

RELATÓRIO FINAL DE ESTIMATIVA DA  
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA  
CONSIDERANDO AS OFERTAS E DEMANDAS DE  
RECURSOS HÍDRICOS



ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA DO  
ALTO DISCOBERTO - DF/GO

2020

EXECUÇÃO:

**RHA**  
RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS  
ENGENHARIA

**ELABORAÇÃO DE ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA DO ALTO  
DESCOBERTO - DF/GO**

**CONTRATO 1.1.15.3 BR FY20 001**

**PRODUTO 4 – E4**

**RELATÓRIO FINAL DE ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA  
CONSIDERANDO AS OFERTAS E DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS**

**REALIZAÇÃO:**



Proteger a natureza é preservar a vida.

**EXECUÇÃO:**

**RHA ENGENHARIA E CONSULTORIA SS LTDA**



**RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS  
ENGENHARIA**

**CURITIBA - PR  
FEVEREIRO/2020**

**ELABORAÇÃO DE ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA DO ALTO  
DESCOBERTO - DF/GO**

**CONTRATO 1.1.15.3 BR FY20 001**

**Emissão Inicial**

Rev.	Data	Elaborado por	Verificado por	Autorizado por	CREA Responsável Técnico	CE
2	20/02/2020	FPD; AVLB; PCNO	LMC; AP	CSG	67059/D	AF
1	24/01/2020	FPD; AVLB; PCNO	LMC; AP	CSG	67059/D	AE
0	28/10/2019	FPD; AVLB; PCNO	LMC; AP	CSG	67059/D	AE

**CE – Códigos de emissão**

**AE** Aprovado para emissão   **AF** Aprovação final   **VS** Versão preliminar   **CD** Cancelado

**THE NATURE CONSERVANCY**

Avenida Paulista, 2439 – Edifício Eloy Chaves, conjunto 91  
CEP 01311-300 – São Paulo/SP – Brasil

**Representante**

Ian Samuel Thompson

**Gestor do Contrato**

Lícia Azevedo

Claudio Klemz

**Equipe Técnica**

Maria Tereza Leite Montalvao

Eileen Andrea Acosta

Edenise Garcia

**RHA ENGENHARIA E CONSULTORIA SS LTDA.**

Rua Voluntários da Pátria, 400 - Sala 1402

CEP 80020-000 – Centro – Curitiba/PR – Brasil

Tel./Fax +55 41 3232 0732 – [www.rhaengenharia.com.br](http://www.rhaengenharia.com.br)

**REPRESENTANTE LEGAL**

Candice Schauffert Garcia

Engenheira Civil

Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental

[csgarcia@rhaengenharia.com.br](mailto:csgarcia@rhaengenharia.com.br)

**COORDENAÇÃO**

**Coordenadora Geral**

Eng.<sup>a</sup> Civil Candice Schauffert Garcia, M.Sc.

**Coordenador Técnico**

Eng.<sup>o</sup> Civil Laertes Munhoz da Cunha, M.Sc.

**Coordenadora Executiva**

Eng.<sup>a</sup> Ambiental Andréia Pedroso, M.Sc.

**EQUIPE TÉCNICA**

Eng.<sup>o</sup> Civil Felipe Pereira Diniz, M.Sc.

Eng.<sup>a</sup> Ambiental e Sanitarista Kássia Regina Bazzo, M.Sc.

Eng.<sup>o</sup> Químico André Virmond Lima Bittencourt, Pós-Dr. (Especialista em Hidrogeologia)

Geógrafa Karine Krunn

Geóloga Paula Cristina Neuburger de Oliveira

Administradora Francine Daufenbach Bruehmueller

Estagiário em Eng. Civil Otávio Maruyama Vogel

## **DADOS CONTRATUAIS**

Contrato 1.1.15.3 BR FY20 001, de 19 de julho de 2019 até 28 de fevereiro de 2020.

Partes: Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, CNPJ nº 00.104.175/0007-34, e RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda., CNPJ nº 03.983.776.0001-67.

Objeto: Estudo Hidrológico da Bacia do Alto Descoberto.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de desenvolvimento do Estudo Hidrológico da Bacia do Alto Descoberto .....	10
Figura 2 – Estações fluviométricas e sub-bacias do Alto Descoberto .....	11
Figura 3 – Poços da rede de monitoramento da água subterrânea da ADASA na bacia do Alto Descoberto .....	15
Figura 4 – Espacialização das demandas hídricas superficiais e usos preponderantes por ponto de controle.....	22
Figura 5 – Médias mensais de vazão anuais das sub-bacias do Alto Descoberto .....	23
Figura 6 – Disponibilidade hídrica natural (período histórico de vazões de 1979 a 2017) na bacia do Alto Descoberto .....	24
Figura 7 – Divisão das principais sub-bacias do Alto Descoberto e áreas de drenagem.....	26
Figura 8 – Curva de regularização do reservatório .....	28
Figura 9 – Localização dos pontos de demandas no AcquaNet .....	29
Figura 10 – Demandas com déficit hídrico na bacia do Alto Descoberto .....	31
Figura 11 – Curva Falha vs. Demanda do reservatório do Alto Descoberto.....	33
Figura 12 – Mapa geológico da bacia do Alto Descoberto .....	34
Figura 13 – Mapa de domínios hidrogeológicos da bacia do Alto Descoberto .....	38
Figura 14 - Poços do banco de outorga da ADASA na bacia do Alto Descoberto.....	39
Figura 15 – Localização das captações de água subterrânea na bacia do Alto Descoberto cadastradas no SIAGAS .....	41
Figura 16 – Proporções de poços registrados no SIAGAS na bacia do Alto Descoberto, conforme intervalos de vazão .....	42
Figura 17 – Mapa da vazão de produção dos poços tubulares profundos .....	43
Figura 18 – Condutividade da água subterrânea do domínio aquífero fraturado na bacia do Alto Descoberto .....	45
Figura 19 – Condutividade da água subterrânea do domínio aquífero poroso na bacia do Alto Descoberto .....	46
Figura 20 – Mapa de vulnerabilidade da bacia do Alto Descoberto .....	48
Figura 21 – Linemaentos desenhados com base em relevos sombreados da bacia do Alto Descoberto, obtidos a partir do modelo digital de elevação .....	59
Figura 22 – Mapa de densidade de lineamentos.....	60
Figura 23 – Mapa de topo do aquífero, obtido através da interpolação de dados de nível estático do SIAGAS e de poços com cadastro de outorga.....	61
Figura 24 – Mapa de vulnerabilidade da bacia do Alto Descoberto quanto à declividade .....	62
Figura 25 – Mapa geomorfológico do plano de manejo da APA da bacia do Alto Descoberto .....	63
Figura 26 – Mapa de espessura de solos da bacia do Alto Descoberto.....	64
Figura 27 – Tipos de solos na bacia do Alto Descoberto.....	65
Figura 28 – Mapa potenciométrico da bacia do Alto Descoberto.....	66
Figura 29 – Mapa de classes de recarga da bacia do Alto Descoberto .....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pontuações e fontes de informações para o abastecimento de classes de vulnerabilidade dos aquíferos da bacia do Alto Descoberto .....	20
Quadro 2 – Indicadores de disponibilidade hídrica na bacia do Alto Descoberto .....	23
Quadro 3 – Relações área vs. comprimento para as sub-bacias do Alto Descoberto .....	25
Quadro 4 – Vazões de referência ( $Q_{95\%}$ ) nas principais sub-bacias e no reservatório do Alto Descoberto .....	27
Quadro 5 – Demandas e vazões de cada nó informadas no AcquaNet.....	30
Quadro 6 – Déficits hídricos nas sub-bacias do Alto Descoberto para o cenário atual.....	31
Quadro 7 – Déficit hídrico no reservatório do Alto Descoberto para o cenário atual .....	32
Quadro 8 – Déficits hídricos pontuais do Alto Descoberto para os cenários de curto e médio prazo...	32
Quadro 9 – Déficit hídrico no reservatório do Alto Descoberto para os cenários de curto e médio prazo .....	32
Quadro 10 – Características de unidades do sistema aquífero poroso na bacia do Alto Descoberto ..	37
Quadro 11 - Dados de captações de água subterrâneas do cadastro de outorgas da ADASA e do SIAGAS na bacia do Alto Descoberto.....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>10</b>
2.1.	DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL	10
2.2.	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL	11
2.2.1.	Vazão regionalizada	11
2.2.2.	Vazão de referência	12
2.2.3.	Curva de regularização do reservatório	12
2.3.	BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL	13
2.3.1.	AcquaNet	13
2.4.	DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA	14
2.4.1.	Monitoramento da água subterrânea	14
2.5.	DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÂNEA	15
2.6.	VULNERABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA	16
2.6.1.	Densidade de lineamentos estruturais	17
2.6.2.	Classe de topo de aquífero	18
2.6.3.	Declividade	18
2.6.4.	Geomorfologia	18
2.6.5.	Espessura do manto de alteração	18
2.6.6.	Tipo de solo	18
2.6.7.	Potenciometria	19
2.6.8.	Litologia	19
2.6.9.	Recarga de aquífero	19
2.6.10.	Vulnerabilidade geral dos aquíferos	19
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>21</b>
3.1	ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL	21
3.2	ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL	22
3.2.1.	Vazão regionalizada	22
3.2.2.	Vazão de referência	24
3.2.3.	Curva de regularização do reservatório	27
3.3	BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL	28
3.4	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	33
3.4.1.	Aspectos litológicos e estruturais	33
3.4.2.	Contexto hidrogeológico	35
3.5	ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÂNEA	38
3.6	ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA	41
3.7	QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	43
3.8	VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS	47
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>APÊNDICES</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS DIGITAIS</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Alto Descoberto apresentou situações preocupantes de disponibilidade hídrica a partir de 2016, consequência de anos secos seguidos, temperaturas elevadas e degradação do solo (TNC, 2019). Para gerenciar os eventuais conflitos decorrentes de situações de crise hídrica na região, é necessário identificar quais pontos na bacia encontram-se em potencial situação de escassez, de modo a tornar possível a proposição de medidas, estruturais e não estruturais, mitigadoras para a redução do risco de desabastecimento público de água.

O conhecimento das demandas e disponibilidades hídricas, bem como do balanço hídrico nessa região é, portanto, passo fundamental para o embasamento do planejamento técnico e financeiro para subsidiar soluções para esta problemática.

Nesse sentido, o Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil (TNC) contratou o presente **Estudo Hidrológico da Bacia do Alto Descoberto - DF/GO**.

Inicialmente, realizou-se o levantamento e consistência das outorgas existentes na bacia do Alto Descoberto com base nos bancos de dados disponíveis, complementados por meio de métodos indiretos de estimativas, resultando no **Produto 2 – Relatório final de caracterização dos usos múltiplos da bacia e demandas hídricas**. Dessa etapa, identificou-se que a demanda hídrica total da bacia é 9,53 m<sup>3</sup>/s, da qual 97% provém de captações superficiais. Das captações superficiais, 86% são exclusivamente provenientes do reservatório do Descoberto.

No **Produto 3 – Relatório final de estimativa do balanço hídrico em condições naturais da bacia**, consistiu-se as séries de vazões das estações fluviométricas disponíveis e estimou-se a disponibilidade hídrica natural, sem efeitos antrópicos, da bacia por meio dos seguintes indicadores de disponibilidade hídrica: vazões médias diárias de 70% (Q<sub>70%</sub>), 90% (Q<sub>90%</sub>) e 95% (Q<sub>95%</sub>) de permanência, ou seja, a vazão que é igualada ou superada, respectivamente, em 70%, 90% e 95% do tempo. Frente às demandas, identificou-se o reservatório do Descoberto como o maior ponto de estresse hídrico da bacia. Realizou-se, também, um balanço de massa a partir da equação da continuidade para avaliar as entradas e saídas na bacia.

Finalizando o estudo hidrológico requisitado para a bacia do Alto Descoberto, este relatório, **Produto 4 – Relatório final de estimativa da disponibilidade hídrica da bacia**, tem como objetivo avaliar a disponibilidade hídrica superficial considerando os efeitos de regularização do reservatório do Descoberto para balancear as ofertas e demandas na bacia. Complementarmente, foi elaborada uma caracterização dos recursos hídricos subterrâneos da bacia, com vistas ao conhecimento da hidrogeologia, levantamento dos poços existentes, estimativa das disponibilidades e demandas hídricas e avaliação da qualidade da água.

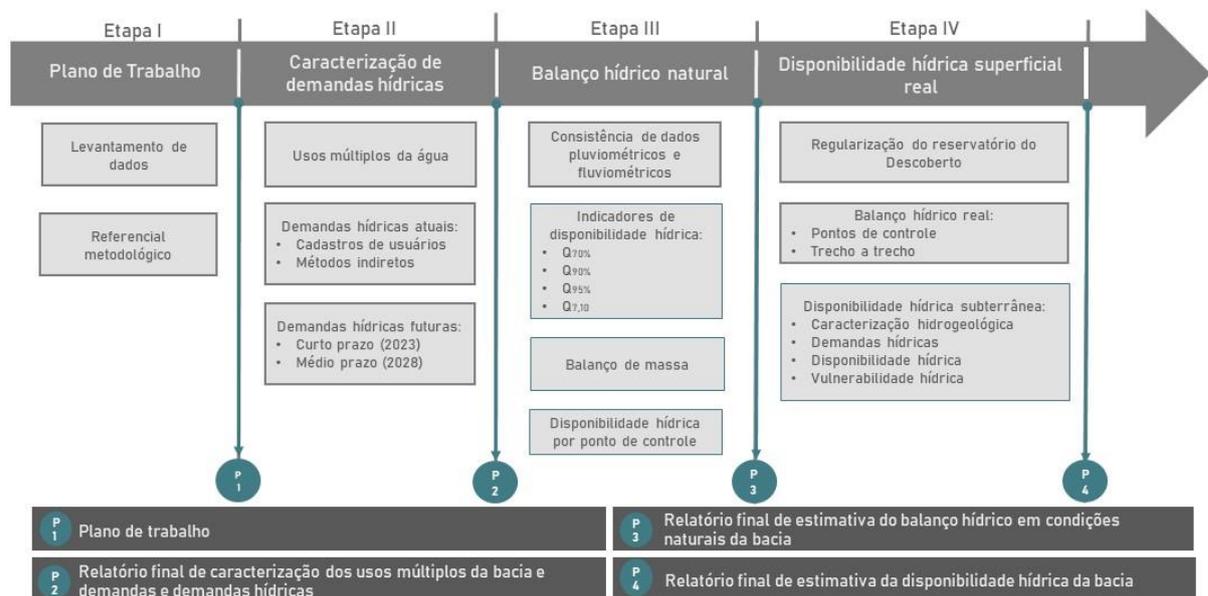
É importante destacar que, embora as informações dos produtos anteriores estejam sintetizadas neste relatório final, para a completa compreensão do lastro metodológico que envolveu o **Estudo Hidrológico da Bacia do Alto Descoberto - DF/GO** e o detalhamento dos respectivos resultados deve-se consultar também o **Produto 2** e o **Produto 3** deste Estudo.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A diferença entre a disponibilidade hídrica e as demandas de uso consuntivo da água é tratada no presente estudo como o balanço hídrico. O balanço hídrico permite identificar regiões e trechos com déficit hídrico e assim dar suporte para a gestão dos recursos hídricos.

Para tanto, foi necessário primeiramente realizar um levantamento das outorgas existentes na bacia e a sua cearização futura, conforme apresentado no **Produto 2**. Em seguida, analisou-se a disponibilidade hídrica na bacia em suas condições naturais, sem efeitos antrópicos, como consta no **Produto 3**. De posse desses estudos, pode-se avaliar a capacidade de suporte real da bacia frente às demandas, atuais e futuras, apresentada neste **Produto 4**. Para a melhor compreensão do encadeamento das etapas, atividades e produtos, apresenta-se o fluxograma de desenvolvimento do Estudo Hidrológico da Bacia do Alto Descoberto na Figura 1.

**FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



A seguir são descritos os métodos e dados utilizados para a realização do balanço hídrico real na bacia do Alto Descoberto.

### 2.1. DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL

As demandas hídricas superficiais na bacia do Alto Descoberto foram levantadas de acordo com o **Produto 2**. A caracterização das demandas hídricas consuntivas foi realizada considerando as outorgas concedidas na área de estudo. Adicionalmente, tendo em vista que os cadastros de outorgas possuem limitações inerentes à sua própria natureza, podendo apresentar discrepâncias com os valores efetivamente utilizados (ANA, 2017), as demandas hídricas outorgadas foram confrontadas com as demandas hídricas obtidas do estudo “Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil” (ANA, 2019).

Para a porção da bacia hidrográfica do Alto Descoberto, contida no Distrito Federal, as outorgas superficiais e subterrâneas são concedidas pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA). Tais dados foram fornecidos pela TNC. Em relação à porção da bacia que pertence ao estado de Goiás, verificou-se, por meio de consulta à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD, 2007), que não há outorgas concedidas nesta área. As outorgas no rio Descoberto, de domínio da União, são concedidas pela ANA e foram extraídas diretamente na planilha de outorgas, disponibilizada *on-line* pela Agência.

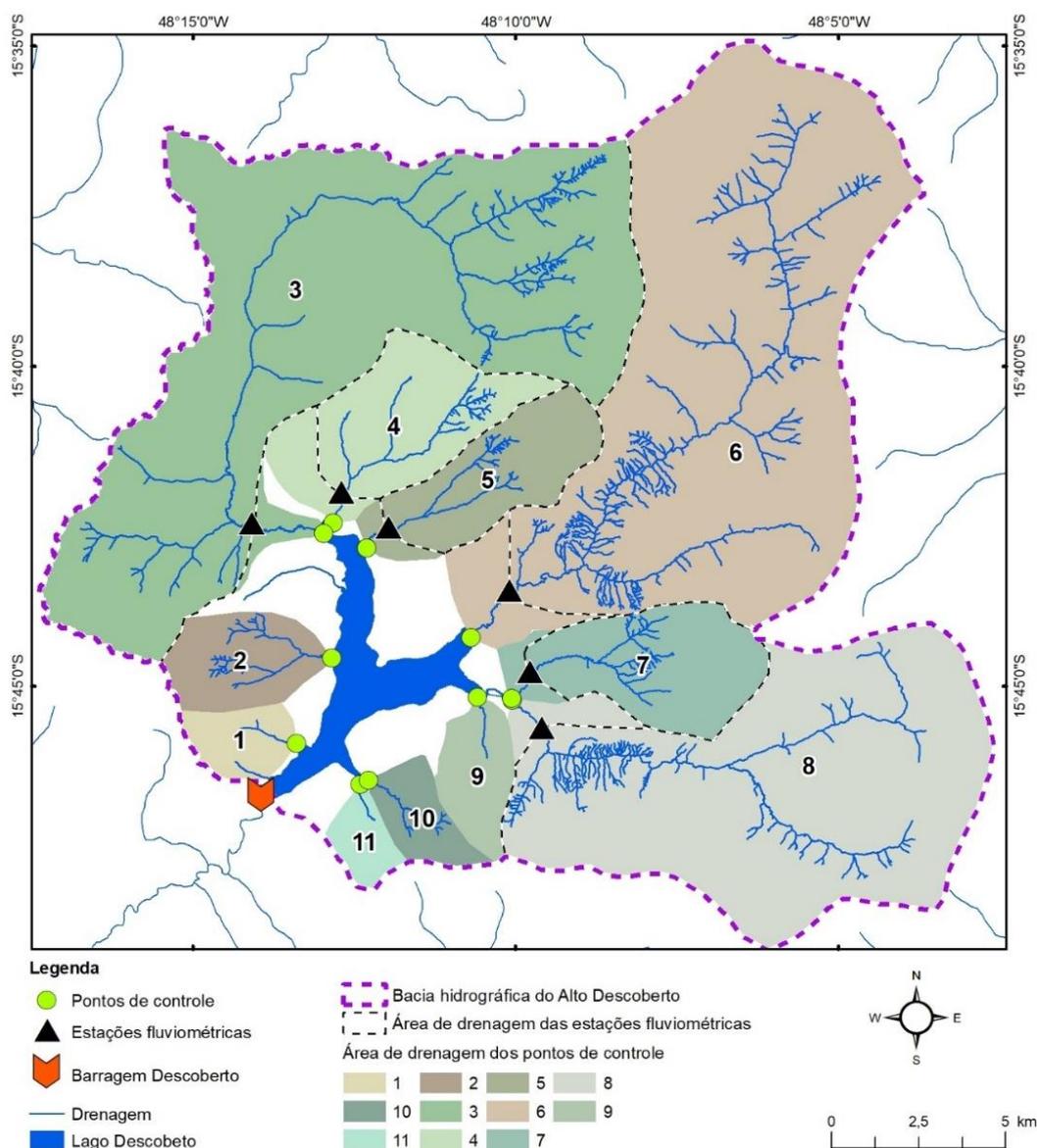
A cenarização futura das demandas foi realizada para os horizontes de 2023 (curto prazo) e 2028 (médio prazo), com base na projeção verificada ao longo dos anos nas bases de dados mencionadas acima.

## 2.2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

### 2.2.1. Vazão regionalizada

Para avaliar a disponibilidade hídrica superficial, utilizou-se as informações do regime hidrológico representado pelas séries fluviométricas, de 1979 a 2017, geradas e consistidas com dados e informações das estações de monitoramento apresentadas no **Produto 3**, usadas como base para a regionalização de vazões para os demais pontos de interesse. A Figura 2 apresenta a localização das estações fluviométricas cujos dados foram utilizados, assim como a divisão da bacia do Alto Descoberto em sub-bacias e os pontos de controle definidos.

FIGURA 2 – ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E SUB-BACIAS DO ALTO DESCOBERTO



A transferência de vazão das estações fluviométricas para os pontos de controle e outros eventuais pontos de interesse foi realizada com a aplicação de técnica de regionalização hidrológica, neste caso adotada a simples relação entre as áreas de drenagem das estações e dos pontos de controle/interesse. Para tanto, admitiu-se a homogeneidade hidroclimatológica dentro de cada sub-bacia, pela localização no mesmo curso de água e pelo regime de chuvas semelhante na região.

De posse das vazões regionalizadas para os pontos de controle, pode-se conhecer a vazão de referência para outorgas e a máxima captação permitida em cada trecho de rio. Sabendo-se o volume do reservatório, pode-se analisar, também, sua capacidade de regularização de vazões para suprir determinadas demandas, equilibrando superávits de água em períodos úmidos com déficits hídricos em períodos secos.

### 2.2.2. Vazão de referência

Segundo a Resolução/ADASA nº 350 de 2006, a vazão máxima de captação é de até 80% da vazão de referência, exceto para o caso de abastecimento público quando a captação pode atingir 90% da vazão de referência. Para rios de domínio da União, como é o caso do rio Descoberto, principal contribuinte da bacia que se encontra na divisa entre os estados de Goiás e Distrito Federal, a disponibilidade hídrica na bacia foi avaliada com base na vazão diária de 95% de permanência ( $Q_{95\%}$ ), conforme recomendação da ANA (2014). A estimativa e análise desta e de outras vazões de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$ ) constam no **Produto 3**. Dessa forma, pode-se estimar qual a retirada máxima de água permitida em cada trecho nas sub-bacias em função da disponibilidade hídrica, avaliada pela  $Q_{95\%}$  conforme definido acima.

Tendo em vista que o balanço hídrico visa analisar a diferença entre disponibilidade e demanda hídrica trecho a trecho, fez-se necessário o conhecimento da disponibilidade hídricas em diversos pontos ao longo dos rios principais da bacia do Alto Descoberto.

Para tanto, com a disponibilidade hídrica já conhecida no exutório de cada sub-bacia, representada pela correspondente vazão específica ( $m^3/s/km^2$ ), de maneira robusta, mas adequada aos objetivos deste estudo, estabeleceu-se uma relação entre as áreas de drenagem e o comprimento do curso de água nas sub-bacias, para obter a vazão correspondente à disponibilidade hídrica em qualquer ponto do curso de água em função da localização do ponto ao longo do rio. Esta informação, associada às demandas superficiais, permite a apresentação do balanço hídrico trecho a trecho.

Esta metodologia foi adotada para as principais sub-bacias (3 a 8) do Alto Descoberto, por serem as mais representativas em função de suas áreas de drenagem e contribuição para o reservatório, possuírem as estações fluviométricas utilizadas no **Produto 3** e serem alvo das maiores demandas bacia fora da área do reservatório.

### 2.2.3. Curva de regularização do reservatório

O reservatório de acumulação tem por objetivo a regularização de vazões, que no presente caso, contribui para o aumento da disponibilidade hídrica, para as captações realizadas diretamente na área alagada e, portanto, sendo considerado nesse estudo. De acordo com Pinto et al. (1976), a curva de regularização, obtida da curva de massa ou diagrama de Rippl, relaciona o volume disponível no reservatório com a vazão regularizada. Uma das formas de aplicação deste método consiste em obter, ao longo do tempo, a soma acumulada da diferença entre a vazão afluente diária e a vazão a ser regularizada, fazendo o somatório igual a zero sempre que o valor resultante for positivo. O volume correspondente para regularizar a referida vazão é obtido, diretamente, pela menor soma acumulada, tomada em valor absoluto e multiplicada pelo número de segundos de um dia.

Para obter a curva de massa definiu-se arbitrariamente quatro vazões hipotéticas de regularização, sendo elas de 1,5 m<sup>3</sup>/s, 3 m<sup>3</sup>/s, 5 m<sup>3</sup>/s e 7 m<sup>3</sup>/s.

Definida a curva de regularização, pelo diagrama de Rippl (também chamado de “método histórico” ou “abordagem empírica”), sabendo-se do volume útil do reservatório Descoberto, determina-se a correspondente vazão regularizada. Vale a pena registrar que em estudos desta natureza está sempre associado um risco de falha, no caso de manutenção da vazão defluente igual à vazão regularizada ao longo de um período semelhante ao da série histórica de vazões. Nesta abordagem empírica o risco não pode ser estimado, seja por frequência relativa ou diretamente por métodos probabilísticos ou estocásticos. Contudo, segundo Gomide (1986) *“Há correntes de pensamento, no entanto, que argumentam que os praticantes de hidrologia e estudos energéticos, ao adotarem o chamado ‘método histórico’, na verdade têm como expectativa que a probabilidade de sucesso implícita seja da ordem de 50%”*.

### 2.3. BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL

Para a realização do balanço hídrico na bacia do Alto Descoberto foi utilizado o *software* AcquaNet, modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas, desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Simulou-se o período histórico da bacia de 1979 a 2017 considerando as demandas superficiais estimadas e utilizando as vazões diárias afluentes no reservatório.

O balanço hídrico superficial foi avaliado tanto para o cenário atual quanto para os cenários de curto prazo, referente ao ano de 2023, e médio prazo, referente ao ano de 2028.

