

PROJETO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA INTERNACIONAL



ESTUDOS SOBRE A VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE

ÁGUA DE REÚSO

PARA ATENDIMENTO DO
SETOR AGRÍCOLA DO
DISTRITO FEDERAL

RESUMO EXECUTIVO

MAURO ROBERTO FELIZATTO
RODRIGO OLIVEIRA WERNECK

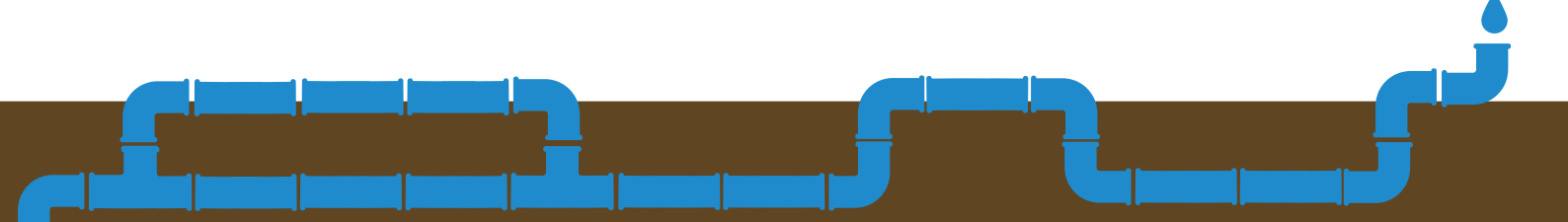


**PROJETO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA
INTERNACIONAL**

PROJETO UNESCO 914BRZ2010
Edital 02/2023

**Elaboração de estudos sobre a viabilidade da utilização de Água
de Reúso para atendimento do Setor Agrícola
do Distrito Federal**

CONTRATO ADASA/UNESCO





ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUA, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DF

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA

CONSULTOR INDIVIDUAL:

Mauro Roberto Felizatto

EQUIPE TÉCNICA:

Mauro Roberto Felizatto

Rodrigo Oliveira Werneck

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS:

Gustavo Antônio Carneiro

COLABORADORES:

Aline Batista de Oliveira | CAESB

Érica Yoshida de Freitas | ADASA

Cristiane Martins de Sousa Nava Castro | ADASA

Cristina Saboya Gouveia Santos | ADASA

Fabiana Brunn Lagunas | Atlantium Illuminating Water Technologies

Felipe Nery | Calculista

Lucas Pereira de Oliveira | ADASA

Marco Antônio Almeida de Souza | Prof. Emérito da UnB

Marcos de Lara Maia | EMATER-DF

Marco Peixoto | CAESB

Ricardo Franci Gonçalves | UFES

Rosvaldo Catino | PoluiZero

Saulo Gregory Luzzi | ADASA

Welber Ferreira Alves | ADASA

AGRADECIMENTOS:

ADASA, CAESB, EMATER e UNESCO

SUMÁRIO

Contextualização, 6

Atual Conjuntura da Gestão dos Recursos Hídricos do Distrito Federal.

Materiais e métodos, 8

Metodologias para avaliar a viabilidade do reúso de água no setor agrícola do DF

Resultados

Avaliação das ETEs, 13

15 ETEs operadas pela CAESB

Potencial de Uso, 18

UH Paranoá, UH Melchior,
UH Sobradinho, UH Ponte Alta e
UH Alto Descoberto

Melhorias das ETEs, 33

Desinfecção e Polimento Final

Investimentos necessários SAAR, 40

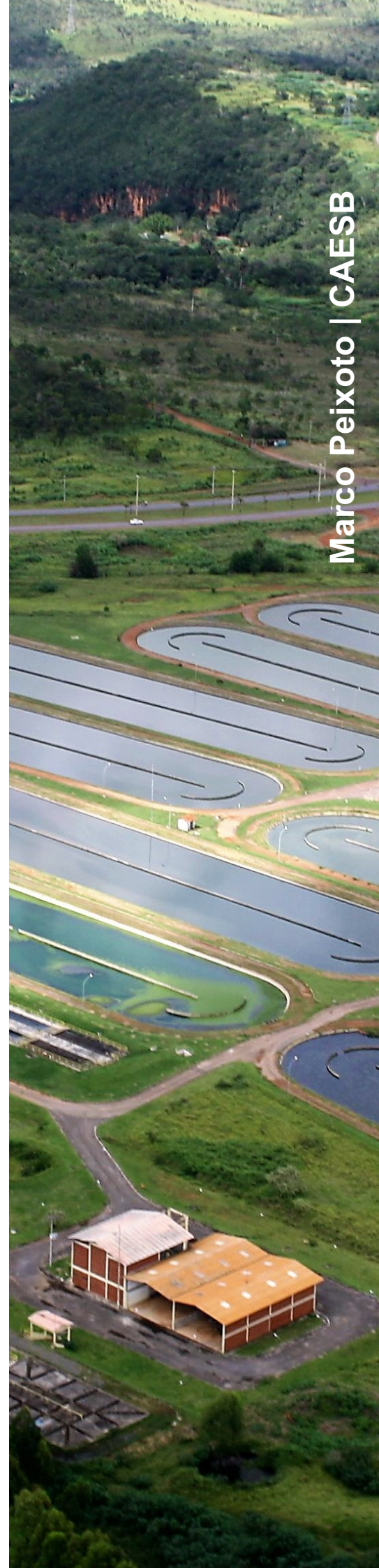
Estimativas de custos para que a água chegue aos potenciais usuários

