,80	33,40
1300007853	025957	595921	100,0	02/02/2009	28	40	76	58,0	0	28,00	1,80	26,20
1300007858	030545	600407	64,0	03/06/2013	22	32	60	46,0	0,3	21,70	0,60	21,10
1300007859	030307	595909	80,0	09/04/2013	16	36	72	54,0	0,2	15,80	0,60	15,20
1300007872	030452	595827	84,0	03/05/2013	32	40	80	60,0	0,6	31,40	0,00	31,40
1300007882	025332	600219	104,0	10/06/2013	8	32	84	58,0	0,7	7,30	0,60	6,70
1300007936	025948	600120	80,0	11/11/2013	62,6	41	79	60,0	0,5	62,10	3,60	58,50
1300007952	030638	595535	100,0	04/09/2013	32	24	96	60,0	0,5	31,50	2,40	29,10
1300007953	030529	595701	64,0	25/10/2013	15	28	52	40,0	0,5	14,50	3,00	11,50
1300007959	030412	600445	84,0	28/02/2013	30	44	76	60,0	0,3	29,70	1,80	27,90

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300007964	030219	600114	120,0	17/09/2005	16	20	64	42,0	0,6	15,40	2,40	13,00
1300007968	030511	595531	80,0	17/11/2013	28	28	72	50,0	0,5	27,50	3,60	23,90
1300007969	030611	600005	84,0	14/10/2013	28	44	76	60,0	0,5	27,50	3,00	24,50
1300007981	030430	600504	84,0	04/12/2013	23	40	76	58,0	0,3	22,70	3,00	19,70
1300007983	030349	595703	82,0	16/04/2013	18	32	76	54,0	0,2	17,80	0,60	17,20
1300007986	030654	600013	61,0	23/04/2010	15	18	60	39,0	0,5	14,50	0,60	13,90
1300007991	030643	600157	82,0	10/01/2014	12	40	68	54,0	0,3	11,70	2,40	9,30
1300007999	030818	595932	82,0	15/04/2013	32	32	76	54,0	0,3	31,70	0,60	31,10
1300008000	030818	595930	80,0	15/04/2013	32	32	76	54,0	0,3	31,70	0,60	31,10
1300008001	030015	600157	80,0	16/04/2013	18	32	76	54,0	0,2	17,80	0,60	17,20
1300008006	030512	600102	80,0	12/11/2013	26,6	37	77	57,0	0,5	26,10	3,60	22,50
1300008017	030430	595945	80,0	23/10/2013	26	28	72	50,0	0,5	25,50	3,00	22,50
1300008019	025930	600240	84,0	22/09/2013	38	44	76	60,0	0,5	37,50	2,40	35,10
1300008021	030413	600026	60,0	09/09/2011	22	44	60	52,0	0,5	21,50	2,40	19,10
1300008024	030536	600236	60,0	07/11/2013	16,73	28	52	40,0	0,5	16,23	3,60	12,63
1300008027	025859	600508	25,0	03/11/2013	7	12	18	15,0	0,3	6,70	3,60	3,10
1300008028	030733	595926	80,0	21/08/2013	20	24	76	50,0	0,8	19,20	1,80	17,40
1300008030	030333	600138	100,0	15/01/2011	27,5	29	78	53,5	0,05	27,45	2,40	25,05
1300008032	025723	600608	94,0	29/05/2008	23	24	52	38,0	0,5	22,50	0,00	22,50
1300008037	030830	595707	88,0	18/10/2013	56	34	78	56,0	0,5	55,50	3,00	52,50
1300008039	024759	595552	88,0	03/10/2012	48	48	68	58,0	0,5	47,50	3,00	44,50
1300008040	030802	595949	80,0	15/11/2011	30	30	70	50,0	0,5	29,50	3,60	25,90
1300008042	030428	595759	80,0	25/02/2005	25	36	78	57,0	0,5	24,50	1,80	22,70
1300008049	025801	600109	64,0	22/12/2013	18	28	56	42,0	0,5	17,50	3,00	14,50
1300008050	030443	595417	80,0	26/09/2008	33	42	56	49,0	0,5	32,50	2,40	30,10
1300008055	030551	595957	52,0	26/11/2013	20	28	40	34,0	0,2	19,80	3,60	16,20
1300008056	030007	600122	100,0	23/01/2014	20	36	80	58,0	0,2	19,80	2,40	17,40
1300008064	024849	595614	65,0	16/09/2013	36	40	60	50,0	0,8	35,20	2,40	32,80
1300008065	025035	595634	65,0	17/02/2014	18	40	58	49,0	0,5	17,50	1,80	15,70
1300008066	025038	595639	65,0	14/02/2014	22	40	58	49,0	0,8	21,20	1,80	19,40
1300008067	025010	595635	65,0	17/02/2014	23	40	58	49,0	0,8	22,20	1,80	20,40
1300008070	025940	600524	82,0	02/03/2014	25,32	36	76	56,0	0,6	24,72	1,20	23,52