#### 2.3.1. AcquaNet

Com a disponibilidade hídrica e demanda distribuídas espacialmente nas sub-bacias, torna-se possível a identificação de regiões e trechos com déficit hídrico, a partir da realização do balanço hídrico simplificado, ou seja, da diferença entre as disponibilidades hídricas e as demandas hídricas ao longo do curso de água. Devido à complexidade dos sistemas hídricos, devem ser utilizados métodos computacionais, viabilizando a realização de simulações de otimização.

O AcquaNet permite a análise de sistemas de recursos hídricos, com uma interface que utiliza tecnologia SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Para a estruturação da rede de fluxo e aplicação do modelo na área de estudo são necessários dados específicos do local, principalmente referentes à disponibilidade hídrica, demandas de uso da água, características e dados operacionais dos reservatórios e prioridades de atendimento das demandas e dos níveis dos reservatórios.

A representação física da rede em estudo é realizada utilizando-se os seguintes elementos disponíveis no modelo: reservatório, nó de passagem, demanda e link. Os três primeiros são os pontos da rede para onde convergem ou de onde saem os fluxos de água. Os links são as ligações entre os elementos do sistema hídrico, representando o fluxo da água.

Uma vez elaborada a rede de fluxo, o algoritmo *Out-of-Kilter*, utilizado no AcquaNet, aloca a água de maneira otimizada no sistema. Este é um algoritmo de programação linear primal-dual que foi desenvolvido especialmente para a solução eficiente de problemas de minimização de custos em redes de fluxo.

De acordo com as vazões naturais da bacia, o modelo calcula as vazões que devem passar pelos diversos pontos da rede. Nestes pontos, quando a disponibilidade hídrica não é suficiente para o atendimento às demandas, o modelo aponta a existência de déficits hídricos.

Além dos valores de disponibilidade e demanda hídrica é necessário especificar a ordem de prioridade de atendimento, cuja escala varia de 1 a 99, sendo 1 a prioridade mais alta e 99 a prioridade mais baixa. O modelo atende às demandas na ordem das prioridades, das mais altas para as mais baixas. No final da rede é necessária a introdução de uma demanda fictícia, denominada “Dreno”, que tenha como características uma vazão demandada muito alta, para “drenar” as águas excedentes, evitando que o algoritmo entregue água em excesso para as outras demandas, de uma prioridade muito baixa, para não competir com a água destinada às demandas reais.

Assim, todas as demandas receberam prioridade 1, o abastecimento do reservatório recebeu prioridade 2 e o Dreno prioridade 3. Dessa maneira, o AcquaNet realizou a alocação de água na rede buscando sempre atender primeiro as demandas, para só então usar o excedente de água para o enchimento do reservatório e, por fim, “drenar” a água excedente.

No ponto do reservatório, as vazões fornecidas foram condicionadas pela operação do reservatório. Como informação específica ao reservatório, informou-se a curva *Cota vs. Volume útil* disponibilizada pela TNC. Adicionalmente, informou-se o volume máximo, mínimo e inicial, este sendo adotado como o volume máximo e adotou-se como volume meta 100% do volume do reservatório. Isso significa que sempre que possível, à medida que haja água excedente para armazenamento, o AcquaNet buscará manter o reservatório totalmente cheio. Diferentemente das sub-bacias, onde foram simuladas as demandas e vazões constantes no tempo, informou-se a série de vazões diárias consistidas afluentes no reservatório, conforme **Produto 3**, para avaliar a capacidade de resposta do mesmo em atender as demandas. Ademais, as afluências foram decrescidas de 10% da  $Q_{95\%}$ , uma vez que, segundo a Resolução/ADASA nº 350/2006, as demandas no reservatório se destinam em quase sua totalidade ao abastecimento público. Dessa forma, garantiu-se a jusante do reservatório o fornecimento da vazão ecológica. Uma síntese das afluências no reservatório consta no APÊNDICE 1.

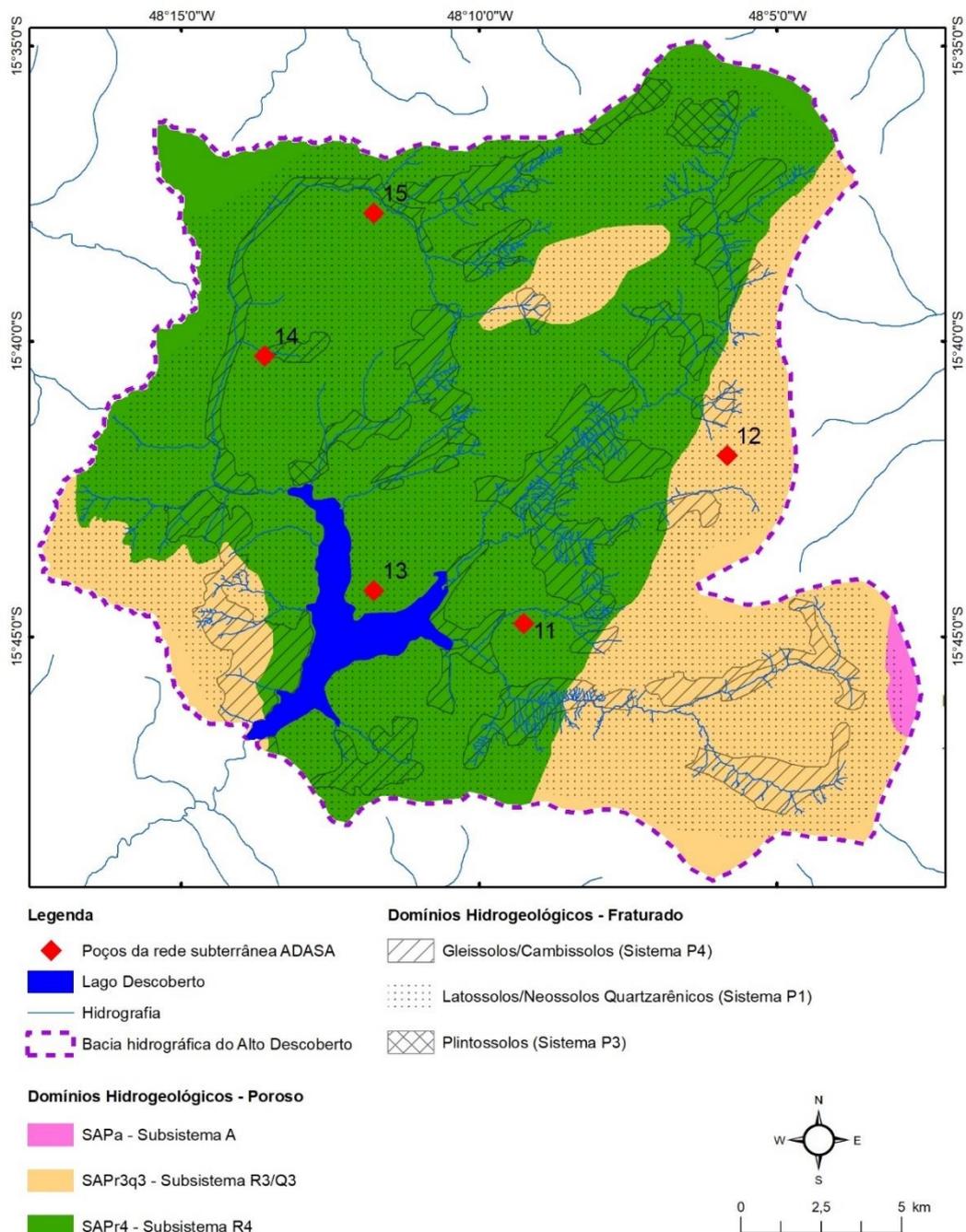
## 2.4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

Os estudos de disponibilidade hídrica subterrânea foram realizados considerando dados levantados e compilados por ocasião do Plano de Manejo da APA do Descoberto, onde estão delineados os aspectos fundamentais para estabelecimento da disponibilidade hídrica na bacia. Foi realizada inicialmente uma abordagem do contexto hidrogeológico e sistemas aquíferos da área de estudo. Complementarmente, foram levantadas e reavaliadas as informações existentes nos poços de monitoramento de água subterrânea, tanto no que se refere à disponibilidade hídrica quanto qualidade da água.

### 2.4.1. Monitoramento da água subterrânea

A ADASA mantém uma rede de monitoramento da água subterrânea, com cinco poços situados na bacia hidrográfica do Alto Descoberto, como registrado na Figura 3. Pela importância e características da bacia e dos compartimentos hidrogeológicos seria desejável uma rede mais densa de pontos monitorados, para um gerenciamento mais acurado do comportamento tanto volumétrico como qualitativo dos mananciais subterrâneos.

**FIGURA 3 – POÇOS DA REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA ADASA NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



Fonte: ADASA (2017); MMA e ICMBio (2014).

## 2.5. DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÂNEA

As principais fontes de informações sobre a captação de água subterrânea na bacia são o banco de dados do SIAGAS/CPRM (2019) e os registros de captações outorgadas por parte da ADASA, estes últimos apenas na área de responsabilidade do órgão, o Distrito Federal. O SIAGAS mantém arquivo alimentado pelos usuários da água subterrânea, que tem condições de armazenar desde dados construtivos dos poços e parâmetros hidráulicos, bem como dados da qualidade da água. A grande maioria dos dados constantes do sistema são referentes a captações sob responsabilidade de companhias de saneamento e órgãos

públicos. Os dados que mais constam do SIAGAS são: localização do ponto de água, data de perfuração do poço, profundidade atingida, nível estático, nível dinâmico e vazão de exploração. No que se refere a dados de qualidade de água, os registros são relativamente muito poucos e, quando ocorrem, privilegiam pouco mais do que valores de condutividade, pH, temperatura e coliformes, obtidos quando da perfuração do poço. Em poucos casos são disponibilizados dados de monitoramento regular multitemporal.

## 2.6. VULNERABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

Para a análise dos fatores que podem comprometer as águas subterrâneas, um aspecto importante é a vulnerabilidade intrínseca natural dos aquíferos, notadamente quanto a contaminações geradas na superfície e infiltradas até atingir os corpos de água subterrânea. Foster (1988) comenta que a vulnerabilidade de um aquífero pode ser definida como a sensibilidade que este aquífero pode apresentar quando submetido a uma carga contaminante, em função de suas características intrínsecas.

A identificação da vulnerabilidade de determinado segmento territorial depende do conhecimento existente sobre os fatores que a influenciam. Quanto mais detalhado é o conhecimento da distribuição espacial de tais fatores tanto mais acurada vai ser a avaliação da vulnerabilidade, sendo a escolha do método mais adequado para análise de vulnerabilidade uma função da disponibilidade de dados e das características da região (LOBO, 1995).

Dentre os métodos mais empregados, destaca-se o método denominado DRASTIC (ALLER et al. 1985). As iniciais dos parâmetros ou fatores utilizados nesse método, que deram origem à sigla DRASTIC são:

- “D” (depht) profundidade do nível da água subterrânea;
- “R” (recharge) recarga do aquífero;
- “A” (aquifer) litologia do aquífero;
- “S” (solo) tipo de solo;
- “T” (topograph) topografia;
- “I” (impact) impacto da zona vadosa;
- “C” (conductivity) condutividade hidráulica.

O método DRASTIC consiste em atribuir peso aos fatores de 1 a 5 e notas às unidades de cada fator que variam de 1 a 10. Esses fatores são relacionados entre si, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{ÍNDICE DRASTIC} = D_p D_c + R P R_c + A P A_c + S P S_c + T P T_c + I P I_c + C P C_c$$

Onde:

$D_p$ ,  $R_p$ ,  $A_p$ ,  $S_p$ ,  $T_p$ ,  $I_p$ ,  $C_p$  são os pesos dos fatores DRASTI;

$D_c$ ,  $R_c$ ,  $A_c$ ,  $S_c$ ,  $T_c$ ,  $I_c$ ,  $C_c$  são as notas atribuídas às unidades de cada fator.

Os métodos de avaliação da vulnerabilidade, comumente são desenvolvidos para aquíferos do domínio poroso, normalmente mais isotrópicos do que no domínio fissural. A adaptação do método para o domínio fissural tem sido um desafio em face de sua anisotropia, todavia tem sido utilizado com relativo sucesso para a avaliação comparativa entre segmentos territoriais auxiliando o planejamento para uso do solo e proteção de mananciais subterrâneos.

Para avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos da bacia do Alto Descoberto, em função dos dados disponíveis o método DRASTIC adaptado por Lima (2009) foi selecionado para utilização neste projeto. Apesar do arcabouço geológico da região, composta por rochas metamórficas de alto grau, onde o método foi aplicado por Lima (2009), este método foi utilizado na bacia do Alto Descoberto, também sobre rochas do domínio fraturado. Os resultados deste tipo de avaliação dependem da qualidade das informações utilizadas.

Segundo Lima (2009) “os resultados indicaram que o método empregado mostrou-se efetivo na avaliação da vulnerabilidade para os aquíferos fraturados da BHRSD (Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos), podendo ser aplicado a regiões que apresentem aspectos fisiográficos análogos.” A bacia do rio São Domingos está situada na região noroeste do estado de São Paulo sobre uma litologia composta por gnaisses, anfíbolitos, migmatitos, diferentemente da bacia do Alto Descoberto. Todavia das duas comportam aquíferos de domínio fissural.

A metodologia de vulnerabilidade geral, adaptada do método DRASTIC, utilizada neste estudo, engloba as seguintes variáveis:

- densidade de lineamentos estruturais;
- topo do aquífero;
- declividade;
- geomorfologia;
- espessura do manto de alteração;
- tipo de solo;
- potenciometria;
- litologia do aquífero;
- recarga.

As variáveis foram ponderadas partindo de uma análise multicritério de acordo com a sua influência na vulnerabilidade e incorporadas em um banco de dados geográficos, o qual foi trabalhado sob ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Mapas de distribuição das referidas variáveis estão apresentados no APÊNDICE 3. As pontuações atribuídas para a avaliação das classes de recarga constam no Quadro 1 mais adiante.

### **2.6.1. Densidade de lineamentos estruturais**

Principalmente pela influência notória de fraturas e fissuras abertas na circulação da água subterrânea (Figura 21 do APÊNDICE 3) em aquíferos dependentes da porosidade secundária, a densidade de lineamentos é fator de evidente relevância.

A densidade de lineamentos foi levantada para toda a área do domínio de aquíferos fraturados da bacia do Alto Descoberto. A distribuição da densidade dá uma ideia das regiões da bacia onde há maior incidência de fraturas, portando, em princípio, uma maior facilidade para circulação de água subterrânea.

Estabelecidos os lineamentos por modelo digital de elevação (MDE), correspondente à quadrícula 15S495ZN (INPE, 2011), com o auxílio SIG foi elaborado o mapa de densidade de lineamentos, onde estão apontadas em vermelho (Figura 22 do APÊNDICE 3), as zonas que seriam as mais afetadas por deformações rúpteis na bacia, por este critério.

### **2.6.2. Classe de topo de aquífero**

O topo de aquífero parametriza a distância que um contaminante deve percorrer desde a superfície até o aquífero. Visto que na bacia do Alto Descoberto os dados referentes ao nível estático para o domínio poroso são inexpressivos, o mapa de topo de aquífero ficou restrito ao domínio fraturado.

Os aquíferos fraturados possuem zonas heterogêneas por onde a água circula, o que dificulta o estabelecimento preciso do topo do aquífero na escala de bacia. Contudo, utilizando-se dados do SIAGAS (2009) e dados de poços com cadastro de outorga, foi elaborado um mapa, constante na Figura 23 do APÊNDICE 3, com informações aproximadas das profundidades em que se encontra o nível freático, caracterizando seu topo.

### **2.6.3. Declividade**

A declividade tem implicações diretas na capacidade de infiltração da água e partição dos fluxos entre a fração infiltrada e o escoamento superficial, considerando-se que regiões com maior declividade favorecem o escoamento superficial, enquanto regiões mais planas tendem a ter mais infiltração. Esta variável foi estabelecida a partir do modelo digital de elevação 15S495ZN do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com resolução de 30 m, disponibilizado pelo projeto TOPODATA (INPE, 2011), conforme a Figura 24 do APÊNDICE 3.

### **2.6.4. Geomorfologia**

O mapa geomorfológico constante na Figura 25 do APÊNDICE 3 foi obtido dos produtos gerados no Plano de Manejo da APA Bacia do Rio Descoberto, na escala 1:100.000, elaborado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Ministério do Meio Ambiente (MMA), em dezembro de 2014. Neste mapa, há quatro classes geomorfológicas, sendo elas: escarpa, platô, relevo de morros e relevo de morros com vertente suavizada. Para este trabalho, foram consideradas as duas classes mais representativas (platô e morros com vertente suavizada), devido à baixa variação de declividade nas áreas classificadas como escarpas e relevo de morros. O relevo de morros com declividade  $> 10^\circ$  foi mantido.

### **2.6.5. Espessura do manto de alteração**

O mapa de espessura do manto de alteração apresentado na Figura 26 do APÊNDICE 3 foi elaborado a partir das espessuras médias para cada tipo de solo, como mencionado no Plano de Manejo da APA da Bacia do Rio Descoberto.

### **2.6.6. Tipo de solo**

O mapa de tipos de solos da bacia do Alto Descoberto, constante na Figura 27 do APÊNDICE 3, foi extraído do mapa de solos na escala 1:100.000, elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2003). Como o limite da bacia considerado pela Embrapa diferencia-se do limite considerado neste trabalho, as classes de solos próximas à borda das bacias foram extrapoladas. Como se trata de latossolos vermelhos e latossolos vermelho-amarelos, a extrapolação recebeu a classificação de “latossolos indiferenciados”.

### 2.6.7. Potenciometria

O mapa potenciométrico foi obtido a partir da subtração das profundidades do topo do aquífero do modelo digital de elevação da bacia do Alto Descoberto Descoberto, de forma a obter-se as cotas do topo do aquífero, que configura o mapa potenciométrico.

### 2.6.8. Litologia

No que se refere à litologia, registrada na Figura 12 no item 3.3, foram atribuídos pesos de maior vulnerabilidade às unidades com maior porcentagem de areia (MNPpr3 e MNPpq3 – Quartzito médio e metarritmito arenoso), seguida pelas argilosas (MNPpr4 e MNPpa – Metarritmito argiloso e ardósia).

### 2.6.9. Recarga de aquífero

O mapa de recarga dos aquíferos da bacia do Alto Descoberto, constante na Figura 29 do APÊNDICE 3, segue o método proposto por Lima (2009), considerando os parâmetros: geomorfologia, tipo de solo, espessura do manto de alteração e potenciometria.

A partir dos dados mencionados foi elaborado o mapa de recarga da bacia do Alto Descoberto através do método DRASTIC, adaptado por Lima (2009). Os pesos para cada parâmetro foram atribuídos de acordo com seu grau de contribuição para a recarga dos aquíferos (Quadro 1). Para a geomorfologia, foram atribuídas notas mais altas às formas mais planas do terreno, porque são regiões onde a taxa de infiltração é maior que em relevos com maior declividade. O manto de alteração recebeu notas mais altas em regiões com menor espessura de solo. As notas mais altas relacionadas aos solos devem-se àqueles com maior permeabilidade. Por fim, as cotas potenciométricas mais altas receberam notas mais elevadas.

Ao final, foi realizada uma álgebra de mapas, onde se considerou a seguinte equação:

$$R_f = G \times 3 + EMA \times 4 + S \times 6 + P \times 6$$

Onde:

R<sub>f</sub> = Recarga final;

G = geomorfologia;

EMA = espessura do manto de alteração;

S = tipo de solo;

P = potenciometria do aquífero.

### 2.6.10. Vulnerabilidade geral dos aquíferos

Por fim, a integração das informações temáticas abordadas anteriormente, deu origem ao mapa de vulnerabilidade da bacia do Alto Descoberto, cujos critérios de vulnerabilidade receberam as pontuações demonstradas no Quadro 1.

**QUADRO 1 – PONTUAÇÕES E FONTES DE INFORMAÇÕES PARA O ABASTECIMENTO DE CLASSES DE VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Densidade de lineamentos		
Classe	Nota	Descrição e fonte
Inexpressiva	1	Pontuação aumenta de acordo com o aumento da densidade. Lineamentos desenhados com base em relevos sombreados da bacia do Alto Descoberto, obtidos a partir do modelo digital de elevação 15S495ZN, do INPE (2011).
Pouco expressiva	3	
Moderada	4	
Intensa	6	
Muito intensa	7	
Topo do aquífero		
Classe	Nota	Descrição e fonte
3,64 – 20,77 m	5	Profundidades mais rasas receberam notas mais altas devido à proximidade com a potenciais fontes de contaminação. Obtido através da interpolação de dados de nível estático do SIAGAS e RHA.
20,77 – 36,91 m	4	
36,91 – 53,54 m	3	
53,54 – 70,18 m	2	
Declividade		
Classe	Nota	Descrição e fonte
0 – 10°	4	Declividades menores receberam notas mais altas por favorecerem a infiltração em relação ao escoamento superficial. Produzido a partir do modelo digital de elevação 15S495ZN, INPE (2011).
10 – 20°	2	
Litologia		
Tipo	Nota	Descrição e fonte
Unidade Ardósia	2	Rochas mais porosas receberam notas mais altas devido à sua maior permeabilidade. Plano de Manejo da APA da Bacia Descoberto (2014).
Unidade Metarritmito Argiloso	3	
Unidade Metarritmito arenoso	4	
Unidade Quartzito Médio	4	
Recarga		
Tipo	Nota	Descrição e fonte
Baixa	1	Mapa composto considerando a geomorfologia, a espessura e o tipo de solo e a potenciometria da bacia do Alto Descoberto.
Média	5	
Alta	7	
Geomorfologia		
Classe	Nota	Descrição e fonte
Platô	3	Classificação feita considerando a declividade de cada classe geomorfológica e sua posição relativa à área de recarga. Mapa Geomorfológico do Plano de Manejo da APA da Bacia do Rio Descoberto (Ministério do Meio Ambiente e ICMBio, 2014).
Morros com vertente suavizada	2	
Morros	1	
Espessura do manto de alteração		
Classe	Nota	Descrição e fonte
1,5 m	5	Os pesos aumentam conforme diminui a espessura do manto de alteração, pois solos menos espessos são uma barreira menor para infiltração e vice-versa. Embrapa (2003). Profundidades aproximadas, de acordo com o Plano de Manejo da APA da Bacia do Rio Descoberto (Ministério do Meio Ambiente e ICMBio, 2014).
7 m	4	
25 m	2	

Tipo de solo		
Classe	Nota	Descrição e fonte
Latossolos indiferenciados	2	As classes de solo mais argilosas receberam pesos mais baixos, de acordo com o teor de argila, pois a argila diminui a permeabilidade do solo e aumenta a barreira de infiltração. Embrapa (2003).
Latossolo háplico	2	
Latossolo vermelho	2	
Latosossolo vermelho-amarelo	2	
Cambissolo háplico	4	
Neossolo quartzarênico	5	
Plintossolo háplico	1	
Gleissolo háplico	3	
Gleissolo melânico	3	
Potenciometria		
Classe	Nota	Fonte
977 - 1046 m	1	Níveis potenciométricos mais altos receberam maiores ponderações devido à carga hidráulica, que impulsiona a infiltração. SIAGAS, INPE (2011).
1046 - 1094 m	2	
1094 - 1146 m	3	
1146 – 1195 m	4	
1195 – 1242 m	5	
1242 – 1324 m	6	

Ao final, foi realizada uma álgebra de mapas, onde se considerou a seguinte equação:

$$V_f = L \times 8 + T \times 6 + D \times 5 + L \times 2 + R \times 4$$

Onde:

V<sub>f</sub> = vulnerabilidade final;

D = densidade de lineamentos;

T = topo do aquífero;

L = litologia;

R = recarga.

Pelo procedimento descrito foi gerado o Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca à contaminação dos aquíferos da bacia do Alto Descoberto.

### 3 RESULTADOS

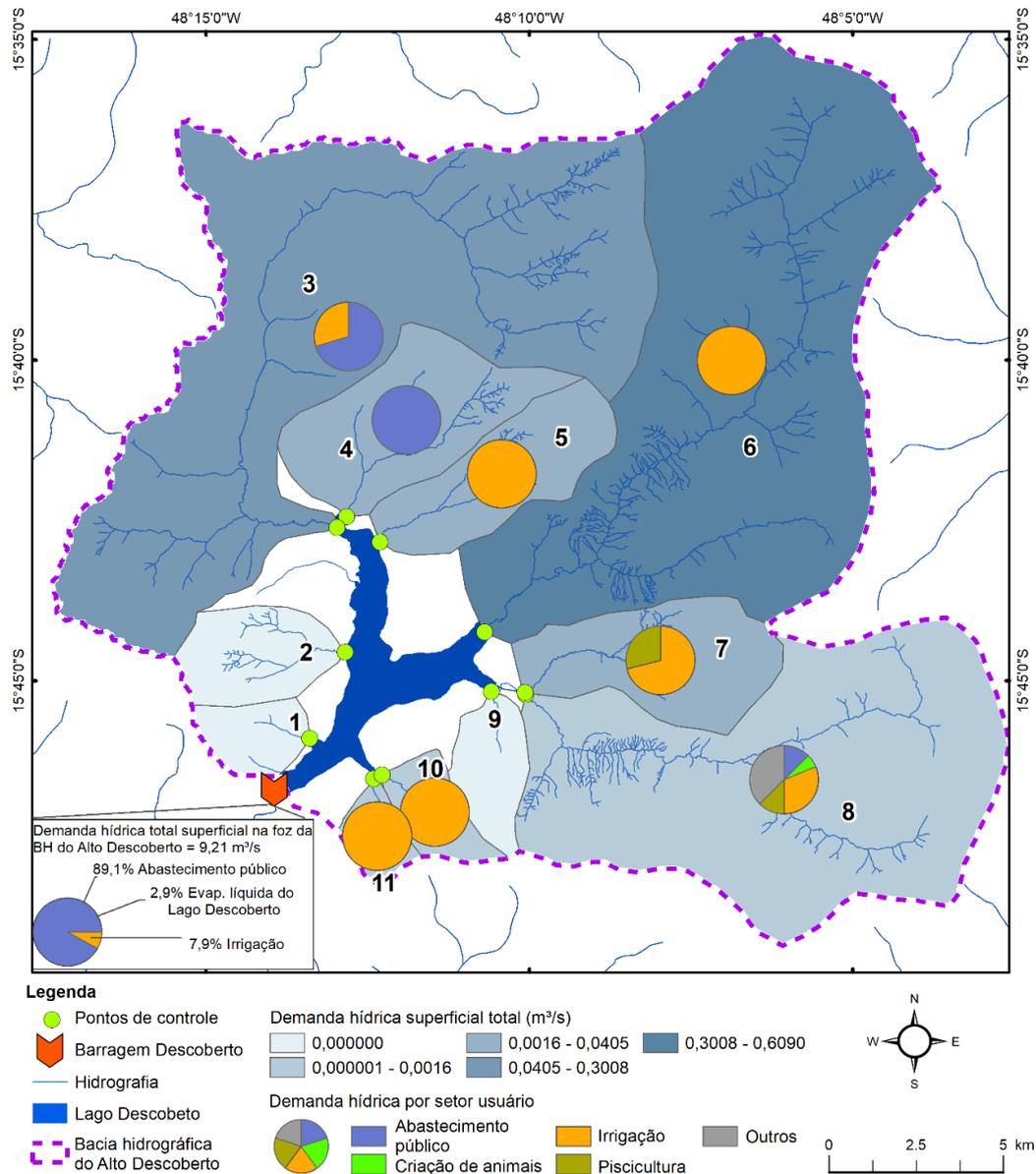
#### 3.1 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL

A demanda hídrica total na bacia do Alto Descoberto foi estimada em 9,53 m<sup>3</sup>/s, sendo o maior percentual da demanda devido às captações superficiais atingindo aproximadamente 97% do total, equivalente a 9,21 m<sup>3</sup>/s. Considerando a demanda hídrica superficial, 89,1% é destinado ao abastecimento, 7,9% à irrigação e 2,9% é devido a evaporação líquida do Lago Descoberto.