Impacto na Tarifa, 44

Possíveis impactos na tarifa e água e esgoto

Considerações Finais, 47

Recomendações sobre a viabilidade da água de reúso no setor agrícola



Contextualização

O Distrito Federal (DF) é uma região sujeita à sazonalidade climática, apresentando anualmente estiagens que podem se estender por mais de quatro meses. Outra característica importante do DF é o fato de ser um divisor de águas, formador de rios de cabeceira e, por consequência disso, ter a disponibilidade hídrica *per capita* anual classificada como crítica ($<1.500 \text{ m}^3/\text{habitante/ano}$) e sendo a terceira Unidade da Federação com menor disponibilidade hídrica superficial *per capita* por ano ($1.365 \text{ m}^3/\text{habitante/ano}$), na frente somente dos estados da Paraíba ($1.336 \text{ m}^3/\text{habitante/ano}$) e Pernambuco ($1.187 \text{ m}^3/\text{habitante/ano}$), como reportado pela CODEPLAN (2022).

Além disso, tem experimentado consistentemente os maiores índices de crescimento demográfico do país, segundo o IBGE (2022) a população atual é de 2.817.068 habitantes, reflexo de um crescimento médio de 22.349 habitantes por ano, representando uma taxa de cerca de 10% em 12 anos.

Lima *et al.* (2018) relata que a crise de insegurança hídrica ocorrida no Distrito Federal durante o recente triênio 2016 a 2018 decorreu desse intenso crescimento populacional, ainda destaca que, a taxa de crescimento anual, no Distrito Federal, entre os anos de 2010 a 2017 foi de 18,2%, ou seja, neste período, a população do DF aumentou em 470.000 habitantes, em média 67.000 indivíduos por ano.

A intensa urbanização do território e o adensamento populacional colocam cada vez mais pressão sobre os reservatórios responsáveis por suprir a população durante o ano, especialmente no período seco. Muito embora o DF venha investindo no crescimento de sua capacidade de oferta de água, faz-se necessária também a disseminação de soluções que incrementem sua eficiência e resiliência hídrica.

Com a necessidade de aumentar a disponibilidade hídrica no DF e entorno, um exemplo atual foi a entrada em operação do Sistema Produtor Corumbá, onde ao transpor a bacia hidrográfica do estado vizinho goiano, incorporou-se um aumento de oferta equivalente a uma população de 1,3 milhão de habitantes em abastecimento de água (CAESB, 23).

O objetivo principal desta consultoria é a elaboração de estudos sobre a viabilidade da utilização de água de reúso para fim agrícola. Cumprindo a Ação Regulatória nº 07 - Reúso de Água para Atividade Agrícola e Irrigação no Distrito Federal, prevista na Agenda Regulatória da Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento Básico do DF (ADASA), para o biênio de 2021- 2022.



Contextualização

Por se tratar de um assunto complexo e com potencial para ocasionar danos à saúde humana e ao meio ambiente, antes da utilização direta do reúso de água provenientes dos efluentes tratados pelas ETEs (Estações de Tratamento de Esgotos), faz-se necessário o estudo da qualidade dos efluentes tratados para uso imediato, bem como a avaliação da necessidade de melhoria no tratamento de sorte a viabilizar o reúso de água agrícola. Essa avaliação inclui a verificação do potencial de aplicação da água de reúso na agricultura no DF deve ser avaliado perante as possíveis e necessárias melhorias técnicas e econômicas nas unidades de tratamento e é crucial a ponderação se os benefícios da prática do reúso agrícola justificará os investimentos e custos operacionais a serem feitos

Por outro lado, é de conhecimento que a concessionária dos serviços de saneamento público do DF possui plano de expansão e projetos de melhoria das estações de tratamento de esgoto, que poderiam ser avaliados sobre sua adequação para atendimento do setor agrícola e, ainda, sobre os possíveis impactos positivos sobre as classes de enquadramento dos corpos hídricos do DF.