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300008071	030653	600028	84,0	20/06/2011	20	28	72	50,0	0,5	19,50	0,60	18,90
1300008072	030303	595928	83,0	01/04/2013	18	40	76	58,0	0,3	17,70	0,60	17,10
1300008076	030510	600221	80,0	24/08/2013	12	36	60	48,0	0,6	11,40	1,80	9,60
1300008080	025916	600037	100,0	25/10/2013	43	28	92	60,0	0,2	42,80	3,00	39,80
1300008082	030659	595833	84,0	05/03/2014	16	40	76	58,0	0,5	15,50	1,20	14,30
1300008300	030331	595318	82,0	15/05/2014	13	48	72	60,0	0,3	12,70	0,00	12,70
1300008302	030022	600159	84,0	15/12/2010	20	44	76	60,0	0,5	19,50	3,00	16,50
1300008303	030437	600217	84,0	07/05/2014	18	28	76	52,0	0,5	17,50	0,00	17,50
1300008304	030142	600356	60,0	25/05/2014	32	32	48	40,0	0,2	31,80	0,00	31,80
1300008307	030756	595921	52,0	05/06/2014	18	24	48	36,0	0,3	17,70	0,60	17,10
1300008318	030800	595915	82,0	25/01/2014	18	34	76	55,0	0,2	17,80	2,40	15,40
1300008321	030306	595646	82,0	25/01/2014	20	31	76	53,5	0,2	19,80	2,40	17,40
1300008322	030105	595922	84,0	25/01/2014	19	38	78	58,0	0,2	18,80	2,40	16,40
1300008323	030622	600134	84,0	24/02/2014	48	40	72	56,0	1	47,00	1,80	45,20
1300008324	030345	595701	82,0	10/03/2014	18	32	76	54,0	0,2	17,80	1,20	16,60
1300008876	030827	595744	80,0	15/06/2014	26	28	70	49,0	0,5	25,50	0,60	24,90
1300008880	025808	600439	80,0	20/09/2013	20	32	72	52,0	0,2	19,80	2,40	17,40
1300008881	030929	595855	84,0	18/05/2014	20	44	76	60,0	0,5	19,50	0,00	19,50
1300008882	030814	600125	80,0	31/05/2013	16	32	68	50,0	1	15,00	0,00	15,00
1300008942	030406	600543	60,0	27/09/2013	25	24	48	36,0	0,15	24,85	2,40	22,45
1300008994	030743	600049	45,0	26/08/2014	17	25	41	33,0	0,5	16,50	1,80	14,70
1300009032	030546	600252	72,0	20/10/2014	30	24	70	47,0	0,5	29,50	3,00	26,50
1300009035	030337	595937	124,0	10/11/2014	16	27	88	57,5	0,3	15,70	3,60	12,10
1300009044	030537	595945	70,0	14/04/2014	18	30	64	47,0	0,2	17,80	0,60	17,20
1300009045	030726	595849	45,0	04/11/2014	25	16	45	30,5	0,3	24,70	3,60	21,10
1300009047	030552	595652	74,0	09/11/2014	23	42	66	54,0	0,5	22,50	3,60	18,90
1300009048	030815	595745	50,0	16/01/2015	19	40	50	45,0	0,2	18,80	2,40	16,40
1300009056	025732	600026	84,0	10/04/2015	29,7	20	80	50,0	0,4	29,30	0,60	28,70
1300009061	030431	595935	70,0	19/08/2007	15	38	66	52,0	0,4	14,60	1,80	12,80
1300009080	030506	600215	80,0	14/03/2014	14	28	68	48,0	0,2	13,80	1,20	12,60
1300009083	030018	600153	60,0	29/03/2014	31,25	29	52	40,5	0,5	30,75	1,20	29,55
1300009085	030400	600546	117,0	02/05/2013	13	16	102	59,0	0,5	12,50	0,00	12,50