Ressalta-se que no setor do abastecimento público há um único usuário cuja **vazão outorgada (7,96 m<sup>3</sup>/s)** é responsável por 86% da demanda superficial. Esta captação está localizada na represa do Descoberto.

A Figura 4 mostra a espacialização das demandas por ponto de controle. As demandas superficiais utilizadas para a modelagem no AcquaNet do cenário atual (2018) do balanço hídrico são apresentadas no APÊNDICE 2. Para os cenários de curto prazo (2023) e médio prazo (2028), considerou-se um aumento de 8,84% e de 17,77% nas demandas, conforme as taxas de crescimento adotadas no **Produto 2**.

**FIGURA 4 – ESPACIALIZAÇÃO DAS DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS E USOS PREPONDERANTES POR PONTO DE CONTROLE**



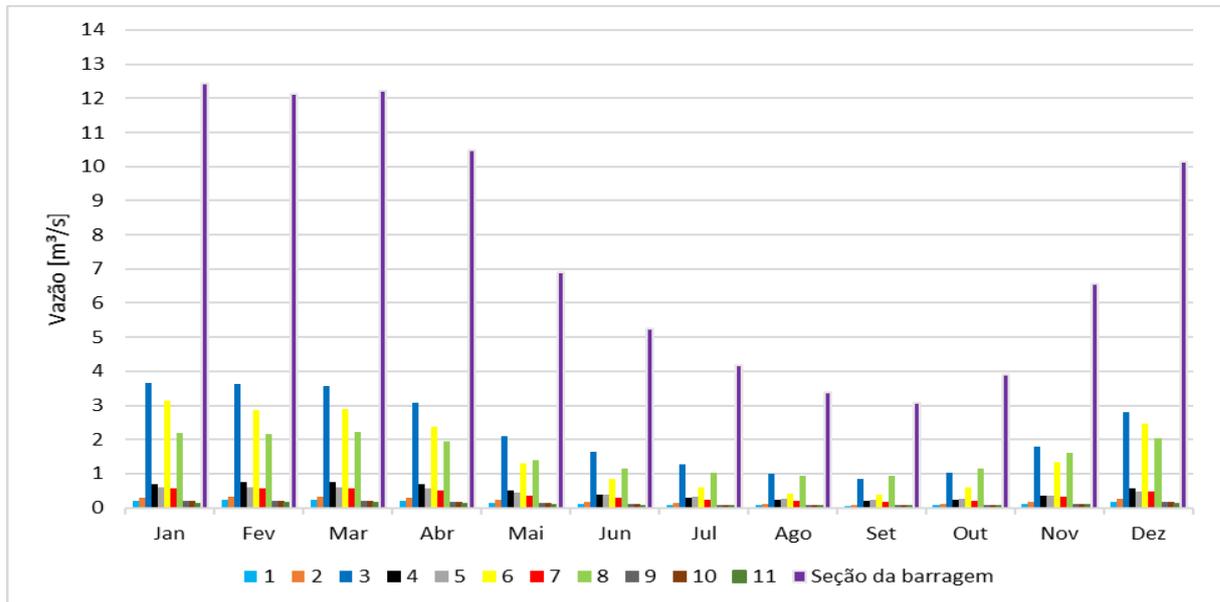
## 3.2 ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

### 3.2.1. Vazão regionalizada

As séries de vazões foram regionalizadas como apresentado no **Produto 3** e resumidamente descrito no item 2.2.1 deste estudo. A Figura 5 mostra as médias mensais em cada ponto de controle e o Quadro 2 os resultados dos indicadores de disponibilidade hídrica, juntamente com a demanda, área de drenagem e a vazão média de longo termo (MLT). Do

confronto entre a disponibilidade e demanda do Quadro 2, a Figura 6 ilustra as sub-bacias em estresse hídrico para todo o período histórico de vazões de 1979 a 2017.

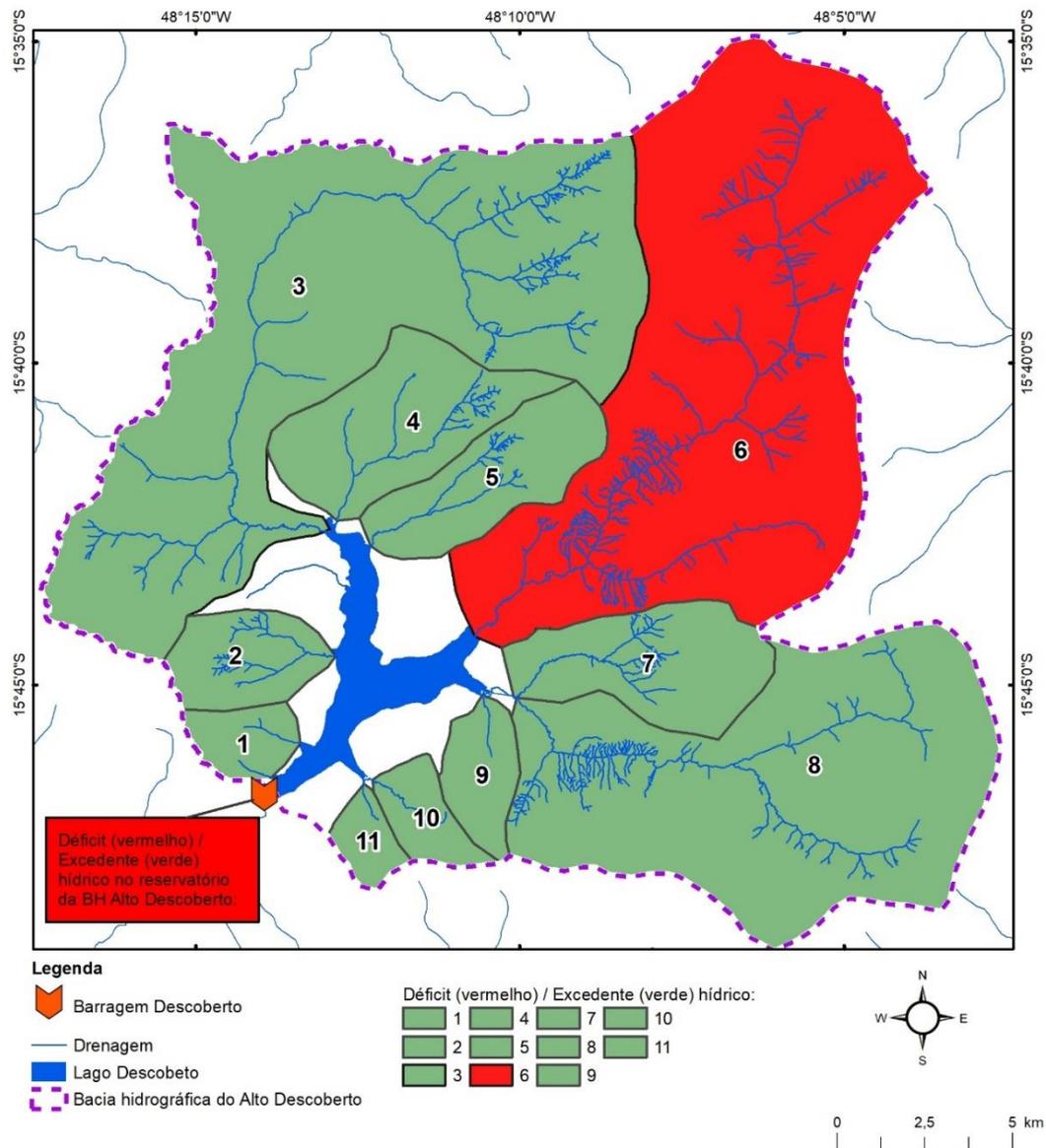
**FIGURA 5 – MÉDIAS MENSAIS DE VAZÃO ANUAIS DAS SUB-BACIAS DO ALTO DESCOBERTO**



**QUADRO 2 – INDICADORES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Ponto de controle	Sub-bacia	Área [km²]	MLT [m³/s]	Q <sub>70%</sub> [m³/s]	Q <sub>90%</sub> [m³/s]	Q <sub>95%</sub> [m³/s]	Q <sub>7,10</sub> [m³/s]
				Histórico	Histórico	Histórico	Histórico
1	Córrego Rocinha (GO)	6,91	0,14	0,075	0,036	0,024	0,012
2	Córrego Coqueiro	10,13	0,21	0,110	0,052	0,034	0,018
3	Rio Descoberto	117,12	2,19	1,170	0,610	0,390	0,126
4	Córrego Chapadinha	23,16	0,47	0,250	0,120	0,080	0,041
5	Córrego Olaria	18,04	0,39	0,308	0,204	0,137	0,044
6	Ribeirão Rodeador	116,81	1,60	0,580	0,280	0,220	0,100
7	Córrego Capão Comprido	18,84	0,37	0,220	0,140	0,110	0,041
8	Ribeirão das Pedras	81,08	1,56	1,030	0,660	0,530	0,333
9	Córrego Buriti Chato	6,90	0,14	0,081	0,052	0,041	0,015
10	Córrego Rocinha (DF)	6,67	0,13	0,078	0,050	0,040	0,015
11	Córrego do Meio	4,12	0,08	0,048	0,031	0,025	0,009
Barragem	Bacia do Alto Descoberto	435	7,54	3,950	2,200	1,620	0,781

**FIGURA 6 – DISPONIBILIDADE HÍDRICA NATURAL (PERÍODO HISTÓRICO DE VAZÕES DE 1979 A 2017) NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



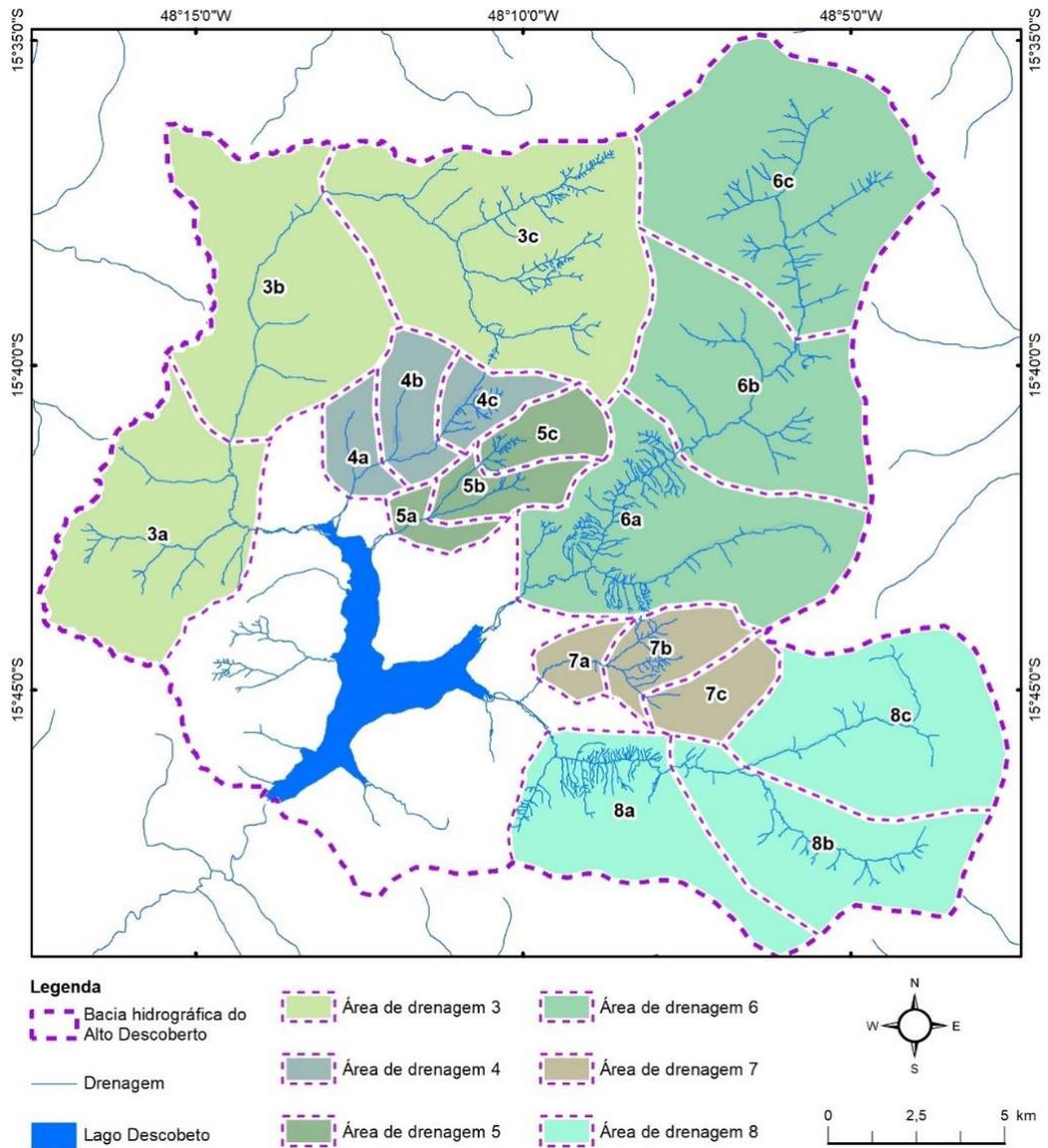
### 3.2.2. Vazão de referência

O Quadro 3 apresenta as relações *área vs. comprimento* para as principais sub-bacias, com a equação de melhor ajuste aos pontos, e a Figura 7 ilustra a divisão adotada para levantamento desta relação em cada sub-bacias.

**QUADRO 3 – RELAÇÕES ÁREA VS. COMPRIMENTO PARA AS SUB-BACIAS DO ALTO DESCOBERTO**

Sub-bacia	Parcela	Área de drenagem – y [km²]	Comprimento do rio – x [km]	Equação	Ajuste (R²)
3	3a	116,93	19,60	$y = 18,83 e^{0,0908x}$	0,9846
	3b	84,40	17,22		
	3c	47,81	10,09		
4	4a	21,49	6,63	$y = 3,8189x - 3,7127$	0,9992
	4b	15,15	4,88		
	4c	6,52	2,71		
5	5a	17,70	6,04	$y = 4,8624 e^{0,2132x}$	0,9999
	5b	13,54	4,83		
	5c	6,86	1,61		
6	6a	116,49	24,26	$y = 62,359\ln(x) - 82,719$	0,9997
	6b	79,00	13,53		
	6c	45,98	7,83		
7	7a	18,65	6,05	$y = 5,3123\ln(x) + 9,407$	0,9938
	7b	14,54	2,37		
	7c	6,80	0,64		
8	8a	80,90	16,78	$y = 79,692\ln(x) - 142,37$	0,9813
	8b	56,61	11,57		
	8c	31,56	9,14		

FIGURA 7 – DIVISÃO DAS PRINCIPAIS SUB-BACIAS DO ALTO DESCOBERTO E ÁREAS DE DRENAGEM



As vazões específicas de cada sub-bacia, utilizadas para obter as vazões de referência ponto a ponto, a partir das equações do Quadro 3, são reproduzidas do **Produto 3** no Quadro 4.

**QUADRO 4 – VAZÕES DE REFERÊNCIA ( $Q_{95\%}$ ) NAS PRINCIPAIS SUB-BACIAS E NO RESERVATÓRIO DO ALTO DESCOBERTO**

Ponto de controle	Sub-bacia	Área [km <sup>2</sup> ]	$Q_{MLT}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{95\%}$ [m <sup>3</sup> /s]	$q_{95\%}$ [m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ]
3	Rio Descoberto	117,12	2,19	0,39	0,003
4	Córrego Chapadinha	23,16	0,47	0,08	0,003
5	Córrego Olaria	18,04	0,39	0,14	0,008
6	Ribeirão Rodeador	116,81	1,60	0,22	0,002
7	Córrego Capão Comprido	18,84	0,37	0,11	0,006
8	Ribeirão das Pedras	81,08	1,56	0,53	0,007
Barragem	Bacia do Alto Descoberto	435	7,54	1,62	0,004

Nota:  $Q_{MLT}$  – vazão média de longo termo;  $Q_{95\%}$  – vazão com 95% de permanência;  $q_{95\%}$  – vazão específica (por unidade de área de drenagem) com 95% de permanência.

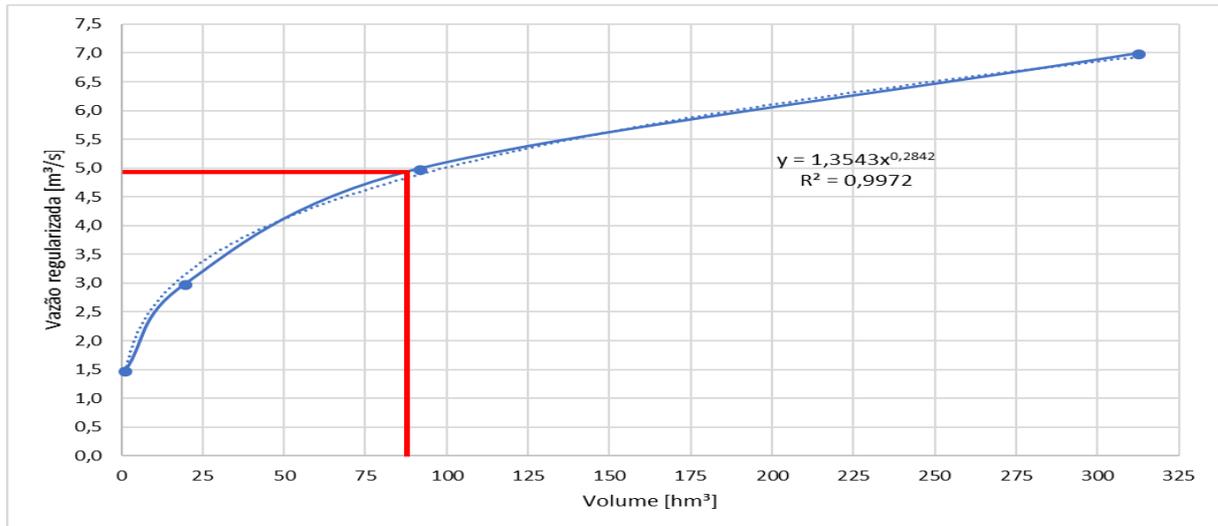
### 3.2.3. Curva de regularização do reservatório

Para avaliar a capacidade de regularização do reservatório, foi gerada a curva de regularização empírica, conforme o método apresentado anteriormente. Para tanto, sendo a MLT da bacia do Alto Descoberto de 7,54 m<sup>3</sup>/s, teoricamente a vazão máxima possível de se regularizar, considerou-se quatro vazões a serem hipoteticamente regularizadas, ou seja, 1,5 m<sup>3</sup>/s, 3 m<sup>3</sup>/s, 5 m<sup>3</sup>/s e 7 m<sup>3</sup>/s, todas inferiores à média da série, e calculou-se pelo método apresentado o correspondente volume de regularização. Com os quatro pares de pontos obtidos, pode-se representar a curva de regularização empírica, ou seja, aquela obtida da série natural histórica afluente ao reservatório (Figura 8).

Sabendo-se o volume útil do reservatório, determina-se a correspondente vazão regularizada. Para o volume útil de 87,5 hm<sup>3</sup> (CAESB, 2018), destacado em vermelho na Figura 8, o reservatório seria capaz de regularizar uma vazão de 4,83 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 64% da MLT. Contudo, segundo a Resolução/ADASA nº 350 de 2006, para serviços de abastecimento humano o limite para captação é até 90% da vazão de referência, a fim de garantir a vazão ecológica a jusante do barramento. Considerando a série histórica completa, a vazão  $Q_{95\%}$  na seção da barragem do Descoberto corresponde a 1,62 m<sup>3</sup>/s, de modo que deve ser liberada a jusante uma vazão de 0,16 m<sup>3</sup>/s (10% da  $Q_{95\%}$ ). Portanto, o reservatório, pelo efeito de regularização, **permite uma captação para abastecimento público superior a 4,67 m<sup>3</sup>/s.**

Registre-se que sempre está associado um grau de risco a esta estimativa, que no caso da solução empírica é, inicialmente, desconhecido.

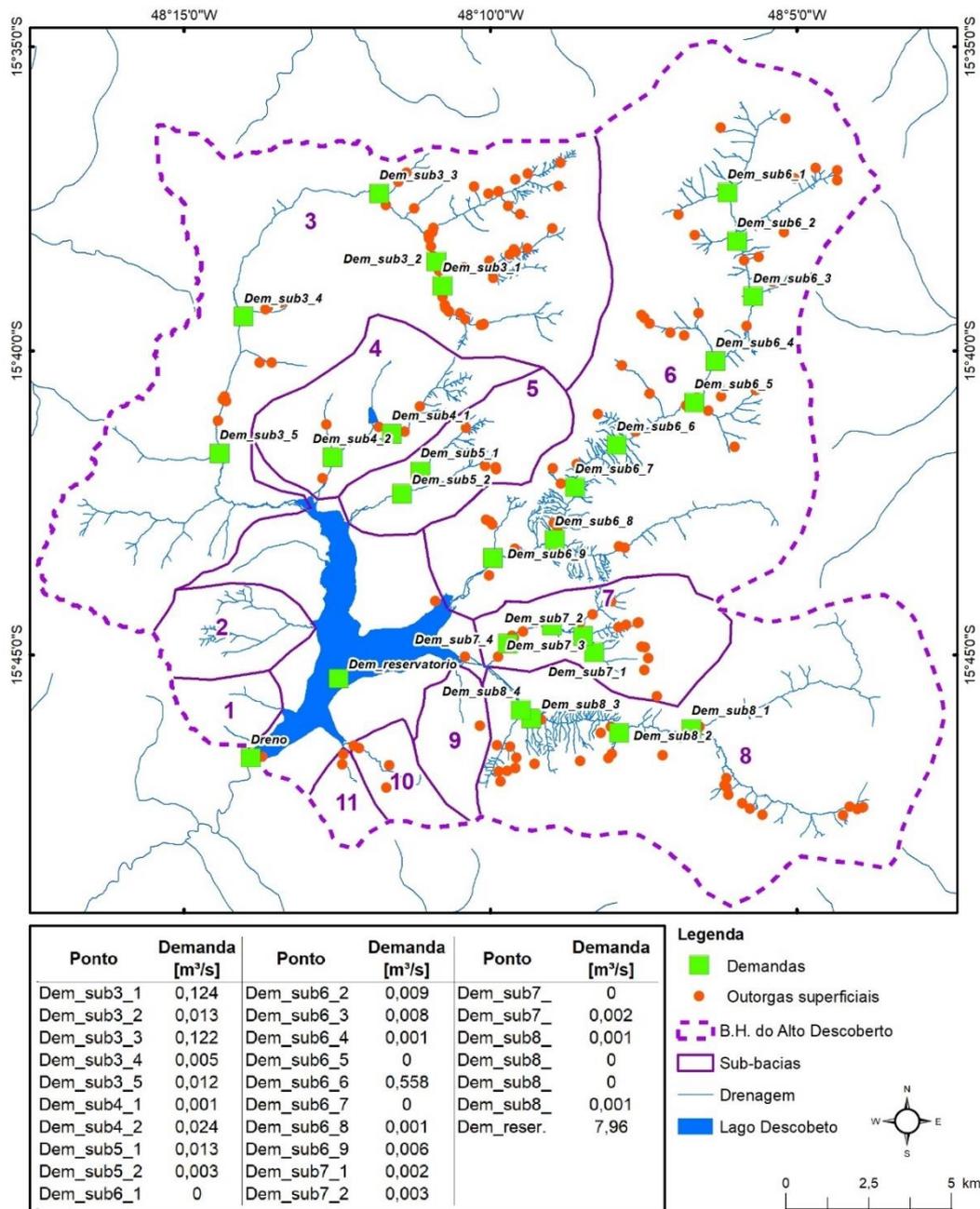
FIGURA 8 – CURVA DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO



### 3.3 BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL

Conforme apresentado anteriormente, para avaliar o balanço hídrico na bacia do Alto Descoberto, ponto a ponto, a hidrografia, as sub-bacias e os pontos de outorgas superficiais foram importados no AcquaNet. Para implementar os pontos representativos das demandas no *software*, estes foram posicionados ao longo do rio principal, em cada sub-bacia. A rede de fluxo elaborada pode ser visualizada na Figura 9.

FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE DEMANDAS NO ACQUANET



O Quadro 5 apresenta os valores das demandas inseridos em cada ponto de demanda, assim como o comprimento do rio, área de drenagem e vazão de referência até o respectivo ponto. Cabe esclarecer que, para cada ponto, a partir do comprimento do rio calculou-se a área de drenagem correspondente conforme as relações apresentadas anteriormente no Quadro 3. A partir da área de drenagem, calculou a vazão  $Q_{95\%}$  multiplicando-se a área pela vazão específica correspondente apresentada anteriormente no Quadro 4.

Além disso, levou-se em consideração a definição da Resolução/ADASA nº 350/2006 a respeito da vazão máxima de captação. Assim, as vazões nas sub-bacias, localizadas fora do reservatório, inseridas no modelo ( $Q_{AcquaNet}$ ) foram iguais a 80% da  $Q_{95\%}$ , uma vez que se destinam em sua maioria para a agricultura e irrigação. Desse modo, avaliou-se o cenário mais crítico quanto à disponibilidade hídrica.

**QUADRO 5 – DEMANDAS E VAZÕES DE CADA NÓ INFORMADAS NO ACQUANET**

Sub-bacia	Ponto	Demanda [m³/s]	Comprimento [km]	Área [km²]	Q <sub>95%</sub> [m³/s]	Q <sub>AcquaNet</sub> [m³/s]
3	Dem_sub3_1	0,124	4,80	29,12	0,097	0,078
	Dem_sub3_2	0,013	5,64	31,42	0,105	0,084
	Dem_sub3_3	0,122	8,67	41,38	0,138	0,110
	Dem_sub3_4	0,005	16,07	81,01	0,270	0,216
	Dem_sub3_5	0,012	20,66	122,90	0,409	0,327
4	Dem_sub4_1	0,001	3,42	9,35	0,032	0,026
	Dem_sub4_2	0,024	5,49	17,25	0,060	0,048
5	Dem_sub5_1	0,013	2,93	9,081	0,069	0,055
	Dem_sub5_2	0,003	3,84	11,026	0,084	0,067
6	Dem_sub6_1	0	3,22	12,69	0,024	0,019
	Dem_sub6_2	0,009	4,83	15,49	0,029	0,023
	Dem_sub6_3	0,008	6,8	36,82	0,069	0,055
	Dem_sub6_4	0,001	9,61	58,39	0,110	0,088
	Dem_sub6_5	0	11,24	68,16	0,128	0,103
	Dem_sub6_6	0,558	14,5	84,04	0,158	0,127
	Dem_sub6_7	0	16,85	93,40	0,176	0,141
	Dem_sub6_8	0,001	18,72	99,97	0,188	0,151
	Dem_sub6_9	0,006	21,61	108,92	0,205	0,164
7	Dem_sub7_1	0,002	1,01	9,46	0,055	0,044
	Dem_sub7_2	0,003	1,63	12,00	0,070	0,056
	Dem_sub7_3	0	2,95	15,15	0,088	0,071
	Dem_sub7_4	0,002	4,93	17,88	0,104	0,084
8	Dem_sub8_1	0,001	8,46	27,80	0,182	0,145
	Dem_sub8_2	0	11,01	48,80	0,319	0,255
	Dem_sub8_3	0	14,16	68,85	0,450	0,360
	Dem_sub8_4	0,001	14,73	71,99	0,471	0,376
Reservatório	Dem_reservatorio	7,960	-	-	-	-
Reservatório	Dreno	100	-	-	-	-

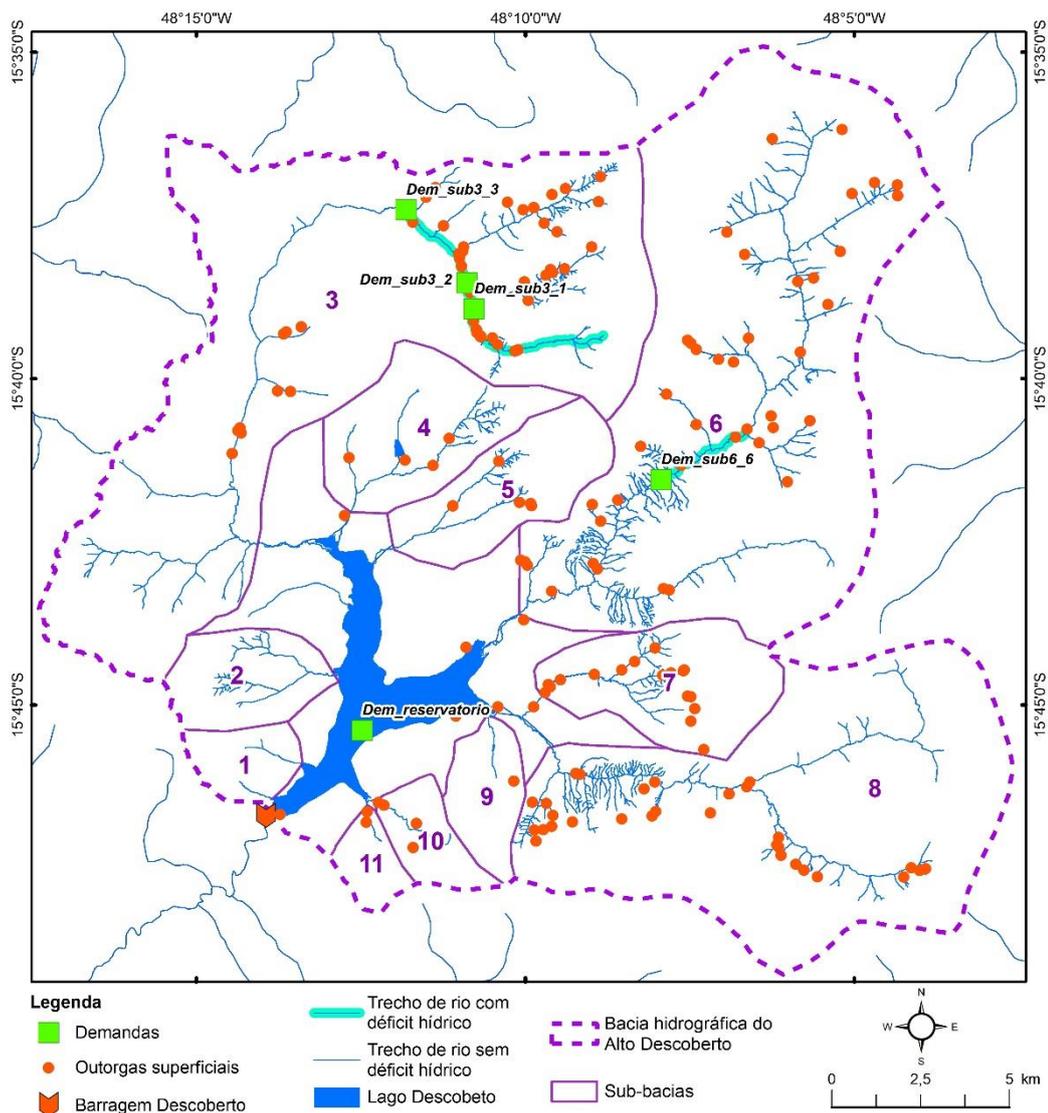
Retomando da metodologia, para o ponto “Dem\_reservatorio” as vazões fornecidas foram condicionadas pela operação do reservatório. Com relação às prioridades de atendimento, todas as demandas receberam prioridade 1. O abastecimento do reservatório recebeu prioridade 2 e o Dreno prioridade 3. Dessa maneira, o AcquaNet realizou a alocação de água na rede buscando sempre atender primeiro as demandas, para só então usar o excedente de água para o enchimento do reservatório.

Com as demandas e vazões da bacia do Alto Descoberto inseridas no modelo AcquaNet, pôde-se verificar quais pontos apresentaram déficit hídrico, bem como o risco de falha de atendimento do reservatório do Descoberto. Ressalta-se que para avaliar a capacidade de suporte do reservatório, armazenando água nos períodos úmidos para compensar as baixas afluições dos períodos secos e manter o atendimento das demandas, fez-se preciso simular toda a série de afluições no reservatório em um período contínuo de tempo. Assim, não foi possível realizar uma simulação sazonal.

Para o cenário atual, referente ao ano de 2018, os pontos com déficit hídrico são destacados na Figura 10 com linhas espessas e ícones de demandas ampliados. O Quadro 6 e Quadro 7 mostram quantitativamente os déficits nos pontos e no reservatório, respectivamente.

Para os cenários de curto e médio prazo, referentes aos anos 2023 e 2028, respectivamente, observou-se déficit hídrico nos mesmos pontos destacados na Figura 10. Os demais cursos de água são, portanto, trechos que não apresentam déficit hídrico, em nenhum período e cenário. O Quadro 8 e Quadro 9 mostram os déficits quantitativos nesses pontos e no reservatório, respectivamente, para os cenários de curto e médio prazo.

**FIGURA 10 – DEMANDAS COM DÉFICIT HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



**QUADRO 6 – DÉFICITS HÍDRICOS NAS SUB-BACIAS DO ALTO DESCOBERTO PARA O CENÁRIO ATUAL**

Sub-bacia	Ponto	Demanda [m³/s]	Déficit [m³/s]
3	Dem_sub3_1	0,124	0,046
	Dem_sub3_2	0,013	0,007
	Dem_sub3_3	0,122	0,095
6	Dem_sub6_6	0,558	0,450

**QUADRO 7 – DÉFICIT HÍDRICO NO RESERVATÓRIO DO ALTO DESCOBERTO PARA O CENÁRIO ATUAL**

Bacia	Ponto	Demanda [m³/s]	Falha no atendimento [%]	Vazão média fornecida [m³/s]
Alto Descoberto	Dem_reservatorio	7,96	22	7,11

**QUADRO 8 – DÉFICITS HÍDRICOS PONTUAIS DO ALTO DESCOBERTO PARA OS CENÁRIOS DE CURTO E MÉDIO PRAZO**

Sub-bacia	Ponto	Curto prazo (2023)		Médio prazo (2028)	
		Demanda [m³/s]	Déficit [m³/s]	Demanda [m³/s]	Déficit [m³/s]
3	Dem_sub3_1	0,135	0,057	0,146	0,068
	Dem_sub3_2	0,014	0,008	0,015	0,009
	Dem_sub3_3	0,133	0,106	0,144	0,117
6	Dem_sub6_6	0,607	0,501	0,657	0,552

**QUADRO 9 – DÉFICIT HÍDRICO NO RESERVATÓRIO DO ALTO DESCOBERTO PARA OS CENÁRIOS DE CURTO E MÉDIO PRAZO**

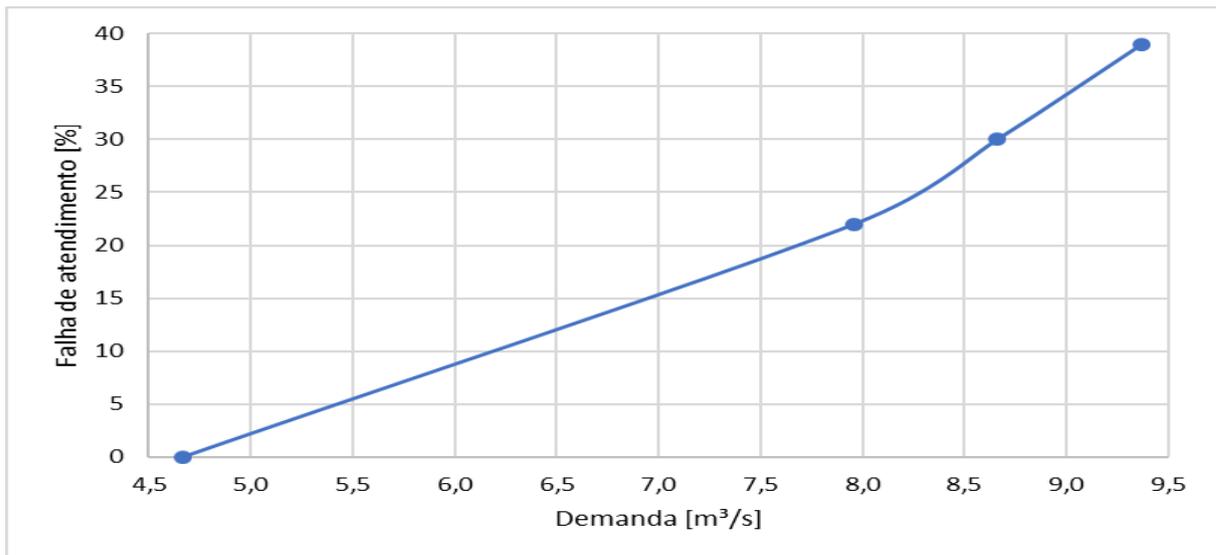
Curto prazo (2023)			Médio prazo (2028)		
Demanda [m³/s]	Falha no atendimento [%]	Vazão média fornecida [m³/s]	Demanda [m³/s]	Falha no atendimento [%]	Vazão média fornecida [m³/s]
8,66	30	7,31	9,37	39	7,47

Cabe ressaltar que a sub-bacia 6, que possuiu o maior déficit hídrico, apresenta uma outorga para irrigação com uma vazão de captação de 0,558 m³/s, muito acima das demais existentes nessa sub-bacia. Essa outorga está destacada nos APÊNDICES. Conforme informações do cadastro de outorgas recebido da ADASA, esse ponto outorgado está localizado no bairro INCRA 6 e a finalidade de uso é irrigação. Complementarmente, está descrito no cadastro de outorgas que a captação é realizada por meio de um canal com barramento, cuja existência foi confirmada por meio do *Google Earth*. O canal de captação estende-se a jusante, ao longo do qual é possível que sejam realizadas captações para abastecer os usuários irrigantes locais, dada a magnitude da vazão outorgada no local do barramento.

Com relação ao risco de falha do reservatório, com base nas demandas e percentuais de falha de atendimento calculados pela modelagem (Quadro 7 e Quadro 9), elaborou-se a curva apresentada na Figura 11, que permite uma estimativa simplificada da falha de atendimento associada a diferentes demandas no reservatório do Descoberto.

De acordo com a série histórica de vazões afluentes considerada neste estudo, o **reservatório conseguiria atender, sem a ocorrência de falhas, a uma demanda de 4,67 m³/s**, correspondente à vazão de regularização estimada anteriormente (Figura 8).

FIGURA 11 – CURVA FALHA VS. DEMANDA DO RESERVATÓRIO DO ALTO DESCOBERTO



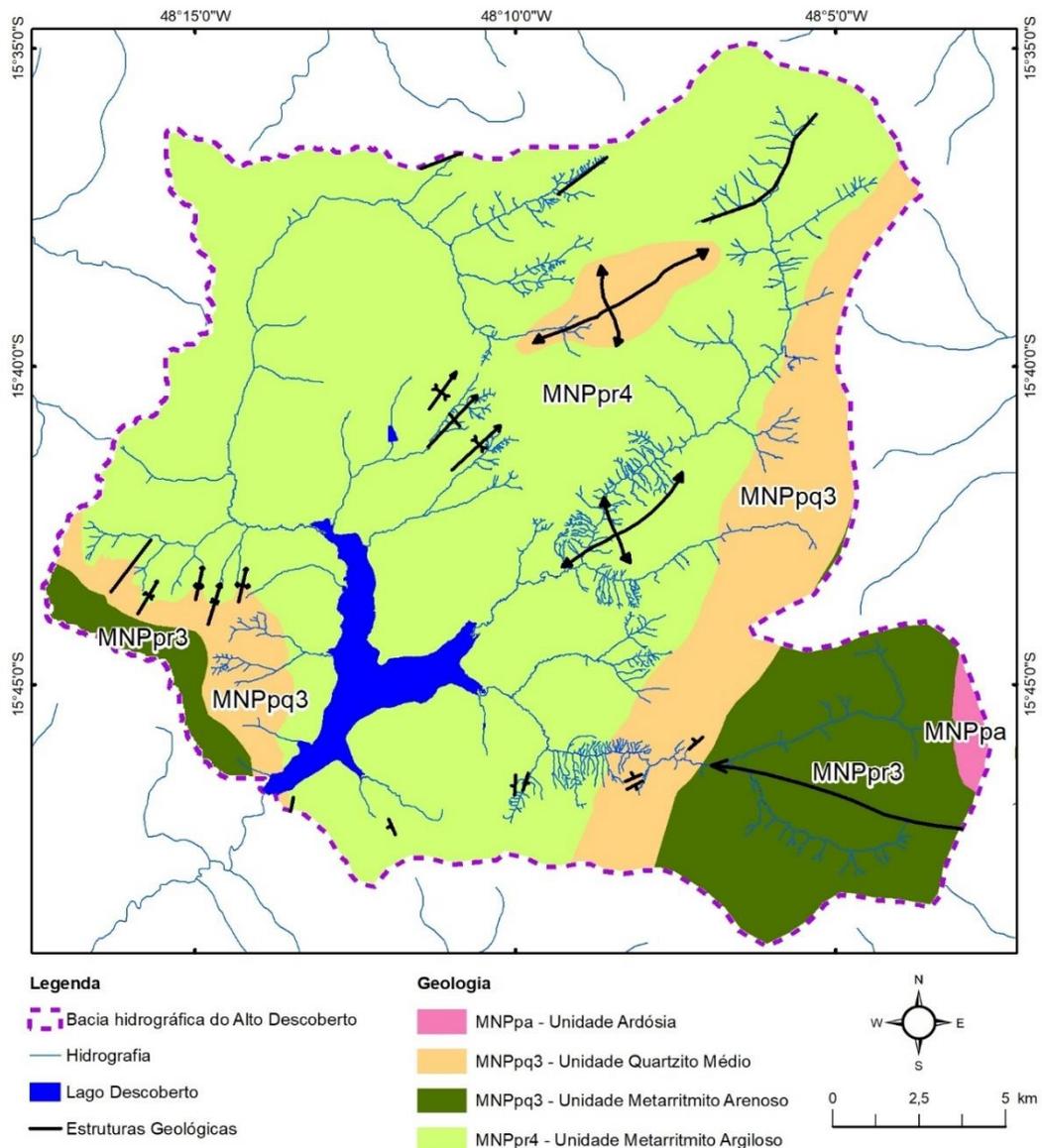
### 3.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

#### 3.4.1. Aspectos litológicos e estruturais

A bacia do rio Descoberto está estabelecida sobre rochas do Grupo Paranoá de idade Mesoproterozóica e, também, sobre formações Cenozóicas (CAMPOS et al., 2013). O Grupo Paranoá é formado por uma sucessão de rochas de granulação entre areia e argila com a presença de componentes carbonáticos, depositadas em ambiente de plataforma marinha, posteriormente submetidas a metamorfismo regional no grau metamórfico xisto verde, correspondente a temperaturas entre 200 e 500°C e pressões entre 3000 e 12000 atm, que normalmente ocorrem em profundidades de 10 a 40 km. A sequência de estratos varia tanto lateral como verticalmente, dependendo de modificações nas condições ambientais quando da deposição dos sedimentos. Faria (1995) identificou onze litofácies, ou seja, rochas com composição e estruturas diferenciadas, dos quais três ocorrem na bacia.

Sobre toda a bacia, formações superficiais mormente compostas por material resultante do intemperismo das unidades subjacentes, formam uma camada porosa resultante de processos pedogenéticos. Com destaque estão coberturas detrito-laterítico ferruginosas concentradas na porção sudeste da bacia. O arcabouço geológico simplificado do Grupo Paranoá na área em questão, adaptado do Plano de Manejo da APA da Bacia do Descoberto (2014), está apresentado na Figura 12. Este mapa representa os domínios hidrogeológicos da bacia do Alto Descoberto.

FIGURA 12 – MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO



Fonte: MMA e ICMBio (2014).

Os conjuntos litológicos encontrados na bacia do Descoberto, da base para o topo, são:

- Unidade Ardósia (MNPpa);
- Unidade Metarritmito Arenoso (MNPpr3);
- Unidade Quartzito Médio (MNPpq3);
- Unidade Metarritmito Argiloso (MNPpr4).

A Unidade Ardósia tem ocorrência areal pouco significativa na bacia, ocorrendo sotoposta a um espesso nível lateritizado em sua porção sudeste. Estas rochas, evoluíram de sedimentos pelíticos argilosos, por processos metamórficos de baixo grau, que conduziram a um produto finamente laminado, muito impermeável.

A Unidade Metarritmito Arenoso é encontrada na porção sul da bacia, em uma ocorrência de maior porte no segmento sudeste e em uma estreita faixa na porção sudoeste.

Esta litologia, foi submetida a metamorfismo de baixo grau, sendo composta por uma alternância de camadas de sedimentos clásticos arenosos centimétricos com camadas de clastos mais finos, incluindo componentes micáceos, com níveis argilosos evoluídos para ardósias na base.

A unidade Quartzito Médio ocorre em três conjuntos diretamente em contato com a unidade Metarritmito Argiloso. Uma ocorrência ocupa uma faixa estreita, desde o nordeste até o sul da bacia. Outra ocorrência, separa o metarritmito arenoso do metarritmito argiloso na porção sudoeste da bacia. Uma terceira ocorrência significativa é encontrada em uma anticlinal no quarto superior direito da bacia. O contato desta unidade, disposta em acamamento plano paralelo, com o Metarritmito Argiloso sotoposto é brusco e concordante, sendo descrita em detalhe por Freitas-Silva e Campos (1998) e Silva (2003).

Os Metarritmitos Argilosos formam a unidade que ocupa cerca de 73% da área da bacia e ocorrem em contato gradacional com a unidade MNPpq3. Faria (1995) e Silva (2003) descrevem esta unidade como sendo composta por um metarritmito homogêneo contendo intercalações centimétricas regulares de metassiltitos, metargilitos e quartzitos finos a médios, feldspáticos. As rochas foram formadas originalmente em ambientes redutores, o que é revelado por sua cor esverdeada ou acinzentada, que toma matizes quentes, avermelhada a amarelada quando intemperizadas em ambiente oxidante. Geralmente ocorre em camadas interestratificadas com 1 a 3 cm, podendo ocorrer eventualmente em estratos de até 50 cm de espessura. Freitas-Silva e Campos (1988), bem como Campos (2004), ressaltam que a predominância de material pelítico frente a pouco expressivos estratos quartzíticos, é o maior distintivo desta unidade, frente às outras unidades rítmicas do Grupo Paranoá.

Em um pacote de unidades metassedimentares de granulação predominantemente pelítica, como é o caso da bacia do Alto Descoberto, o papel de processos deformacionais tem importância fundamental para o comportamento hidrogeológico da região. Visto isso, no estudo para ZEE-DF, é mencionado o trabalho de Campos (2004) que aponta a presença de quatro fases de estruturação com característica dúctil-rúptil e uma última fase predominantemente rúptil. Este conjunto de esforços promoveu, segundo o referido autor, o estabelecimento de diversas estruturas dômicas, dentre as quais o Domo de Brasília, em cujo flanco oeste está estabelecida a bacia do alto Descoberto.

A presença das unidades quartzíticas e a fase de deformação rúptil foram fundamentais para o condicionamento hidrogeológico da região. Tanto Freitas-Silva e Campos (1988), como Silva (2003) identificaram famílias de fraturas com direção preferencial N10 – 20E, que devem influenciar o comportamento dos fluxos subterrâneos da região de Águas Lindas.

### 3.4.2. Contexto hidrogeológico

A região das chapadas elevadas é a principal área de recarga dos aquíferos do domínio poroso e, conseqüentemente, também dos aquíferos fissurais, alimentados pelos fluxos provenientes desse reservatório mais superficial. A topografia plana e suave ondulada, sobre latossolos, está relacionada aos relativamente bons desempenhos do aquífero intergranular P1 e ao Subsistema fissural R3/Q3, que é o mais favorável à transmissão e acumulação de água favorece a infiltração e, por conseguinte, à sua recarga.

A configuração da rede hidrológica da bacia do Alto Descoberto evidencia o comportamento hidrogeológico dos aquíferos. A infiltração acentuada nas chapadas tem como consequência a drenagem superficial deficiente, sendo os fluxos subsuperficiais conduzidos a alimentar o fluxo de base dos canais fluviais gerados nas quebras de relevo. Os fluxos descendentes provenientes da camada aquífera porosa vão se distribuir nos dutos do domínio aquífero fissural, alimentar as drenagens dos níveis inferiores do relevo e compor as reservas daquele corpo de água.

O Grupo Paranoá, sob a ótica da hidrogeologia, não se comporta como uma unidade totalmente homogênea, pois suas propriedades aquíferas variam dependendo do material mineral que compõe suas diferentes fácies. Assim sendo, é considerado como um sistema aquífero estabelecido em litotipos diferentes. Campos e Freitas-Silva (1998), dividiram o Sistema Aquífero Paranoá (SAP) em seis subsistemas, baseados na divisão estratigráfica, ou seja:

- Subsistema R1/Q1 (Metarritmito/Quartzito);
- Subsistema S/A (Metassiltito/Ardósia);
- Subsistema A; (Ardósia);
- Subsistema R3/Q3 (Metarritmito/Quartzito);
- Subsistema R4 (Metarritmito argiloso);
- Subsistema PPC (Psamo-Pelito-Carbonatado).

Na bacia do Alto Descoberto ocorrem significativamente quatro subsistemas, sendo, da base para o topo:

- Unidade Ardósea (MNPpa);
- Unidade Metarritmito Arenoso (MNPpr3);
- Unidade Quartzito Médio (MNPpq3);
- Unidade Metarritmito Argiloso (MNPpr4).

Esta é a compartimentação adotada neste documento. O produto de alteração das referidas rochas compõe o Domínio Aquífero Intergranular da APA Bacia do Rio Descoberto enquanto as rochas metassedimentares do Grupo Paranoá integram o Domínio Aquífero Fraturado. As unidades que envolvem quartzitos se caracterizam por facilitarem a manutenção de fraturas interconectadas abertas a maiores profundidades, o que proporciona localmente poços com vazões médias em torno de 12 m<sup>3</sup>/h, associada a uma incidência muito baixa de poços secos, e grande ocorrência de poços com vazões maiores que 20 m<sup>3</sup>/h. Campos (2004) relata com base em 27 ensaios de bombeamento, que foram obtidos estatisticamente os seguintes parâmetros hidrodinâmicos: condutividade hidráulica média de 3 x 10<sup>-7</sup> m/s; transmissividade média de 3 x 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s e coeficiente de armazenamento médio de 0,3. Exutórios de fontes relacionadas a estas unidades apresentam vazões relativamente elevadas.

A unidade dominada pelos metarritmitos argilosos do Grupo Paranoá, compostos por cerca de 60% de fração argilosa e 40% de material quartzítico fino, apresenta uma média de vazões de 6,0 m<sup>3</sup>/h. A presença comum de níveis argilosos alterados abaixo dos níveis de metarritmitos não alterados promove problemas construtivos importantes nos poços. Este subsistema é caracterizado por aquíferos lateralmente restritos, descontínuos, livres e com baixa condutividade hidráulica (CAMPOS, 2004).