ID SIAGAS	*COORDENADAS		PROF_POÇO (m)	DATA Medição NE	Nível da água NE (m)	SEÇÃO FILTRANTE			BOCA POCO (BP) (m)	NE-BP (m)	Fator de correção (m)	NE Final (m) Normalizado
	Latitude	Longitude				DE (m)	ATÉ (m)	MÉDIA (m)				
1300009088	030645	600116	90,0	13/10/2014	32	28	84	56,0	0,7	31,30	3,00	28,30
1300009093	030349	600051	60,0	10/09/2014	13	28	40	34,0	0,5	12,50	2,40	10,10
1300009098	030253	595929	50,0	23/04/2009	23	31	40	35,5	0,25	22,75	0,60	22,15
1300009103	030046	595829	56,0	13/11/2014	12	18	42	30,0	0,3	11,70	3,60	8,10
1300009106	025854	600049	64,0	16/06/2010	25	32	56	44,0	0,5	24,50	0,60	23,90
1300009109	025726	600105	53,0	17/03/2015	2,25	4	50	27,0	0,95	1,30	1,20	1,30
1300009143	030806	595735	50,0	02/12/2014	19	40	50	45,0	0,5	18,50	3,00	15,50
1300009144	030057	600437	64,0	09/09/2011	15	24	52	38,0	0,5	14,50	2,40	12,10
1300009151	030337	595912	85,0	10/12/2014	18	44	72	58,0	0,3	17,70	3,00	14,70
1300009152	030412	600053	84,0	26/10/2014	17	36	76	56,0	0,5	16,50	3,00	13,50
1300009155	030033	600214	40,0	11/09/2014	5,5	20	28	24,0	0,3	5,20	2,40	2,80
1300009164	030434	600029	80,0	20/05/2011	16	40	78	59,0	0,32	15,68	0,00	15,68
1300009165	030427	595658	37,5	02/03/2011	15,4	6	36	21,0	0,5	14,90	1,20	13,70
1300003454	025706	600041	36,0		8,2				0,5	7,70	monitorado	6,60
1300003456	025728	600101	20,5	monitorado	2,6				0,5	2,10	monitorado	2,10
1300003457	025736	600042	22,0	periodicamente	2,3				0,5	1,80	monitorado	1,80
1300003458	025732	600033	21,0		6				0,5	5,50	monitorado	5,50
**130000325												
1	030058	595008	150,0	07/07/2005	31,75	86	148	117,0	0,5	31,25	1,20	30,55

\*Coordenadas no formato geográfica sem os símbolos de grau, minuto e segundo. Ex: 123456 é a simplificação do formato original de 12°34'56".

\*\* Único poço com média de seção filtrante superior a 60m, utilizado por ser o único da região do Puraquequara com informações de nível de água.



APÊNDICE B - Dados utilizados para determinação da condutividade hidráulica.

ID SIAGAS	*COORDENADAS		Profundidade. (m)	NE (m)	ND (m)	Transmissividade T (m <sup>2</sup> /h)	Seção filtrante (b) (m)	K = T/b (m/h)	K = T/b (m/dia)
	Latitude	Longitude							
1300000136	030631	595649	153,50	63,04	89,19	3,23	46,00	0,07	1,69
1300000139	030249	595754	200,00	38,84	112,15	2,80	56,00	0,05	1,20
1300000140	030243	595642	203,00	30,07	113,50	4,52	67,00	0,07	1,62
1300000142	030514	595634	205,00	27,16	108,56	24,71	60,00	0,41	9,88
1300000151	030539	595848	150,00	10,00	44,15	1,50	59,60	0,03	0,60
1300000153	030217	595553	203,00	64,63	91,10	1,73	60,50	0,03	0,69
1300000157	030243	595641	199,00	38,45	115,80	5,59	67,93	0,08	1,97
1300000159	030739	600149	202,00	4,70	53,37	16,68	55,37	0,30	7,23
1300000160	030635	600050	202,00	46,20	91,03	13,96	60,00	0,23	5,58
1300000161	030242	595558	203,00	22,50	144,25	0,32	60,00	0,01	0,13
1300000162	030456	600138	153,00	44,55	90,12	13,52	39,58	0,34	8,20
1300000164	030129	600112	175,50	41,65	96,90	1,76	70,00	0,03	0,60
1300000165	030123	600021	203,00	68,87	103,96	18,67	60,00	0,31	7,47
1300000166	030431	595653	202,00	52,37	114,92	18,79	76,00	0,25	5,93
1300000168	030312	595556	202,00	61,21	116,95	1,58	68,00	0,02	0,56
1300000169	030521	595706	200,00	56,50	123,12	7,61	63,91	0,12	2,86
1300000170	030129	600037	203,00	40,95	103,46	11,60	56,50	0,21	4,93
1300000171	030710	595819	153,00	51,75	81,88	10,10	40,00	0,25	6,06
1300000174	030406	600239	171,00	55,73	90,03	4,44	43,00	0,10	2,48
1300000177	030828	595900	152,50	46,80	100,60	2,27	30,00	0,08	1,82
1300000180	025958	600152	153,00	29,65	85,50	0,76	37,74	0,02	0,48
1300000181	030728	595816	181,00	24,81	51,03	2,99	37,00	0,08	1,94
1300000183	030745	595721	153,00	55,87	90,71	1,69	42,00	0,04	0,97
1300000184	030709	595811	165,00	34,65	58,51	6,25	18,00	0,35	8,33
1300000185	030307	595559	245,00	48,90	134,52	0,36	80,00	0,00	0,11
1300000187	030303	595601	203,00	47,75	131,40	0,35	59,91	0,01	0,14
1300000188	030237	595719	223,00	73,10	115,14	8,48	64,00	0,13	3,18
1300000190	030750	595726	155,00	58,32	81,98	6,69	50,00	0,13	3,21
1300000191	030335	595648	201,00	20,70	81,53	8,74	62,00	0,14	3,38
1300000192	030653	595643	153,00	59,60	77,08	1,51	41,00	0,04	0,88
1300000197	030814	595757	153,00	52,00	86,09	3,65	45,00	0,08	1,95
1300000199	030741	595833	202,00	47,50	67,00	2,41	23,00	0,10	2,51
1300000200	030638	600048	202,00	42,50	97,30	4,16	24,75	0,17	4,03
1300000205	030503	595634	180,00	27,93	91,30	2,64	19,40	0,14	3,27
1300000208	030131	600108	189,00	52,60	115,60	1,78	21,75	0,08	1,96
1300000209	030241	595734	197,00	51,91	118,45	3,96	58,00	0,07	1,64
1300000214	030519	595732	150,00	20,00	55,58	0,67	44,20	0,02	0,36
1300000215	030920	595918	156,00	64,63	78,15	6,10	38,00	0,16	3,85
1300000216	030850	595913	151,00	48,00	79,07	4,24	31,13	0,14	3,27
1300000221	030527	595904	150,00	13,58	52,50	1,42	43,90	0,03	0,78
1300000222	030427	595629	216,00	53,26	153,89	0,71	80,00	0,01	0,21
1300000224	030639	595734	150,00	29,15	39,72	0,78	31,65	0,02	0,59
1300000228	030612	600032	158,00	52,79	84,15	1,49	35,90	0,04	1,00
1300000231	030747	600200	203,40	2,90	75,95	4,88	56,80	0,09	2,06
1300000234	030301	595731	214,00	62,29	120,15	4,32	74,00	0,06	1,40
1300000238	030245	595826	185,60	20,80	55,84	0,42	30,40	0,04	0,88
1300000243	030204	595854	220,00	3,00	60,00	1,11	62,70	0,03	0,74
1300000246	030629	600013	174,00	36,00	58,80	1,94	33,30	0,05	1,10

ID SIAGAS	*COORDENADAS		Profundidade. (m)	NE (m)	ND (m)	Transmissividade T (m <sup>2</sup> /h)	Seção filtrante (b) (m)	K = T/b (m/h)	K = T/b (m/dia)
	Latitude	Longitude							
1300000254	030050	595818	195,50	50,12	121,75	1,52	56,00	0,07	1,61
1300000255	030522	595436	228,00	12,00	94,69	3,75	126,00	0,20	4,70
1300000256	030426	595627	228,00	72,30	114,85	24,68	69,00	0,19	4,63
1300000261	030754	595822	200,00	11,00	37,80	13,32	45,80	0,24	5,76
1300000265	030539	595448	201,00	6,50	68,00	10,99	43,90	0,17	4,03
1300000266	030519	595434	202,00	15,80	37,14	7,37	45,00	0,06	1,40
1300000269	030253	595636	180,60	14,25	85,05	2,63	41,00	0,18	4,23
1300001409	030157	595835	199,00	11,67	40,20	7,22	62,30	0,30	7,28

\*Coordenadas no formato geográfica sem os símbolos de grau(°), minuto (') e segundo ("). Ex: 123456 é a simplificação do formato original de 12°34'56".