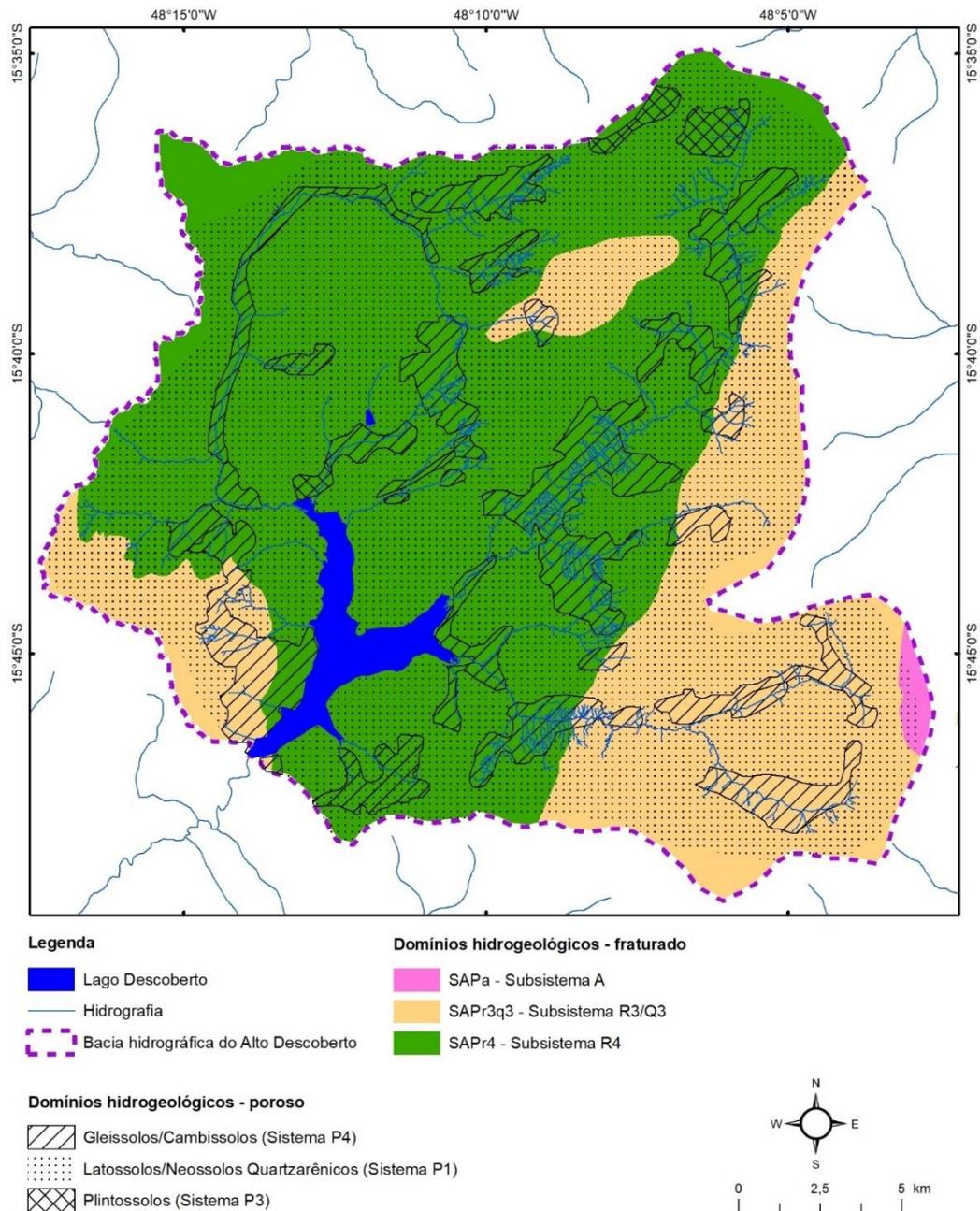
O Domínio Aquífero poroso ou Intergranular da APA Bacia do Rio Descoberto, está estabelecido nos níveis alterados e de formações superficiais sobre as unidades do Grupo Paranoá. O comportamento hidráulico dos solos na região levou Gonçalves (2007) a propor a divisão em três sistemas: P1, P3 e P4. Algumas características destes sistemas constam do Quadro 10.

**QUADRO 10 – CARACTERÍSTICAS DE UNIDADES DO SISTEMA AQUÍFERO POROSO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Sistema	Espessura média (m)	Condutividade hidráulica (m/s)	Transmissividade (m <sup>2</sup> /s)	Tipos de cobertura
P1	20	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-6</sup> (Silva, 2003)	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-5</sup>	Latossolos e Neossolos Quartzarênicos
P3	<15	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-7</sup> (Gonçalves, 2007)	10 <sup>-6</sup>	Plintossolos
P4	-	Baixa e muito variável (Gonçalves, 2007) <10 <sup>-7</sup> em saprolitos	-	Cambissolos, Gleissolos e fragmentos de rochas pelíticas

A distribuição desses três sistemas na bacia do Alto Descoberto está apresentada na Figura 13, onde pode ser observada a localização conjunta de todas as unidades aquíferas. Fica evidenciada a importância relativa do sistema aquífero P1 em face de sua larga distribuição em praticamente toda a bacia. O sistema P4, por sua vez, se mostra também distribuído em vasta área da bacia, porém em manchas isoladas, com características individuais ainda relativamente pouco estudadas. O sistema P3 tem ocorrência restrita ao nordeste da bacia. No que se refere ao domínio fraturado, o Subsistema R4 ocupa a parte central da bacia do Alto Descoberto, ladeado por dois corpos do Subsistema R3/Q3, um pequeno ao sudoeste da bacia e outro, de maior porte, ocupando praticamente toda a porção leste da bacia. O Subsistema A tem muito baixa relevância na bacia, principalmente por sua reduzida extensão areal.

FIGURA 13 – MAPA DE DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO



Fonte: MMA e ICMBio (2014).

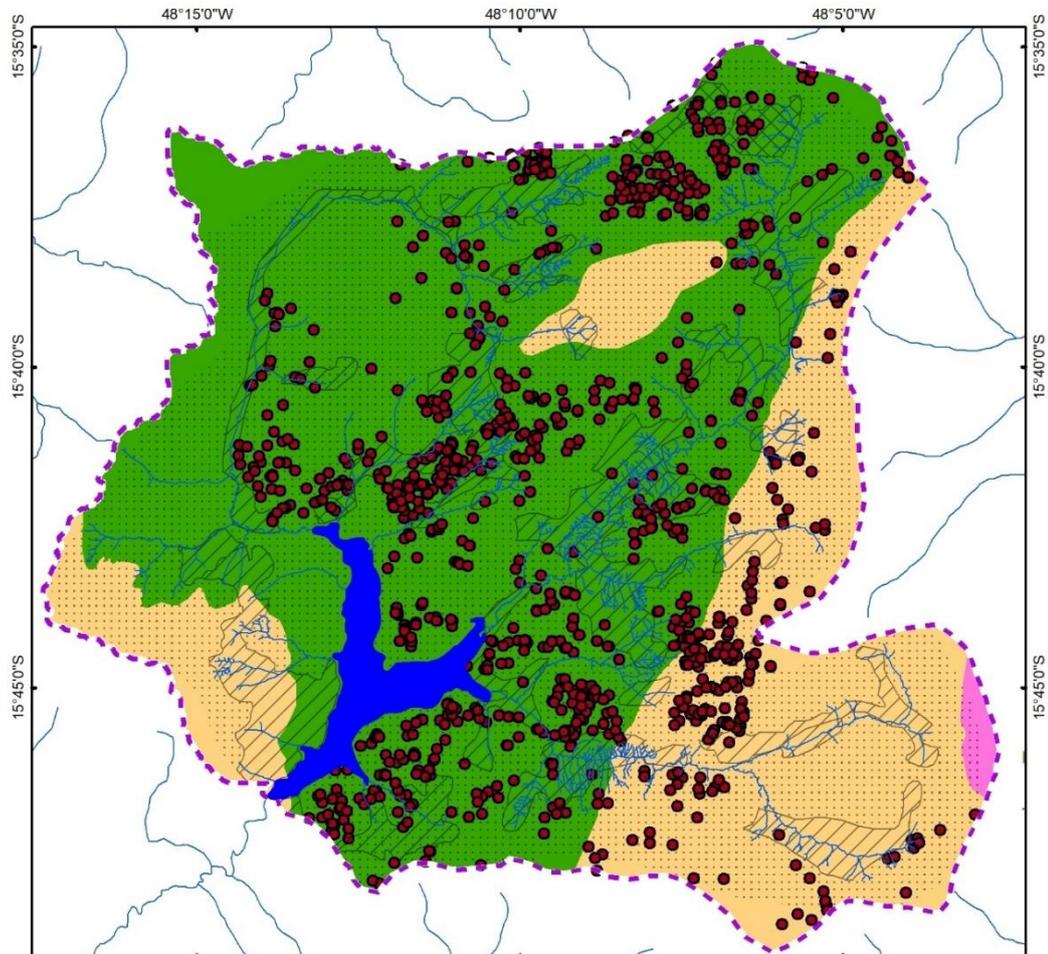
### 3.5 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÂNEA

Os dados de poços operantes constantes do banco do SIAGAS, o banco de dados de outorgas e dos poços de monitoramento da ADASA constam nos ANEXOS DIGITAIS deste relatório.

A distribuição dos poços, apenas do Distrito Federal, consta na Figura 14, na qual fica evidenciada a concentração de poços no Subsistema R4 e também no R3/Q3, à exceção da região sudeste da bacia, que conta com um menor número de unidades. O Quadro 11 sumariza os dados de poços constantes dos registros da ADASA e do SIAGAS (ANEXOS DIGITAIS). Ambos os bancos de dados apresentam muitas lacunas de informações. O registro mais antigo da ADASA é datado de janeiro de 1984 e o mais recente corresponde a

janeiro de 2018. A profundidade dos poços conta com 105 valores anotados, dentre o total de 1.069 unidades registradas. As profundidades valoradas variam entre 3 m e 150 m, estando 44% dos poços aproximadamente entre 6 m e 25 m. As vazões de produção anotadas variam de 0,5 m<sup>3</sup>/h e 20 m<sup>3</sup>/h, estando 45% dos casos no intervalo entre aproximadamente 4 m<sup>3</sup>/h e 20 m<sup>3</sup>/h.

**FIGURA 14 - POÇOS DO BANCO DE OUTORGA DA ADASA NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



**Legenda**

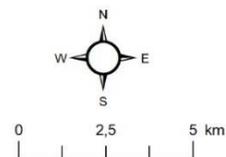
- Lago Descoberto
- Hidrografia
- Bacia hidrográfica do Alto Descoberto
- Poços com cadastro de outorga

**Domínios Hidrogeológicos - Poroso**

- SAPa - Subsistema A
- SAPr3q3 - Subsistema R3/Q3
- SAPr4 - Subsistema R4

**Domínios Hidrogeológicos - Fraturado**

- Gleissolos/Cambissolos (Sistema P4)
- Latossolos/Neossolos Quartzarênicos (Sistema P1)
- Plintossolos (Sistema P3)



**QUADRO 11 - DADOS DE CAPTAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS DO CADASTRO DE OUTORGAS DA ADASA E DO SIAGAS NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

	Profundidade (m)		Nível estático (m)		Nível dinâmico (m)		Vazão de produção (m <sup>3</sup> /h)	
	ADASA	SIAGAS	ADASA	SIAGAS	ADASA	SIAGAS	ADASA	SIAGAS
<b>Nº variáveis</b>	105	82	8	48	10	49	40	59
<b>Máximo</b>	150	250	32	72	80	122,25	20	93,07
<b>Mínimo</b>	3	3	4,8	2,9	5	18	0,5	1,50
<b>Mediana</b>	25	20	15,5	21,77	56,91	52,43	5,5	10,26
<b>Mediana/4</b>	6,25	5	3,875	5,44	14,2275	13,11	1,375	2,57
<b>Registros</b>								
<b>Mínimo - 1/4 mediana</b>	7	2	0	1	1	0	7	3
<b>1/4 Mediana - mediana</b>	46	13	4	24	4	25	13	27
<b>Mediana - 3/4 mediana</b>	5	0	2	8	2	9	2	3
<b>3/4 Mediana - máximo</b>	47	67	2	16	3	15	18	26
<b>Registros</b>								
<b>% Mínimo - 1/4 mediana</b>	7%	2%	0%	2%	10%	0%	18%	5%
<b>% 1/4 Mediana - mediana</b>	44%	16%	40%	50%	40%	51%	33%	46%
<b>% Mediana - 3/4 mediana</b>	5%	0%	20%	17%	20%	18%	5%	5%
<b>% 3/4 Mediana - máximo</b>	45%	82%	20%	33%	30%	31%	45%	44%

Fonte: ADASA (2019); SIAGAS (2019).

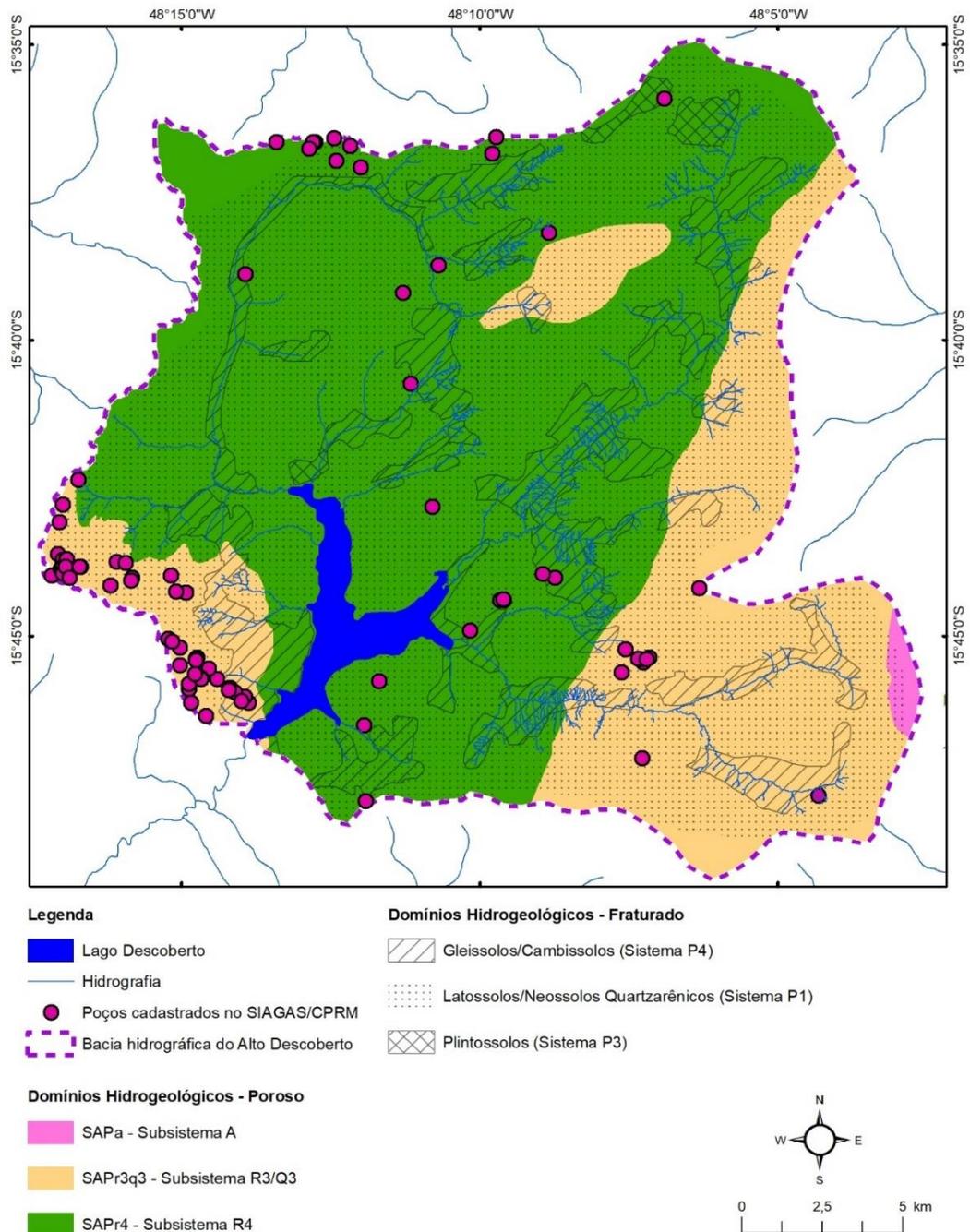
A informação mais antiga constante do SIAGAS contendo dados físico-químicos é datada de abril de 2011 e a mais recente corresponde a outubro de 2018. A profundidade dos poços conta com 82 registros dentre o total de 83 unidades registradas. Nos cálculos não foi considerado um poço perfurado pela CPRM com 1000 m de profundidade, por não conter dados hidráulicos. As profundidades registradas estão entre 3 m e 250 m, estando 82% dos poços aproximadamente entre 25 m e 250 m. São registradas vazões entre 1,5 m<sup>3</sup>/h e 93 m<sup>3</sup>/h, estando 46% dos valores no intervalo entre aproximadamente 2,57 m<sup>3</sup>/h e 10 m<sup>3</sup>/h.

Os dados químicos ou físico-químicos registrados no banco da ADASA contam, dentre os 1.069 poços, 1,7% com registros de condutividade, 1% com análises de coliformes, 22% contendo dureza, 16% com ferro total, 14% com nitrato, 7% com pH e 12% com sólidos dissolvidos totais. Tomando por referência os poços contendo dados de condutividade elétrica, 83% estão em Brazlândia e 17% em Ceilândia.

No banco do SIAGAS, dentre os 83 poços, 8% contêm dado de condutividade e percentuais menores de poços contam com outros dados de qualidade de água.

A Figura 15 ilustra a distribuição de captações de água subterrânea constantes do SIAGAS na bacia do Alto Descoberto. Está evidenciada uma grande concentração de poços na região sudoeste da bacia, em Águas Lindas de Goiás na área do Subsistema R3/Q3, com uma concentração na região de Padre Bernardo, no Subsistema R4.

**FIGURA 15 – LOCALIZAÇÃO DAS CAPTAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO CADASTRADAS NO SIAGAS**



Fonte: SIAGAS/CPRM (2019); MMA e ICMBio (2014).

### 3.6 ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

No que se refere à produção dos poços, as unidades mais produtivas se concentram na região de Águas Lindas de Goiás e em Padre Bernardo ao Norte-Noroeste da bacia do Alto Descoberto. Na porção central da Bacia, predominam poços com baixa vazão, inferiores a 10 m<sup>3</sup>/h. As proporções de poços em diferentes intervalos de vazão, em 83 registros no SIAGAS estão ilustradas na Figura 16. A Figura 17 apresenta a localização das referidas unidades produtoras.

É notável a grande proporção de poços improdutivos (29%). Há o registro de 33% de poços produzindo entre 2 e 10 m<sup>3</sup>/h, 17% gerando vazões entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/h e 19% produzindo além de 20 m<sup>3</sup>/h. Os poços produtores relativamente mais eficientes se concentram tanto no subsistema aquífero fissural R3/Q3, no caso de Águas Lindas de Goiás, como no Subsistema R4, em Padre Bernardo.

Quanto aos usos da água subterrânea na bacia do rio Descoberto, de um total de 699 poços cadastrados pela ADASA, 370 tiveram registrada vazão nula. A utilização predominante nominada foi para o abastecimento humano em 59% dos casos, vindo em seguida a irrigação com 32%, a criação de animais com 5%, outros usos com 2%, uso industrial e uso comercial com 1% cada um.

Cabe registro a captação de água subterrânea em poços tubulares profundos ou nascentes de vazão espontânea, para engarramento e comercialização de água potável de mesa, conforme o DNPM e IBRAM (CAMPOS, 2004). Em ambos os casos, o aquífero produtor é o Subsistema R3/Q3.

A constatação tanto da grande demanda como da carência relativa de mananciais de água subterrânea, na região da bacia do Alto Descoberto, desperta o interesse em explorar alternativas para potencializar estes reservatórios naturais. Uma destas possibilidades é promover a recarga artificial do aquíferos, otimizando o aproveitamento do excedente de água que ocorre em épocas de maior pluviosidade, como sugerido por Cadamuro (2002).

**FIGURA 16 – PROPORÇÕES DE POÇOS REGISTRADOS NO SIAGAS NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO, CONFORME INTERVALOS DE VAZÃO**

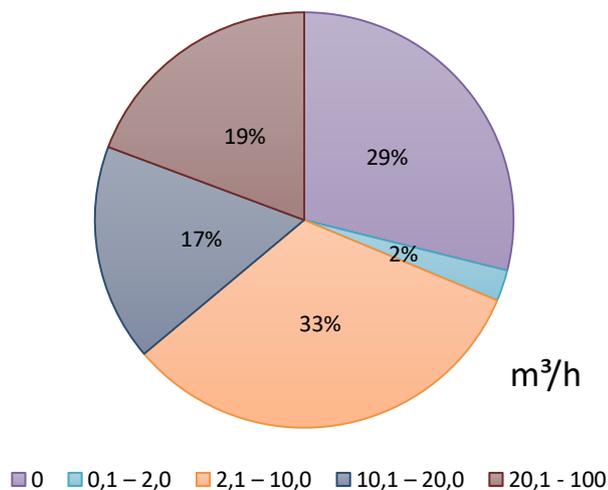
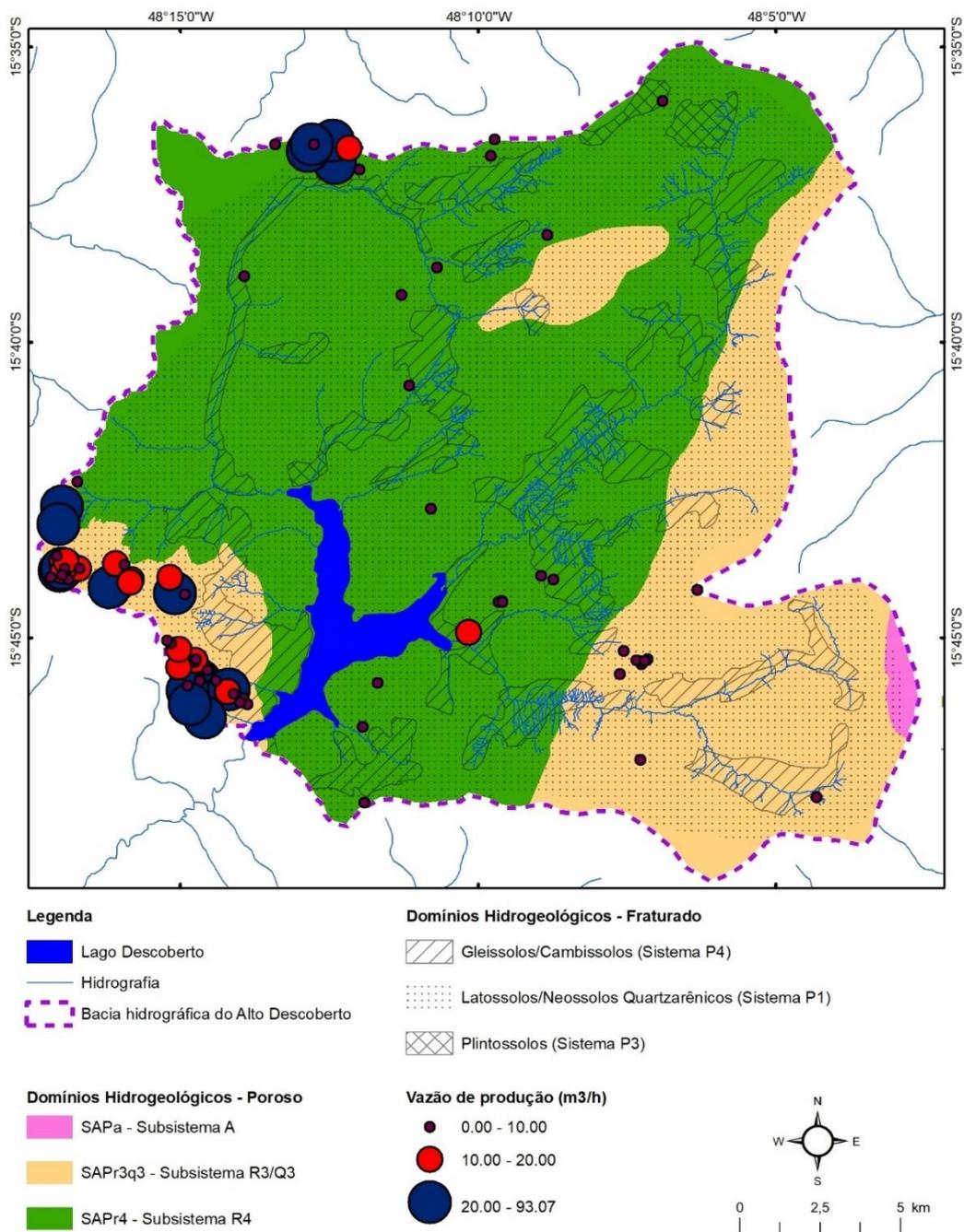


FIGURA 17 – MAPA DA VAZÃO DE PRODUÇÃO DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS



Fonte: SIAGAS, MMA e ICMBio (2014).

### 3.7 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os dados de qualidade de água subterrânea na Bacia do Descoberto apresentam poucos registros e incompletos. A litologia, predominantemente originada em sedimentos clásticos finos está associada a um arcabouço mineral de baixa solubilidade, composto sobretudo por aluminossilicatos hidratados e quartzo. O resultado destas condicionantes levou à geração de água com baixa concentração de material em solução, o que é refletido em condutividade elétrica geralmente inferior a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Mizuno (2012) registra para o aquífero Paranoá, águas cloretadas magnesianas e ou sódicas, todavia seus dados não registram a presença significativa de cálcio em solução, o que não é comum quando a

presença de material carbonático nas rochas é apontada por diversos autores, dentre os quais Faria (1995) e Campos et al. (2013).

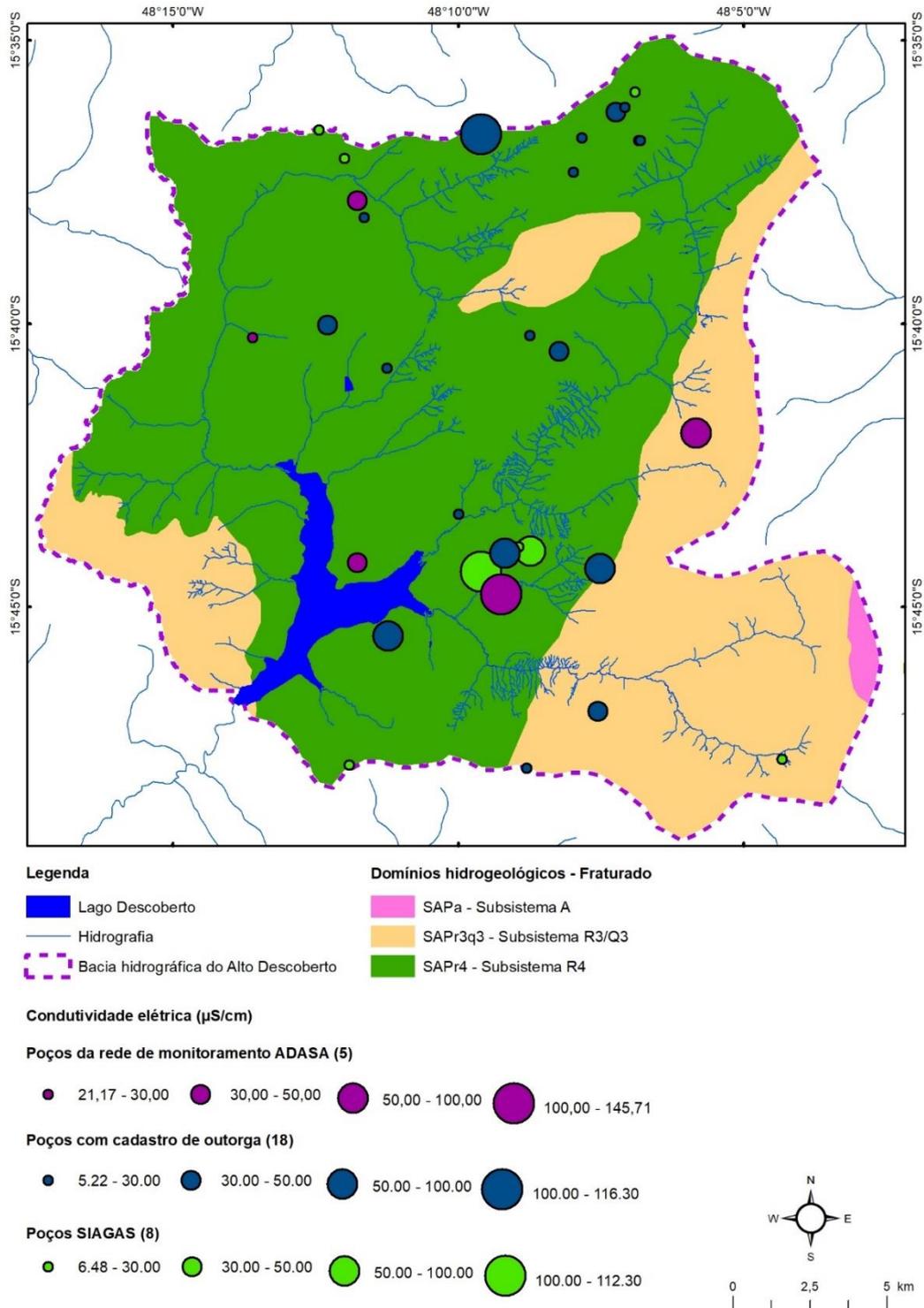
Como referido anteriormente, a ADASA mantém uma rede de cinco poços de monitoramento implantados na bacia do Descoberto, sendo quatro no Subsistema R4 e um no Subsistema R3/Q3 (Figura 3). Tais poços de monitoramento possibilitam coletas tanto dos níveis correspondentes ao aquífero poroso como também do aquífero fissural.

Entre março de 2013 e junho de 2018, conforme banco de dados da ADASA, foram realizadas 98 campanhas de coleta de água para análises físico-químicas. Dentre estas coletas, a condutividade e a temperatura foram determinadas em todas as ocasiões, todavia o elenco de variáveis analisadas é relativamente restrito, envolvendo no total: temperatura da água e ambiente, alcalinidade, dureza, condutividade, pH, turbidez, ferro total, manganês, nitrato, nitrito, cloreto, coliformes totais e E. coli. Muitas variáveis dentre as citadas não são analisadas regularmente. A alcalinidade foi determinada em aproximadamente 50% das análises, o nitrato e nitrito em 25%, a turbidez em 56%, coliformes em 54%, Mn, Fe e Cl em 57%. Os macro constituintes cálcio, magnésio, sódio, potássio, silício e sulfato não constam do banco de dados das análises do referido período.

No caso do domínio aquífero poroso superficial, como é o caso em questão, as células de circulação de água são relativamente pequenas, ou seja, a área de influência sobre e de cada poço é restrita, visto isso uma rede de monitoramento deve ser relativamente densa, para ser significativa. O comportamento de alguns poucos pontos não tem condições de representar adequadamente o aquífero, porém qualquer dado de boa qualidade disponível é importante.

Dados do banco do SIAGAS e da ADASA, apresentados na Figura 18, indicam a predominância de valores de condutividade elétrica inferiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , todavia valores superiores a este limite foram identificados no subsistema aquífero fissural R4.

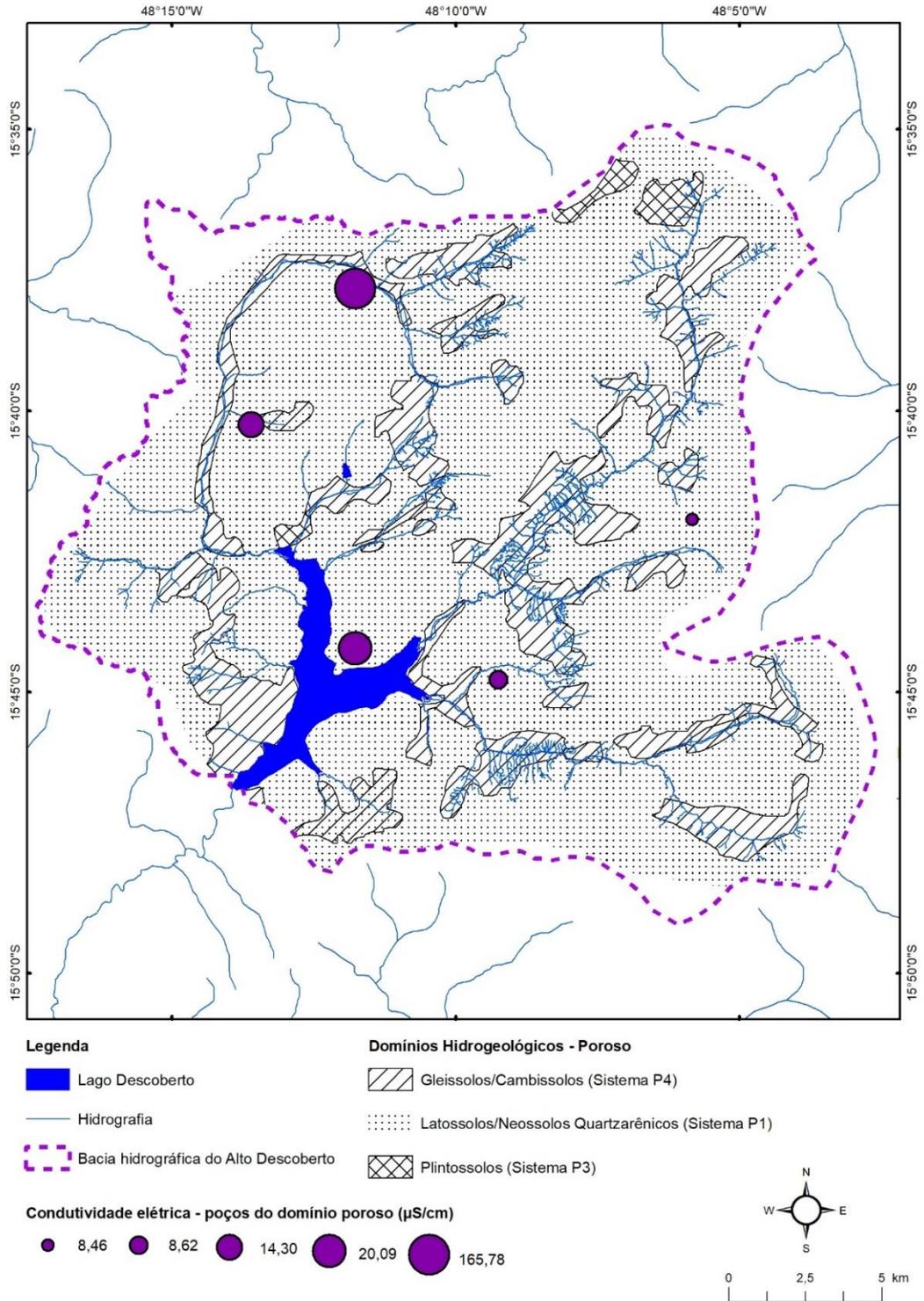
**FIGURA 18 – CONDUTIVIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO DOMÍNIO AQUIFERO FRATURADO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



Fonte: ADASA (2017); SIAGAS (2019); MMA e ICMBio (2014).

No sistema aquífero poroso, dentre os pontos monitorados pela ADASA, um deles apresenta condutividade de 165  $\mu\text{S/cm}$ , em área de latossolo/neossolo quartzarênico, o que está apontado na Figura 19.

**FIGURA 19 – CONDUTIVIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO DOMÍNIO AQUIFERO POROSO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



Fonte: ADASA (2017); MMA e ICMBio (2014).

Um problema comum de sistemas de aproveitamento de aquíferos livres em áreas altamente povoadas, como é o caso de grande parte da bacia hidrográfica do Descoberto, é a vulnerabilidade quanto a processos de contaminação pela água infiltrada desde a superfície. Neste contexto, quaisquer ações visando o aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, carecem de uma avaliação da suscetibilidade dos diversos segmentos dos

aquíferos quanto à contaminação e de um sistema de monitoramento permanente da qualidade da água.

Ações efetivas para a gestão da água subterrânea na bacia do Alto Descoberto, carecem, também de um controle rígido da construção e operação dos poços de captação. Unidades construídas sem a devida proteção sanitária, ou mal mantidas podem comprometer segmentos importantes dos aquíferos por infiltrações de contaminantes. Campos (2004) aponta problemas neste sentido na região do Distrito Federal.

### 3.8 VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS

A avaliação da disponibilidade de água subterrânea não pode dispensar a consideração da qualidade da água, e este tema não é estático no tempo, notadamente em regiões com grande potencial de aumento do uso do solo pela população. Visto isso foi gerado o Mapa de Vulnerabilidade Intrínseca à contaminação dos aquíferos da bacia do Alto Descoberto, constante da Figura 20.

O mapa é essencialmente indicativo e não pode ser tomado como uma diretriz absoluta, uma vez que as condições de vulnerabilidade absoluta dependem também de fatores relativos à ocupação do solo. A impermeabilização de áreas urbanizadas é um fator importante, pois interfere diretamente na infiltração da água no solo. Também contaminações, dentre as quais aquelas oriundas de vazamentos de redes de esgoto ou mesmo de fossas sépticas ou não, podem afetar localmente a qualidade da água subterrânea, mesmo em zonas naturalmente menos vulneráveis.

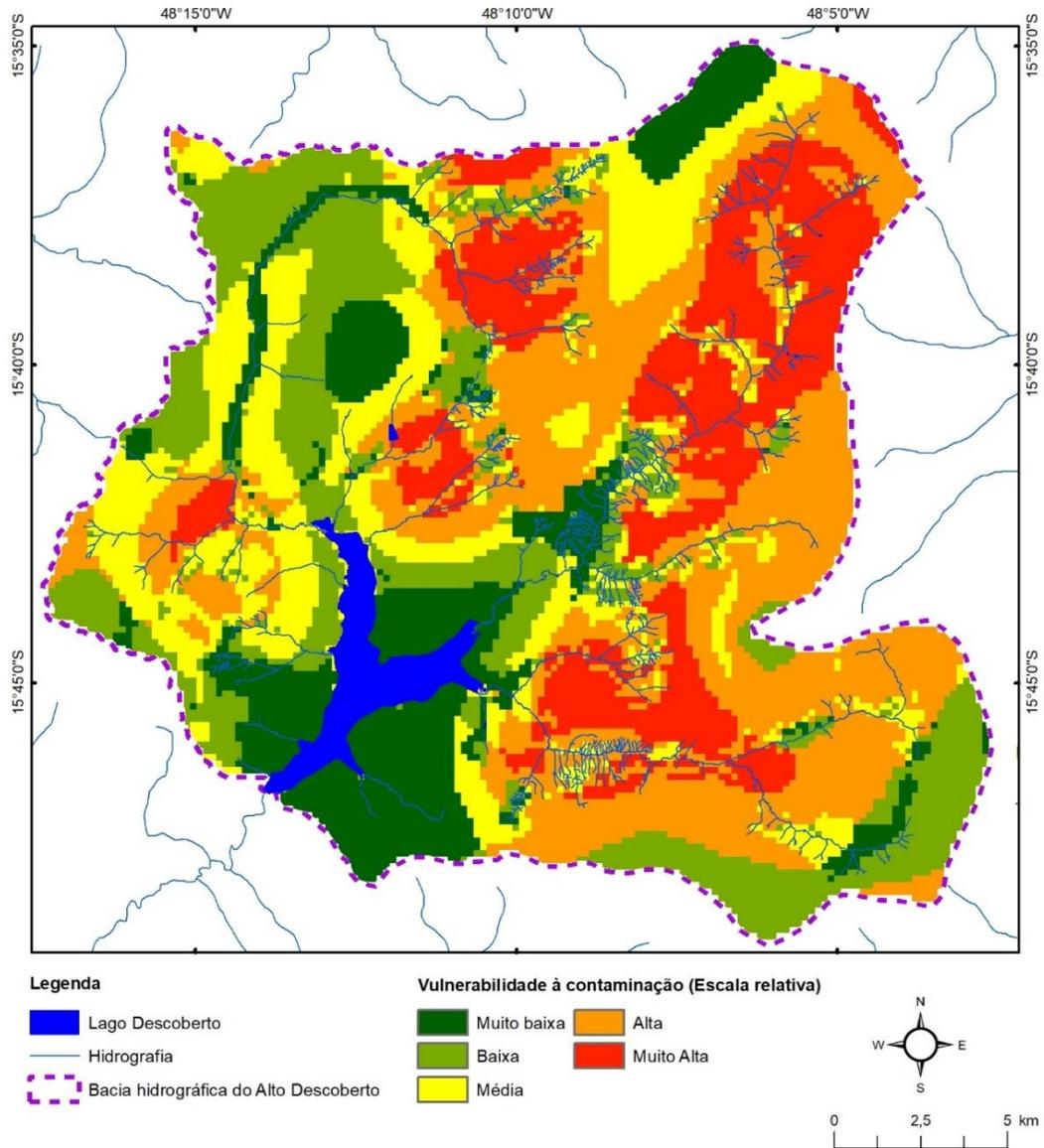
As zonas de menor vulnerabilidade são as zonas de descarga de aquíferos e as zonas de maior sensibilidade natural à contaminação de aquíferos se distribuem em núcleos distribuídos conforme a Figura 20.

O mapa indica, em termos gerais, que a porção oeste da bacia do Descoberto concentra uma maior área com vulnerabilidade muito baixa a média. A porção oriental da bacia, por sua vez, é ocupada em sua maior parte por áreas de vulnerabilidade alta e muito alta.

As áreas lindeiras ao reservatório do Descoberto são, pelos critérios adotados, consideradas como de vulnerabilidade muito baixa a baixa, o que não implica que sejam mais permissivas a uma ocupação que implique em liberação de contaminantes para o ambiente. Contaminantes da água liberados para o ambiente nestas áreas não tendem a contaminar os aquíferos, pois são áreas de descarga, porém tendem a fluir rapidamente aos corpos de água superficiais.

O mapa de vulnerabilidade é um instrumento útil no planejamento da ocupação da área da bacia, pois fornece subsídios para o zoneamento territorial, evitando a promoção de atividades ou empreendimentos com alto potencial de contaminação do solo e conseqüentemente da água em zonas mais vulneráveis.

FIGURA 20 – MAPA DE VULNERABILIDADE DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO



#### 4 CONCLUSÕES

A **d demanda hídrica total** atual na bacia do Alto Descoberto é de **9,53 m<sup>3</sup>/s**, sendo as retiradas superficiais responsáveis por cerca de 97% deste total. O uso preponderante da água na bacia é o **abastecimento humano, responsável por 87% da demanda hídrica total**. A alta demanda destinada ao abastecimento público é devido à **vazão de captação outorgada no Lago do Descoberto**, a qual é responsável por 86% da demanda hídrica total, com um total de **7,96 m<sup>3</sup>/s**.

Com as vazões regionalizadas para os pontos de controle definidos, pode-se estimar os indicadores de disponibilidade hídrica. Dentre eles, selecionou-se a vazão de 95% de permanência ( $Q_{95\%}$ ) como referência para critério de outorgas e captação máxima permitida, segundo ANA (2014). De acordo com ADASA (2006), permite-se a captação de água até 80% da vazão referência, podendo ser estendida para 90% em casos de abastecimento público como ocorre na seção do reservatório do Descoberto.

O reservatório do Alto Descoberto é capaz de garantir, sem falhas, uma vazão de atendimento de 4,67 m<sup>3</sup>/s equivalente a 62% da MLT e 49% da demanda hídrica total, o que por si só sinaliza um potencial cenário de estresse hídrico.

Com o *software* AcquaNet simulou-se a rede de fluxo da bacia do Alto Descoberto, verificando a disponibilidade hídrica ao longo dos trechos da bacia. Para tanto, considerou-se as demandas superficiais e vazões referentes à disponibilidade hídrica estimada em cada ponto de demanda, ambos constantes no tempo. Para o reservatório, considerou-se as séries de vazões diárias consistidas de 1979 a 2017 com as demandas também constantes no tempo, observando a capacidade do reservatório em garantir o atendimento com base em seu histórico de aflúências. Considerou-se, também, a captação máxima permitido segundo resolução da ADASA, garantindo sempre a vazão ecológica a jusante.

Analisando os resultados da simulação para as sub-bacias, verificou-se que **apenas as sub-bacias 3 e 6 apresentaram déficits hídricos pontuais, tanto para a situação atual quanto para os cenários futuros** de curto e médio prazo, respectivamente os anos de 2023 e 2028. Tais sub-bacias possuem as maiores demandas. Ressalta-se que o único ponto de déficit na sub-bacia 6 ocorre devido a uma outorga elevada que se distingue das demais.

O reservatório apresentou uma maior vulnerabilidade hídrica, tendo em vista que concentra a maior demanda de toda a bacia destinada ao abastecimento público de Brasília, sendo capaz de supri-la em 78% do tempo para o ano de referência de 2018. **A curto prazo (2023) prevê-se que a capacidade de atendimento do reservatório caia para 70%, enquanto para a médio prazo (2028) caia para 61%.** Esse desempenho está dentro do esperado ao considerarmos que **a MLT das aflúências no reservatório, de 7,54 m<sup>3</sup>/s, é menor do que as captações superficiais atuais no lago do Descoberto, de 7,96 m<sup>3</sup>/s, e que a vazão máxima de regularização, teoricamente, corresponde a 4,67 m<sup>3</sup>/s (62% da MLT).**

Frente ao exposto quanto a disponibilidade hídrica superficial, a capacidade da bacia do Alto Descoberto em atender as demandas de abastecimento público está aquém do desejado, sendo o reservatório incapaz regularizar as vazões a ponto de garantir a segurança hídrica sem a ocorrência de falhas de atendimento. Reforçou-se, assim, o exposto no **Produto 3** e apresentado pelo Quadro 2 e Figura 6, onde identificou-se **a seção do reservatório como o ponto de maior criticidade hídrica da bacia em condições naturais.**

Quanto aos recursos hídricos subterrâneos na bacia do Alto Descoberto, destaca-se que a demanda é crescente, devido à ocupação territorial com viés fortemente urbano. Em contrapartida, a disponibilidade deste recurso é relativamente restrita, em função das características litológicas e estruturais do substrato, bem como das condições geo-ambientais regionais. Este quadro geral aponta para a premência da implementação de ações visando a implementação tanto da boa qualidade do manancial subterrâneo como de sua disponibilização quantitativa para gestão integrada com os recursos hídricos superficiais.

A qualidade da água subterrânea tende a piorar em função da ocupação territorial por assentamentos urbanos sem um sistema eficiente de coleta e tratamento de efluentes. Por outro lado, a ocupação urbana promove a impermeabilização do terreno diminuindo a recarga dos aquíferos e induzindo à um escoamento superficial episódico que rapidamente conduz água para fora do sistema.

Uma ação efetiva para manter uma certa estabilidade na disponibilidade da água subterrânea durante os ciclos climáticos anuais, proposta por muitos autores, é sem dúvida a recarga artificial de aquíferos conduzida segundo técnicas adaptadas para as condições regionais.

No sentido de melhorar e manter uma qualidade de água aceitável dos aquíferos, principalmente o poroso, que é o mais vulnerável, é necessária a implantação de um programa permanente de ações estruturais de saneamento, fiscalização e de educação ambiental da população para a disposição correta de resíduos sólidos e efluentes domésticos.

Para o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos como um todo e especificamente no caso dos subterrâneos, se faz mister a implantação de um programa permanente de monitoramento, tanto do nível potenciométrico dos aquíferos como da qualidade dos mesmos. Esta ação demanda a implantação e operação de uma rede de poços de monitoramento da potenciométrica dos aquíferos e de qualidade de água, distribuída por toda a bacia, com adensamento nas regiões de maior demanda, levando em conta os níveis de vulnerabilidade dos corpos de água.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. 2014.

\_\_\_\_\_. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2017. 169p.

\_\_\_\_\_. Manual de usos consuntivos da Água do Brasil. 75 p. Brasília: ANA, 2019.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (ADASA). Relatório anual de atividades. 2017.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 350/2006.

\_\_\_\_\_. Cadastro de Outorgas. 2019.

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHER, J.; PETTY, R. DRASTIC: A standardized system for evaluation groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. USEPA Report. 600/2-85/018, 1985.

CADAMURO A. L. M. Proposta, avaliação e aplicabilidade de técnicas de recarga artificial em aquíferos fraturados para condomínios residenciais do Distrito Federal. (Dissertação de Mestrado) Brasília: Universidade de Brasília/Instituto de Geociências, 2002. 126p.

CAMPOS J. E. G.; DARDENNE, M. A.; FREITAS-SILVA, F. H.; MARTINS-FERREIRA, M. A. C. Geologia do grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. Braz. J. Geol., São Paulo - SP, 43(3): 461-476, setembro de 2013.

CAMPOS J. E. G. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão de recursos hídricos subterrâneos. Revista Brasileira de Geociências, Brasília – DF, 34 (1): 41 – 48, março de 2004.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). Contratação da elaboração dos Planos de Ação Emergencial para compor os Planos de Segurança das Barragens do Descoberto, Santa Maria, Torto e Pipiripau. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do Alto Curso do Rio Descoberto, DF/GO, escala 1:100.000. Planaltina – DF, 2003.

FARIA, A. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança - Alto Paraíso de Goiás. (Tese de Doutorado) Brasília: Universidade de Brasília/ Instituto de Geociências, 1995. 199p.

FREITAS-SILVA, F. H.; CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol.1, parte I. 86p. 1988.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81p, 1988.

GOMIDE, F. L. S. Teoria Estocástica dos Reservatórios Aplicada ao Planejamento de Sistemas Hidrelétricos, Tese para Prof. Titular, UFPR, 1986.

GONÇALVES, T. D. Geoprocessamento como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região do Distrito Federal. (Dissertação de Mestrado) Brasília: Universidade de Brasília/Instituto de Geociências, 2007. 225p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TOPODATA: Banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos – SP. 2011.

LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÕES (LABSID). AcquaNet - Manual do usuário. Universidade de São Paulo. 2013.

LIMA, L. A. Vulnerabilidade geral de aquíferos fraturados: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá/RJ. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

LOBO F. J. P.: Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal. Portugal, 1995.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Plano de Manejo Apa Bacia do Rio Descoberto. Brasília - DF: 2014.

MIZUNO, M. G. M. Hidroquímica das águas subterrâneas do Distrito Federal. (Dissertação de Mestrado) Brasília/Instituto de Geociências. 2012., 135p.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA-SP). Atualização do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga. São Paulo, 2007.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Goiás e Distrito Federal. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em set 2019.

SILVA, M. D. Caracterização do meio físico da região de Águas Lindas - GO: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. (Dissertação de Mestrado) Brasília: Universidade de Brasília/ Instituto de Geociências. 96p., 2003.

THE NATURE CONSERVANCY (TNC). Termo de Referência – Contrato por Consultoria. Elaboração de estudo hidrológico da bacia do Alto Descoberto – DF/GO. 2019.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. Hidrologia Básica. Editora Edgard Blücher. 1ª edição. 278 p. Rio de Janeiro, 1976.

## 6 APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – MÉDIAS MENSAIS NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

[m³/s]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1979	24,30	20,29	13,33	12,40	8,50	7,40	6,35	5,77	5,50	4,78	7,03	8,12	4,78	10,31	24,30
1980	18,01	26,79	13,50	13,26	9,33	7,47	6,79	5,61	5,48	4,25	7,63	11,68	4,25	10,82	26,79
1981	12,38	9,11	14,55	14,03	9,05	7,49	6,15	4,75	3,83	9,08	15,96	13,17	3,83	9,96	15,96
1982	20,01	12,81	16,24	12,31	8,97	6,70	5,19	5,04	3,71	5,37	5,72	7,30	3,71	9,11	20,01
1983	16,92	24,52	15,76	12,12	8,26	6,72	5,83	4,79	4,80	6,22	11,95	13,95	4,79	10,99	24,52
1984	11,19	10,57	10,58	12,77	7,26	5,76	4,77	4,42	4,30	5,02	4,16	5,07	4,16	7,16	12,77
1985	14,83	10,85	9,65	10,44	6,99	5,10	4,32	3,54	3,06	4,38	4,57	8,86	3,06	7,22	14,83
1986	12,89	10,79	8,40	6,19	5,46	4,13	3,58	3,29	2,68	3,19	3,08	7,04	2,68	5,89	12,89
1987	7,20	6,07	12,32	8,38	5,71	4,18	3,34	2,77	2,75	3,40	7,84	11,34	2,75	6,27	12,32
1988	7,99	11,30	15,46	12,02	7,66	5,91	4,83	4,01	3,32	5,03	7,83	11,79	3,32	8,10	15,46
1989	10,56	10,08	12,08	7,68	5,89	4,82	4,09	3,90	3,79	5,50	8,44	26,82	3,79	8,64	26,82
1990	15,82	12,90	11,08	10,09	8,39	6,13	6,22	4,47	5,06	5,08	6,07	5,78	4,47	8,09	15,82
1991	10,21	11,27	15,16	13,49	8,10	6,16	4,98	4,17	3,82	4,24	5,73	8,50	3,82	7,99	15,16
1992	11,98	20,02	11,38	14,77	9,66	7,13	5,74	4,77	4,83	6,75	10,99	22,55	4,77	10,88	22,55
1993	14,11	14,17	10,94	10,85	7,93	6,56	5,29	5,05	4,48	4,39	4,47	11,29	4,39	8,30	14,17
1994	17,91	14,03	23,02	15,25	10,86	9,01	7,45	6,32	5,17	5,46	7,71	10,14	5,17	11,03	23,02
1995	12,84	12,60	13,67	13,46	10,14	7,33	5,71	4,30	3,76	4,14	6,16	10,66	3,76	8,73	13,67
1996	6,89	5,04	7,44	6,37	4,34	3,15	2,36	2,11	1,92	2,56	6,17	6,00	1,92	4,53	7,44
1997	14,35	9,17	13,81	13,15	8,72	6,45	4,57	3,20	3,37	2,89	4,46	6,07	2,89	7,52	14,35
1998	7,20	8,07	9,31	5,96	3,94	2,87	2,17	1,76	1,32	2,12	7,61	9,51	1,32	5,15	9,51
1999	7,99	6,46	11,91	6,18	4,42	3,43	2,63	1,87	2,00	3,27	8,13	11,38	1,87	5,81	11,91
2000	16,62	12,35	12,26	7,68	5,03	3,84	3,18	2,57	3,58	3,22	11,40	12,24	2,57	7,83	16,62
2001	11,13	10,89	14,19	9,28	5,76	4,13	3,16	2,62	2,57	3,46	8,83	13,37	2,57	7,45	14,19
2002	15,60	15,89	10,20	8,55	5,85	4,65	3,89	3,03	2,99	2,46	4,26	4,62	2,46	6,83	15,89
2003	8,26	7,92	9,93	9,47	5,39	3,82	2,83	2,21	1,89	1,76	2,95	2,85	1,76	4,94	9,93
2004	12,93	19,41	15,79	15,06	7,92	5,79	4,51	3,35	2,22	2,95	3,98	7,01	2,22	8,41	19,41
2005	11,16	12,80	17,60	9,85	6,96	5,51	4,07	3,26	2,31	1,67	4,61	10,39	1,67	7,52	17,60
2006	8,57	9,45	11,99	12,96	8,14	5,62	4,44	3,22	2,99	8,18	7,80	9,31	2,99	7,72	12,96
2007	16,44	15,89	10,29	8,02	5,72	4,26	3,41	2,48	1,73	1,89	4,06	8,58	1,73	6,90	16,44
2008	8,87	14,32	18,46	13,33	7,44	5,40	4,25	3,17	2,97	2,50	5,93	10,57	2,50	8,10	18,46
2009	12,64	14,17	9,09	13,33	8,61	5,96	4,37	3,77	4,06	6,35	6,44	12,96	3,77	8,48	14,17
2010	11,90	8,67	9,14	8,12	4,58	3,46	2,50	1,99	1,58	3,92	7,87	12,41	1,58	6,34	12,41
2011	14,42	10,82	10,62	8,21	5,87	4,17	3,10	2,30	1,76	3,84	9,37	17,51	1,76	7,67	17,51
2012	17,18	10,86	9,21	8,44	5,91	5,00	3,29	2,35	2,16	1,87	8,01	7,58	1,87	6,82	17,18
2013	12,73	9,67	9,95	10,07	5,66	4,90	3,66	2,62	2,33	4,29	5,19	12,68	2,33	6,98	12,73
2014	8,55	8,51	11,45	12,84	6,34	4,81	3,56	2,55	1,82	1,72	3,46	10,27	1,72	6,32	12,84
2015	3,87	7,19	11,52	11,19	7,61	4,57	3,20	2,15	1,74	1,62	2,99	4,33	1,62	5,16	11,52
2016	13,65	8,53	9,08	4,76	3,55	2,40	1,76	1,43	1,25	1,89	3,94	4,32	1,25	4,71	13,65
2017	5,31	9,35	6,21	5,83	3,66	2,21	1,54	1,24	1,45	1,38	2,98	8,00	1,24	4,10	9,35
<b>Mínima</b>	3,87	5,04	6,21	4,76	3,55	2,21	1,54	1,24	1,25	1,38	2,95	2,85			
<b>Média</b>	12,45	12,14	12,22	10,46	6,91	5,24	4,18	3,39	3,09	3,90	6,56	10,15			
<b>Máxima</b>	24,30	26,79	23,02	15,25	10,86	9,01	7,45	6,32	5,50	9,08	15,96	26,82			

**APÊNDICE 2 – DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS ATUAIS NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Ponto de controle	Sub-bacia hidrográfica	Corpo Hídrico	Finalidade	Vazão [m³/s]	Latitude	Longitude
3	Rio Descoberto	Rio Descoberto	Abastecimento Humano	0,0000	-15,68	-48,23944444
3	Rio Descoberto	Córrego Cortado	Irrigação	0,0007	-15,67	-48,22611111
3	Rio Descoberto	Córrego Cortado	Irrigação	0,0017	-15,66988056	-48,22938333
3	Rio Descoberto	Córrego Zé Pires	Irrigação	0,0001	-15,65475556	-48,22716389
3	Rio Descoberto	Córrego Zé Pires	Abastecimento Humano	0,0000	-15,65528611	-48,22784444
3	Rio Descoberto	Córrego Buriti	Criação De Animais	0,0002	-15,62765556	-48,187375
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Irrigação	0,0000	-15,64027778	-48,16138889
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Abastecimento Humano	0,0000	-15,63312222	-48,14985278
3	Rio Descoberto	Nascente No Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0000	-15,65801667	-48,173625
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0005	-15,65492222	-48,17888611
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0000	-15,65958056	-48,16894722
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0001	-15,65585556	-48,17794722
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0001	-15,65603611	-48,17785833
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Criação De Animais	0,0049	-15,65027778	-48,18027778
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Irrigação	0,0037	-15,65417778	-48,17908056
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Irrigação	0,0000	-15,63805556	-48,18277778
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,1060	-15,65932021	-48,1684961
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Irrigação	0,0045	-15,64388889	-48,17388889
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0012	-15,65568056	-48,178125
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Irrigação	0,0057	-15,65194444	-48,17972222
3	Rio Descoberto	Rio Descoberto	Irrigação	0,0046	-15,6268	-48,19514722
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0011	-15,65583333	-48,17805556
3	Rio Descoberto	Rio Descoberto	Abastecimento Humano	0,0044	-15,65352222	-48,22339167
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Abastecimento Humano	0,0013	-15,6270178	-48,16186272
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Irrigação	0,0017	-15,63888889	-48,16027778
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Abastecimento Humano	0,0009	-15,62166667	-48,17111111
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Abastecimento Humano	0,0009	-15,62356111	-48,16717222
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Irrigação	0,0009	-15,62305278	-48,16446389
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Abastecimento Humano	0,0012	-15,618175	-48,15643889
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Irrigação	0,0004	-15,61968889	-48,15984444
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Abastecimento Humano	0,0000	-15,623025	-48,16448056
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Irrigação	0,0014	-15,63958889	-48,15973889
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Abastecimento Humano	0,0017	-15,63861111	-48,15666667
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Criação De Animais	0,0000	-15,63416667	-48,1825
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Irrigação	0,0010	-15,63305556	-48,18222222
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Irrigação	0,0011	-15,62916667	-48,15861111

Ponto de controle	Sub-bacia hidrográfica	Corpo Hídrico	Finalidade	Vazão [m³/s]	Latitude	Longitude
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Abastecimento Humano	0,0011	-15,64201389	-48,16686667
3	Rio Descoberto	Córrego Bucanhão	Abastecimento Humano	0,0001	-15,64669167	-48,16587222
3	Rio Descoberto	Córrego Vendinha	Irrigação	0,0028	-15,61791944	-48,18944167
3	Rio Descoberto	Córrego Vendinha	Irrigação	0,0028	-15,62040278	-48,19173056
3	Rio Descoberto	Córrego Capão Da Onça	Criação De Animais	0,0000	-15,63582386	-48,18329493
3	Rio Descoberto	Córrego Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0000	-15,64083333	-48,18222222
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Abastecimento Humano	0,0000	-15,61511111	-48,14764722
3	Rio Descoberto	Afluente Do Córrego Barrocão	Criação De Animais	0,0009	-15,62150833	-48,14808889
3	Rio Descoberto	Rio Descoberto	Abastecimento Humano	0,0049	-15,68055556	-48,23861111
3	Rio Descoberto	Rio Descoberto	Abastecimento Humano	0,0049	-15,67925278	-48,23888116
3	Rio Descoberto	Córrego Barrocão	Abastecimento Humano	0,1030	-15,63481523	-48,18350165
3	Rio Descoberto	Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0011	-15,65631667	-48,174925
3	Rio Descoberto	Rio Descoberto	Criação De Animais	0,0000	-15,685833	-48,240833
3	Rio Descoberto	Córrego Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0000	-15,659683	-48,169211
3	Rio Descoberto	Córrego Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0000	-15,65945	-48,168633
3	Rio Descoberto	Rio Descoberto	Irrigação	0,0242	-15,633056	-48,229361
3	Rio Descoberto	Córrego Capão Da Onça	Abastecimento Humano	0,0025	-15,64469349	-48,18055725
4	Córrego Chapadinha	Córrego Do Pulador	Irrigação	0,0004	-15,68888889	-48,19
4	Córrego Chapadinha	Córrego Pulador	Irrigação	0,0000	-15,681975	-48,18588889
4	Córrego Chapadinha	Córrego Capãozinho	Abastecimento Humano	0,0000	-15,686925	-48,211286
4	Córrego Chapadinha	Córrego Chapadinha	Irrigação	0,0000	-15,701647	-48,212386
4	Córrego Chapadinha	Córrego Veredinha	Outros	0,0400	-15,68754567	-48,19706771
5	Córrego Olaria	Córrego Olaria	Irrigação	0,0116	-15,68777778	-48,17333333
5	Córrego Olaria	Córrego Olaria	Irrigação	0,0005	-15,69916944	-48,18498889
5	Córrego Olaria	Córrego Olaria	Irrigação	0,0010	-15,69925	-48,18498333
5	Córrego Olaria	Córrego Do Índio	Abastecimento Humano	0,0021	-15,69861111	-48,16527778
5	Córrego Olaria	Afluente Córrego Indio	Criação De Animais	0,0004	-15,69829444	-48,16813056
5	Córrego Olaria	Córrego Do Indio	Abastecimento Humano	0,0000	-15,69861111	-48,16527778
5	Córrego Olaria	Córrego Do Indio	Abastecimento Humano	0,0000	-15,69916389	-48,16505
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Do Córrego Jatobazinho	Abastecimento Humano	0,0003	-15,72030068	-48,13162859
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Do Córrego Fumabé	Abastecimento Humano	0,0002	-15,71305556	-48,16777778
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Do Córrego Fumabé	Abastecimento Humano	0,0000	-15,71345833	-48,16673333
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Cabeceira Comprida	Criação De Animais	0,0061	-15,62	-48,07232222
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Rodeador	Irrigação	0,0063	-15,64100556	-48,093675
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Córrego Cabeceira Comprida	Irrigação	0,0001	-15,61944444	-48,08388889

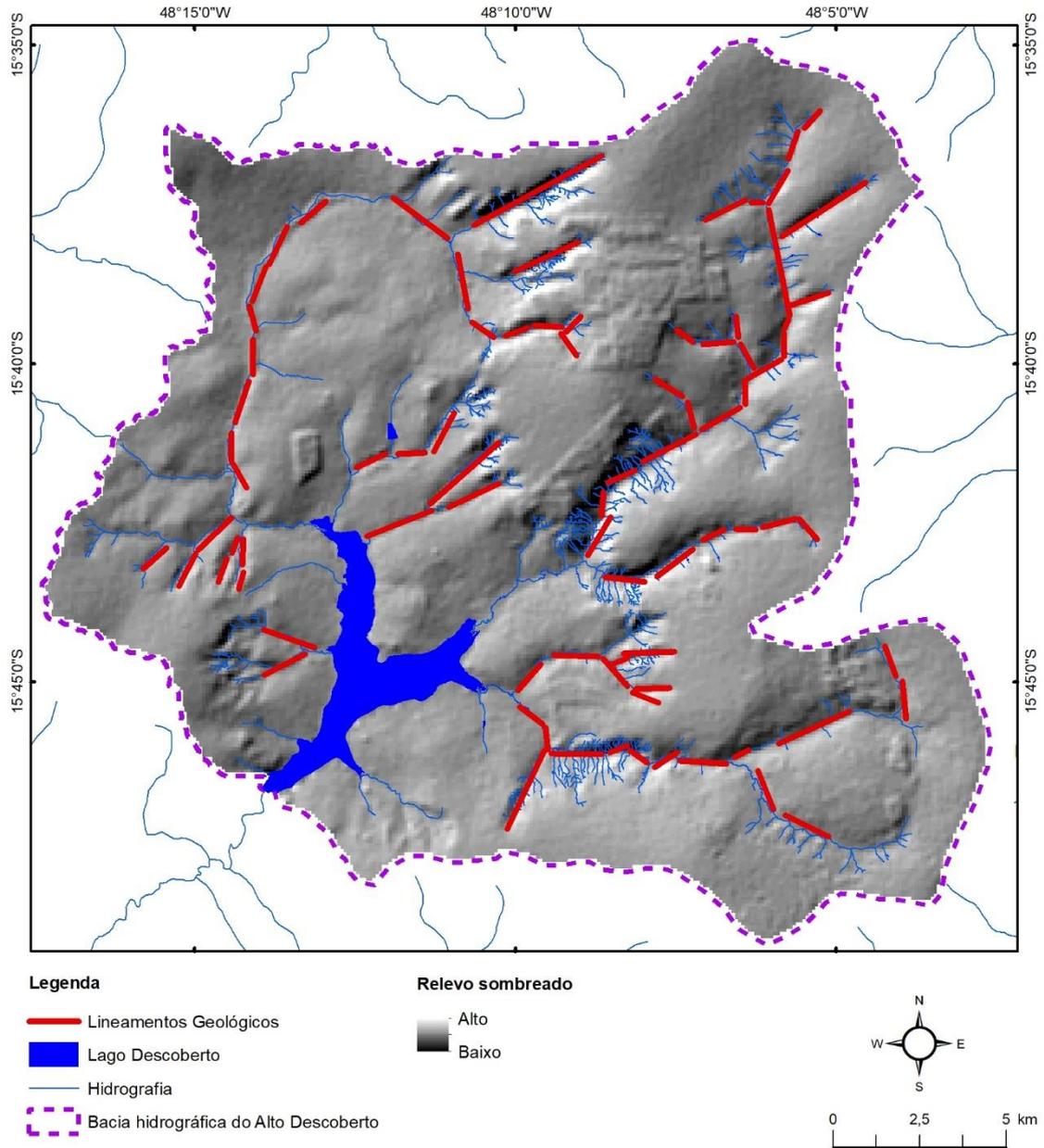
Ponto de controle	Sub-bacia hidrográfica	Corpo Hídrico	Finalidade	Vazão [m³/s]	Latitude	Longitude
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Do Córrego Fumabé	Criação De Animais	0,0001	-15,71436111	-48,16609167
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Rodeador	Irrigação	0,0006	-15,69886111	-48,14965556
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Córrego Capoeira Chata	Abastecimento Humano	0,0026	-15,634975	-48,11107778
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Córrego Guariroba	Irrigação	0,0004	-15,65636944	-48,11005278
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Guariroba	Abastecimento Humano	0,0006	-15,65763611	-48,12473889
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Guariroba	Abastecimento Humano	0,0004	-15,65927778	-48,12336667
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Guariroba	Irrigação	0,0000	-15,66175278	-48,11770833
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,64777778	-48,09
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Guariroba	Outros	0,0000	-15,6625	-48,11388889
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Bonito	Abastecimento Humano	0,0000	-15,69305556	-48,10027778
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Guariroba	Irrigação	0,0000	-15,65694444	-48,12555556
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Jatobá	Uso Comercial	0,0000	-15,60305556	-48,08638889
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Jatobá	Abastecimento Humano	0,0000	-15,62931389	-48,11553611
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,67959167	-48,11050833
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Cristal	Irrigação	0,0000	-15,678425	-48,12334444
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Do Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,69155556	-48,13242778
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Do Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,60546389	-48,10408333
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Irrigação	0,5579	-15,68885	-48,12717778
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,71528056	-48,14841111
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,71390833	-48,14942778
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0256	-15,72827872	-48,16699516
6	Ribeirão Rodeador	Afluente Do Ribeirão Rodeador	Irrigação	0,0056	-15,72099722	-48,15995556
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,684017	-48,137442
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,703142	-48,147525
6	Ribeirão Rodeador		Abastecimento Humano	0,0000	-15,6792	-48,103869
6	Ribeirão Rodeador		Abastecimento Humano	0,0000	-15,676247	-48,104367
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Do Meio	Irrigação	0,0000	-15,683108	-48,107458
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Irrigação	0,0000	-15,681622	-48,113389
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Do Meio	Irrigação	0,0000	-15,677442	-48,094533
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Cristal	Irrigação	0,0000	-15,670697	-48,130881
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Abastecimento Humano	0,0000	-15,697681	-48,143194
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Cabeceira Comprida	Criação De Animais	0,0001	-15,63425	-48,08686111
6	Ribeirão Rodeador	Ribeirão Rodeador	Irrigação	0,0016	-15,64190278	-48,09761944

Ponto de controle	Sub-bacia hidrográfica	Corpo Hídrico	Finalidade	Vazão [m³/s]	Latitude	Longitude
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Cabeceira Comprida	Abastecimento Humano	0,0000	-15,61728056	-48,07238889
6	Ribeirão Rodeador	Córrego Cabeceira Comprida	Criação De Animais	0,0005	-15,61663611	-48,07817778
7	Córrego Capão Comprido	Córrego Capão Comprido	Irrigação	0,0017	-15,746875	-48,16166111
7	Córrego Capão Comprido	Afluente Capão Comprido	Irrigação	0,0008	-15,74185278	-48,12970556
7	Córrego Capão Comprido	Afluente Capão Comprido	Criação De Animais	0,0001	-15,73894444	-48,13892222
7	Córrego Capão Comprido	Nascente Córrego Capão Comprido	Abastecimento Humano	0,0023	-15,747975	-48,12470278
7	Córrego Capão Comprido	Afluente Capão Comprido	Abastecimento Humano	0,0000	-15,75096682	-48,12367769
7	Córrego Capão Comprido	Córrego Capão Comprido	Abastecimento Humano	0,0000	-15,74222222	-48,14916667
7	Córrego Capão Comprido	Córrego Capão Comprido	Abastecimento Humano	0,0000	-15,743611	-48,157778
7	Córrego Capão Comprido	Vai Para Córrego Capão Comprido	Irrigação	0,0000	-15,741111	-48,142222
7	Córrego Capão Comprido	Ribeirão Das Pedras	Criação De Animais	0,0000	-15,761389	-48,121406
7	Córrego Capão Comprido	Córrego Capão Comprido	Irrigação	0,0013	-15,74136111	-48,12663889
7	Córrego Capão Comprido	Córrego Capão Comprido	Irrigação	0,0011	-15,74111111	-48,12638889
7	Córrego Capão Comprido	Córrego Capão Comprido	Irrigação	0,0063	-15,75054167	-48,16455278
7	Córrego Capão Comprido	Ribeirão Das Pedras	Outros	0,0023	-15,74778863	-48,12555078
8	Ribeirão das Pedras	Afluente Córrego Veredinha	Abastecimento Humano	0,0002	-15,77490278	-48,16478889
8	Ribeirão das Pedras	Afluente Córrego Veredinha	Abastecimento Humano	0,0001	-15,77520833	-48,16135
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Veredinha	Abastecimento Humano	0,0000	-15,7819	-48,16208056
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Veredinha	Abastecimento Humano	0,0000	-15,78476944	-48,16387222
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Veredinha	Abastecimento Humano	0,0000	-15,78199722	-48,16437778
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Veredinha	Abastecimento Humano	0,0000	-15,7811	-48,15993611
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Criação De Animais	0,0000	-15,77916667	-48,14222222
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Irrigação	0,0000	-15,76777778	-48,15277778
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Irrigação	0,0000	-15,77760897	-48,11977875
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Dos Currais	Abastecimento Humano	0,0000	-15,79234167	-48,06681111
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Dos Currais	Abastecimento Humano	0,0000	-15,78633333	-48,10246944
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Dos Currais	Criação De Animais	0,0000	-15,78388889	-48,1025
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Dos Currais	Abastecimento Humano	0,0000	-15,792225	-48,09611944
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Dos Currais	Abastecimento Humano	0,0000	-15,79389659	-48,0926527
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Irrigação	0,0000	-15,7675	-48,153889
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Abastecimento Humano	0,0000	-15,779886	-48,154664
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Currais	Criação De Animais	0,0000	-15,794017	-48,070808
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Currais	Abastecimento Humano	0,0000	-15,791667	-48,068889

Ponto de controle	Sub-bacia hidrográfica	Corpo Hídrico	Finalidade	Vazão [m³/s]	Latitude	Longitude
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Abastecimento Humano	0,0000	-15,778394	-48,134497
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Abastecimento Humano	0,0000	-15,777239	-48,133608
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Abastecimento Humano	0,0000	-15,769728	-48,133861
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Abastecimento Humano	0,0000	-15,771492	-48,136597
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Currais	Abastecimento Humano	0,0000	-15,790722	-48,098153
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Currais	Abastecimento Humano	0,0008	-15,78843333	-48,10189722
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Currais	Abastecimento Humano	0,0000	-15,78580833	-48,10295833
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Veredinha	Abastecimento Humano	0,0000	-15,77828611	-48,15963611
8	Ribeirão das Pedras	Córrego Currais	Irrigação	0,0000	-15,79185278	-48,06524167
8	Ribeirão das Pedras	Ribeirão Das Pedras	Criação De Animais	0,0001	-15,77277778	-48,115
BARRAGEM	BARRAGEM	Córrego Rocinha	Irrigação	0,0000	-15,75055556	-48,17361111
BARRAGEM	BARRAGEM	Para Barragem Do Descoberto	Irrigação	0,0000	-15,73527778	-48,18166667
BARRAGEM	BARRAGEM	Para Barragem Do Descoberto	Irrigação	0,0000	-15,75291944	-48,18423889
BARRAGEM	BARRAGEM	Rio Descoberto	Abastecimento Humano	7,9580	-15,77803059	-48,22875349

APÊNDICE 3 – FIGURAS AUXILIARES PARA A COMPOSIÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE DOS  
AQUÍFEROS

FIGURA 21 – LINEMAENTOS DESENHADOS COM BASE EM RELEVOS SOMBREADOS DA BACIA DO  
ALTO DESCOBERTO, OBTIDOS A PARTIR DO MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO



Fonte: INPE (2011).

FIGURA 22 – MAPA DE DENSIDADE DE LINEAMENTOS

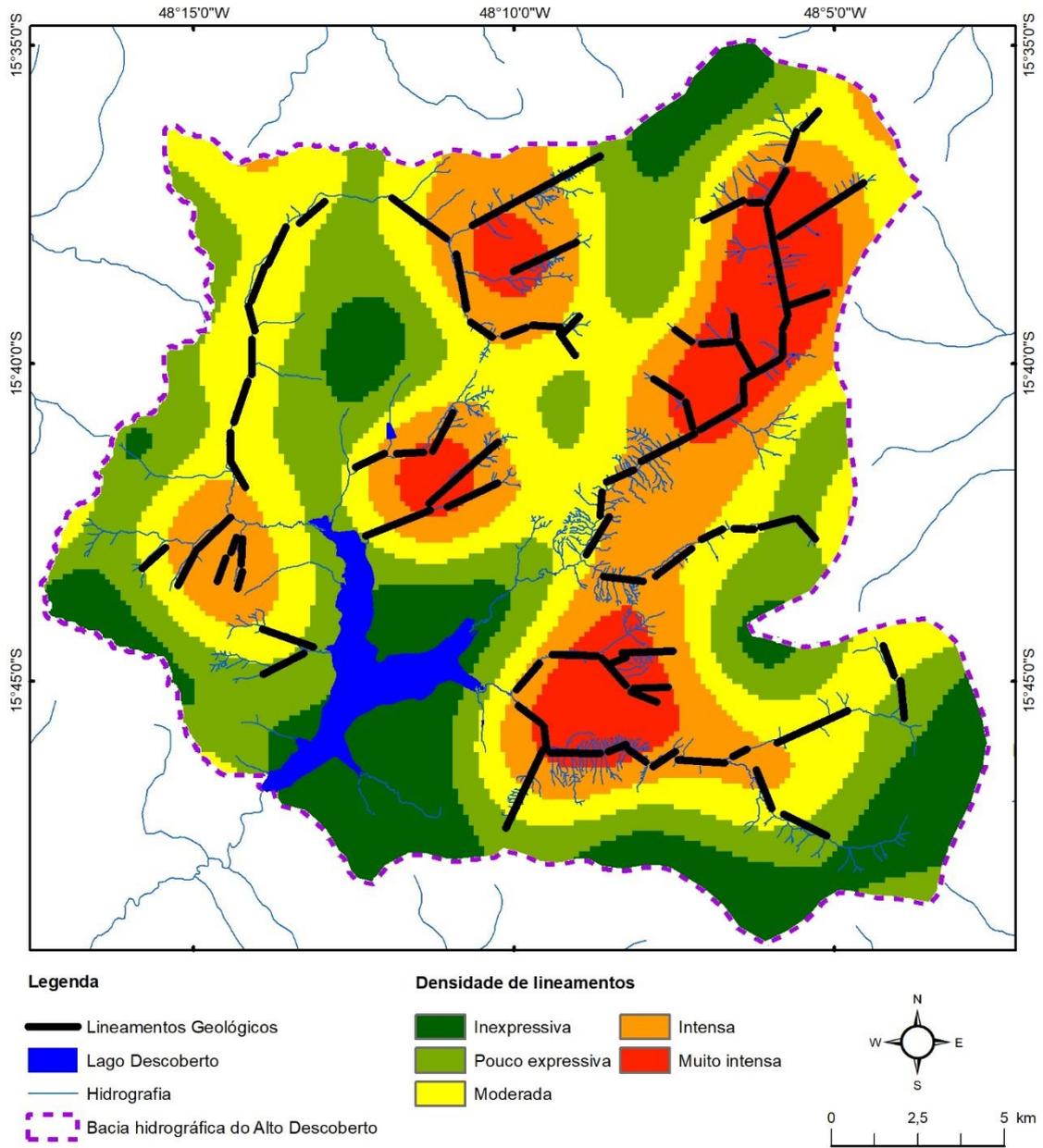
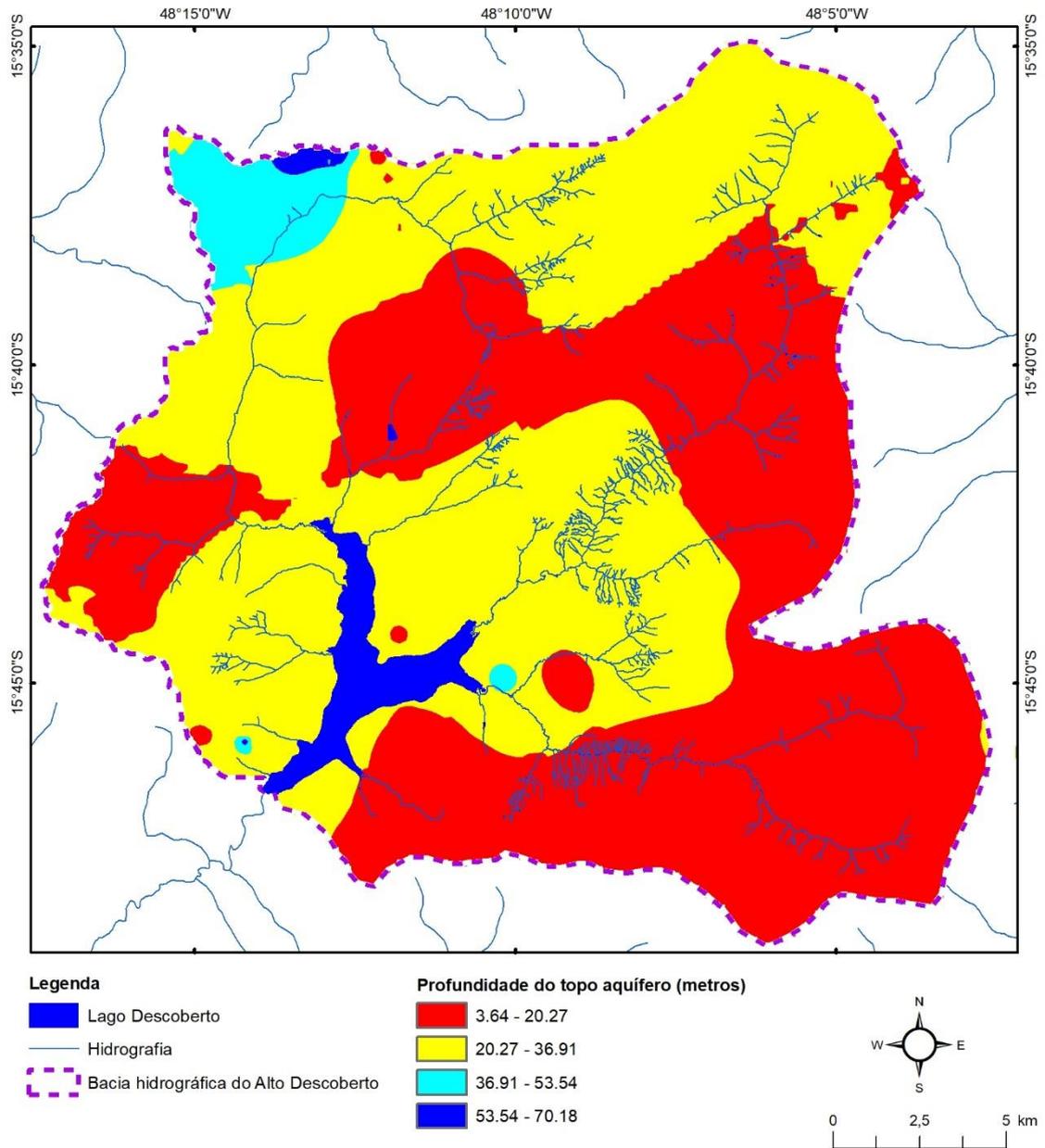
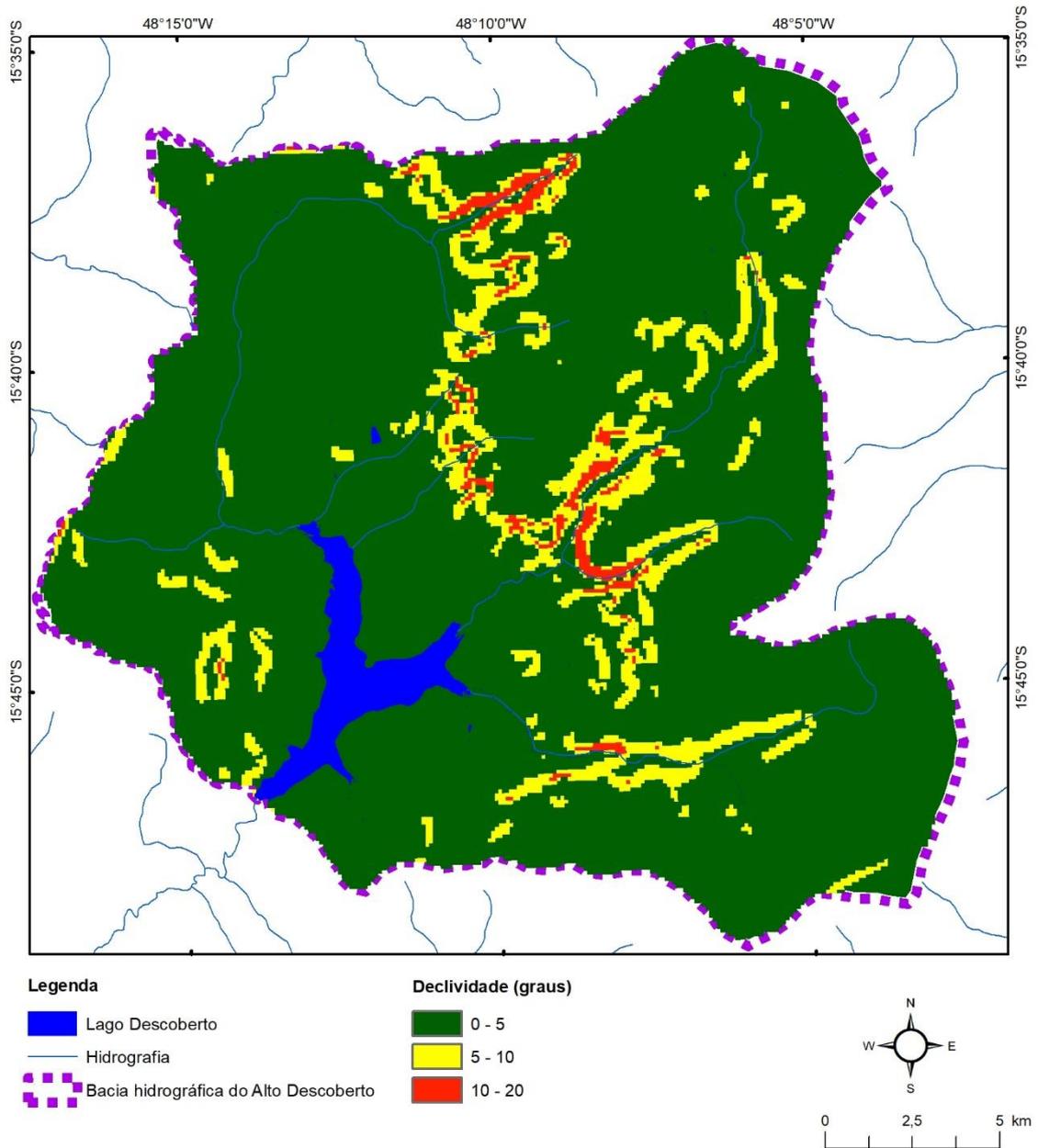


FIGURA 23 – MAPA DE TOPO DO AQUIFERO, OBTIDO ATRAVÉS DA INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE NÍVEL ESTÁTICO DO SIAGAS E DE POÇOS COM CADASTRO DE OUTORGA

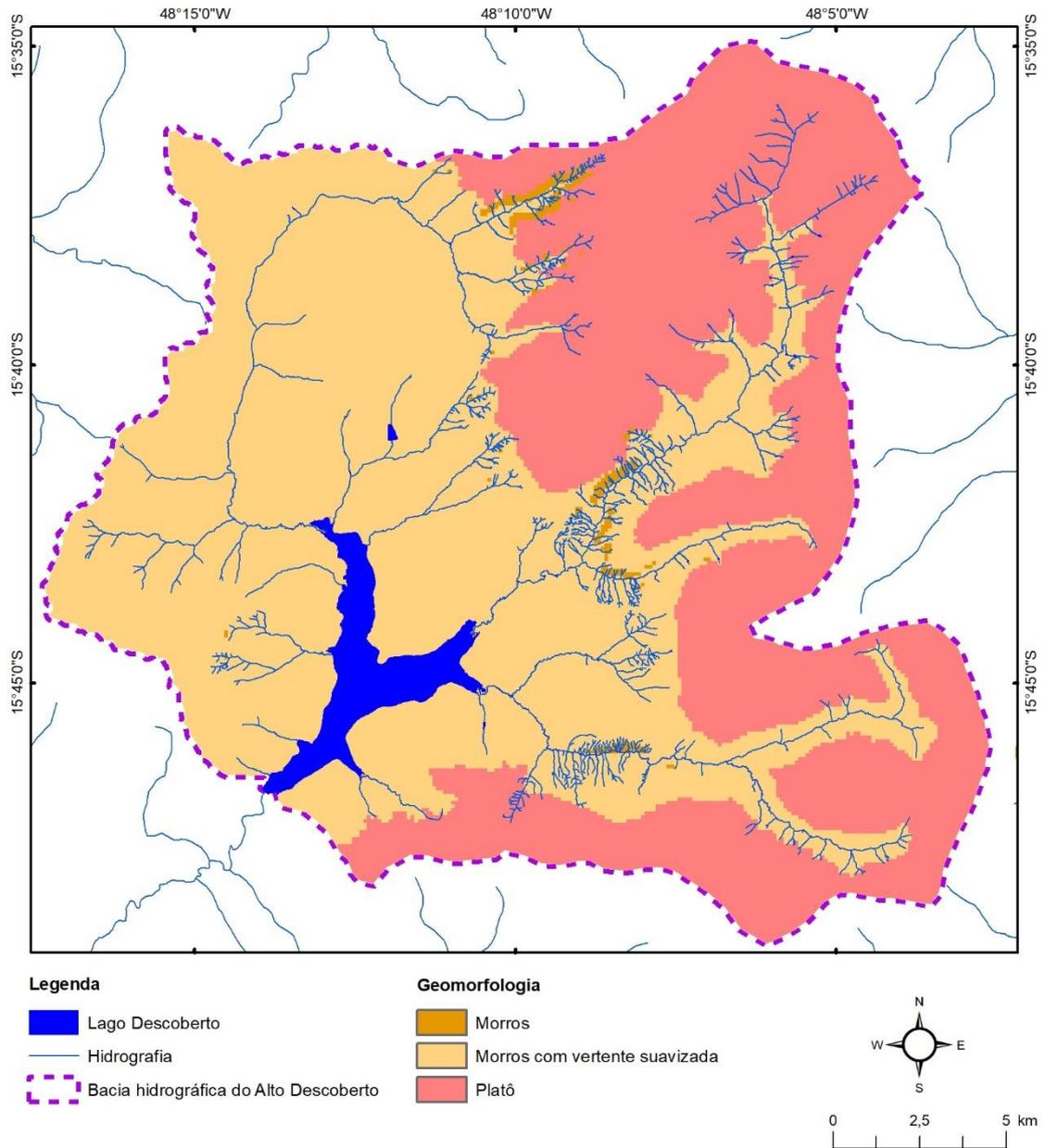


**FIGURA 24 – MAPA DE VULNERABILIDADE DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO QUANTO À DECLIVIDADE**



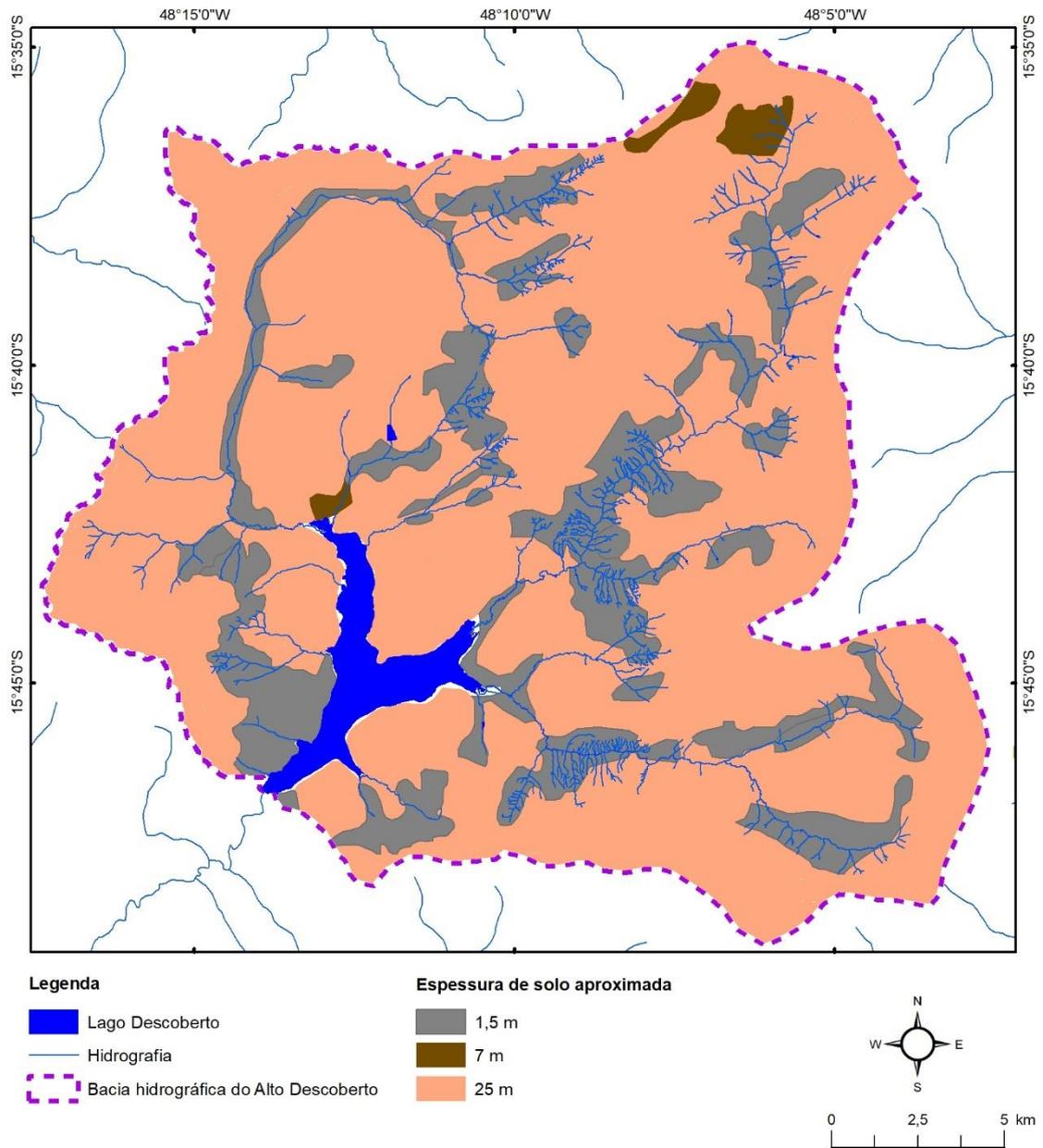
Fonte: INPE (2011).

**FIGURA 25 – MAPA GEOMORFOLÓGICO DO PLANO DE MANEJO DA APA DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



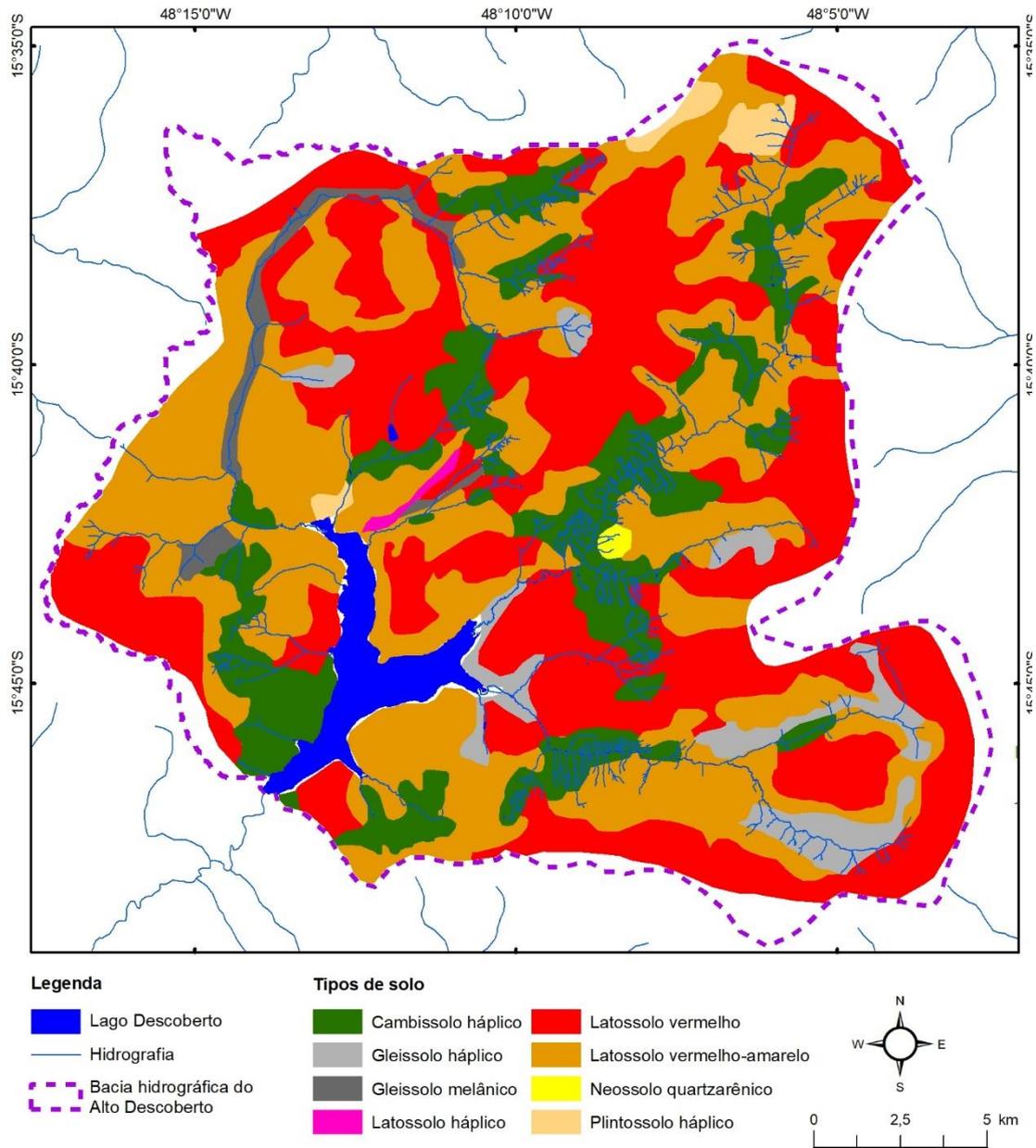
Fonte: Adaptado de MMA e ICMBio (2014).

FIGURA 26 – MAPA DE ESPESSURA DE SOLOS DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO



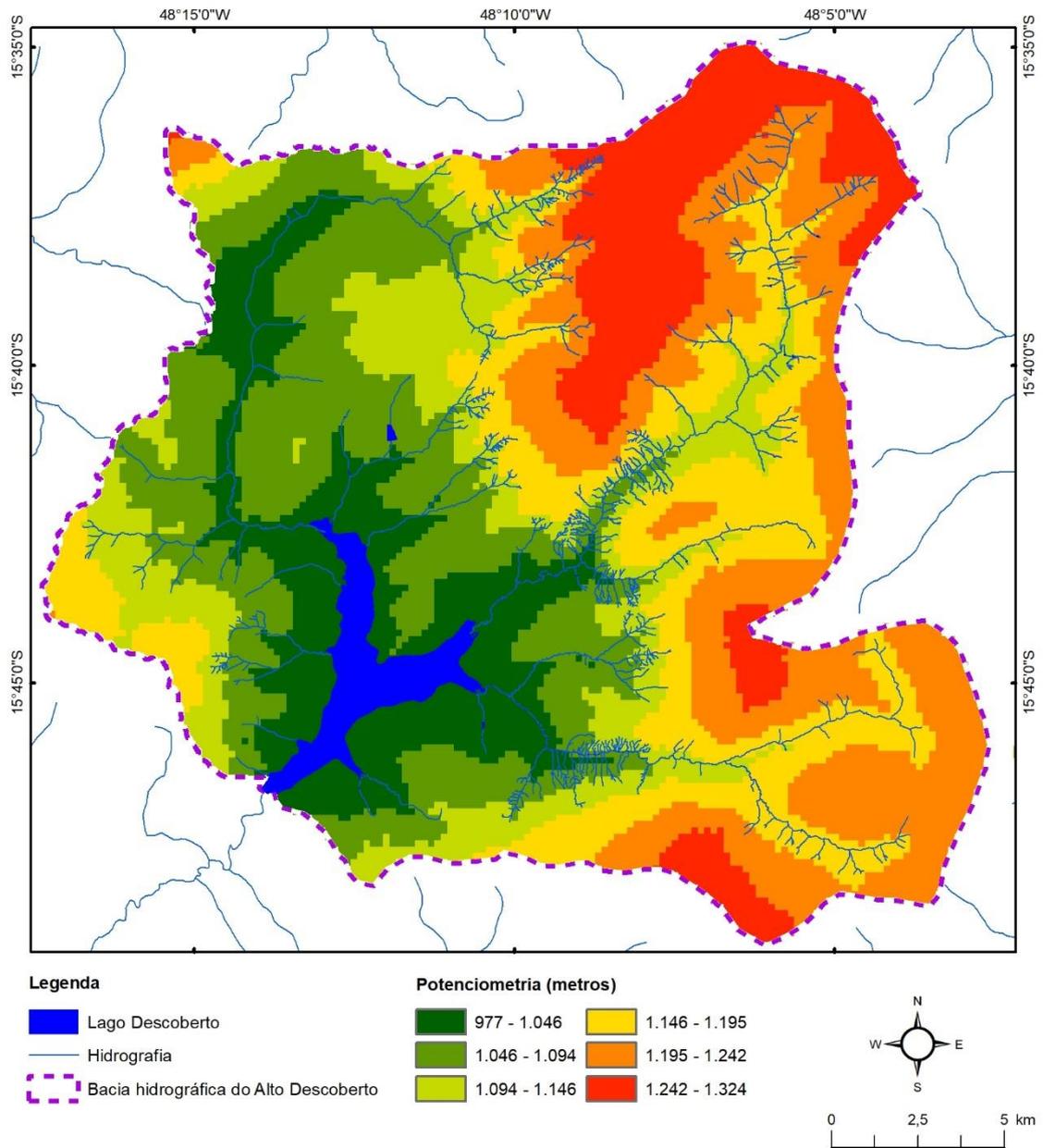
Fonte: Embrapa (2003), MMA e ICMBio (2014).

FIGURA 27 – TIPOS DE SOLOS NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO



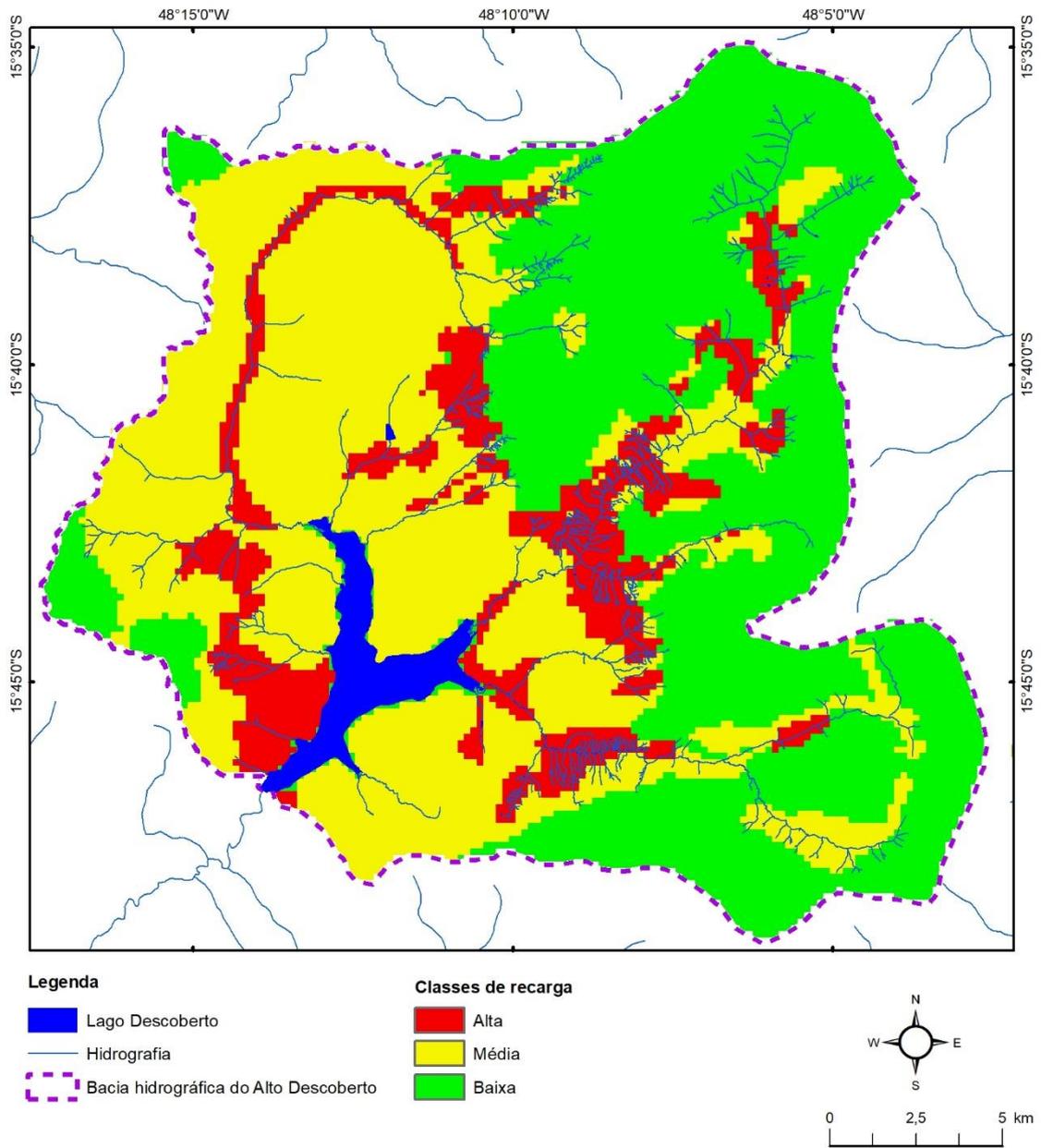
Fonte: Adaptado de Embrapa (2003).

FIGURA 28 – MAPA POTENCIOMÉTRICO DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO



Fonte: Adaptado de SIAGAS (2019) e INPE (2011).

FIGURA 29 – MAPA DE CLASSES DE RECARGA DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO



## 7 ANEXOS DIGITAIS

Os arquivos a seguir encontram-se em meio digital.

- Banco de dados de poços operantes do SIAGAS.
- Banco de dados de outorgas da ADASA.
- Banco de dados dos poços de monitoramento.

RHIA

RHIA

WATER AND ENVIRONMENTAL RESOURCES  
ENGINEERING

[www.rhaengenharia.com.br](http://www.rhaengenharia.com.br)  
+55 (41) 3232-0732 | [contato@rhaengenharia.com.br](mailto:contato@rhaengenharia.com.br)