O estudo sobre a viabilidade de utilização de água de reúso para fins agrícolas pode trazer muitos benefícios para a gestão das águas do Distrito Federal. Por se tratar de uma região de cabeceiras, as vazões presentes nos corpos hídricos dessa unidade da federação nem sempre são suficientes para a diluição e depuração dos efluentes produzidos pelas estações de tratamento de esgoto (ETEs), o que compromete a qualidade e a classe de enquadramento almejada para as águas de alguns corpos hídricos (Pinto Filho e Brandão, 2001; Brites *et al.*, 2019).

A utilização de água de reúso pelo setor agrícola, além de diminuir o lançamento de efluentes nos corpos hídricos, com impacto positivo direto na qualidade das águas, contribui também para a redução da demanda de água para a agricultura. De acordo com o Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a agricultura mundial consome 70% do montante de toda a água consumida no planeta. No Brasil este número sobe para 72% e cresce à medida que o país é menos desenvolvido (EOS Consultores, 2023).

O presente Resumo Executivo visa apresentar os principais pontos contemplados no documento intitulado **Estudos sobre a Viabilidade da Utilização de Água de Reúso para atendimento do Setor Agrícola do Distrito Federal**.

Materiais e Métodos



Os materiais empregados para elaboração do presente diagnóstico foram arquivos digitais fornecidos e compartilhados pela ADASA e também, adquirido diretamente da rede mundial de computadores (*Internet*), como foi o caso dos *shapefiles* do sítio do Sistema Distrital de Informações Ambientais (SISDIA).

Da ADASA foram compartilhadas duas (2) planilhas eletrônicas do Microsoft Excel® contendo os bancos de dados de qualidade da água do afluente e do efluente e os dados diários de vazão tratada das dezesseis (16) ETES operadas pela concessionária de saneamento do DF (CAESB), no período de 2017 a 2022, portanto seis anos consecutivos.

O banco de dados da qualidade de água do afluente e do efluente das dezesseis ETES operadas pela CAESB apresentam os resultados das variáveis da qualidade da água, de forma horizontal e o acesso é selecionado através de ETES (16), pontos de coleta (afluente e efluente), anos (2017 a 2022), data de coleta (2017 a 2022) e variáveis (DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO – Demanda Química de Oxigênio, Pt – Fósforo Total, SST – Sólidos Suspensos Totais, DBO_f – Demanda Bioquímica de Oxigênio Filtrada – < 0,43µm, *E. Coli* – *Escherichia coli*, N-NH₃ – Nitrogênio Amoniacal e NT – Nitrogênio Total).

A ADASA também disponibilizou um diretório de Sistema de Informação Geográfica (SIG) em formato Shapefile (.shp), que contém todas as informações georreferenciadas dos Registros e Outorgas de Irrigação concedidas agência. Fornecendo também um arquivo em Excel com todos os pontos de captação de caminhões-pipa outorgados no Distrito Federal. Sendo necessário baixar um arquivo SIG com as localizações das ETES operadas pela CAESB, obtido do Sistema Distrital de Informações Ambientais (SISDIA, 2023).

A Emater-DF contribuiu com uma tabela em formato CSV, que detalha o tipo de cultura produzida (hortaliças ou frutíferas), a área em hectares utilizada na produção e a produtividade anual de cada propriedade rural cadastrada para as Unidades Hidrográficas (UHs) consideradas no estudo.





Materiais e Métodos

Avaliação das ETEs (Quantidade e Qualidade)

A série temporal da vazão média tratada (Quantidade), para cada ETE e no decorrer dos seis (6) anos, foi comparada com o valor médio do projeto e também com o coeficiente de máxima vazão diária (k_1), onde indica como 1,20 o multiplicador para a vazão média diária, na norma sobre o projeto de redes de esgoto estabelecido pela ABNT (1986), como a vazão máxima diária.

Referente à análise da qualidade da água do afluente às ETEs operadas pela CAESB, as séries temporais de cada variável analisada nas amostras (DBO, DQO, *E. Coli*, N-NH₃, NT, Pt e SST) foram comparadas com o estabelecido pela configuração definida para a qualidade da água dos despejos, no Decreto nº 18.328/97 do GDF (1997), que estabelece o perfil de qualquer fonte poluidora a ser lançada no sistema coletor público de esgotos.

A qualidade da água do efluente das ETEs operadas pela CAESB foi avaliada por meio do Coeficiente de Confiabilidade (CDC) dos diversos processos de tratamento de esgoto e com suas respectivas variações ocorridas no comportamento destes mesmos processos. O método foi desenvolvido por Niku *et al.* (1979; 1981), mundialmente utilizado para definir concentrações de lançamento em corpos d'água e baseia-se em análises probabilísticas, que relacionam a concentração média de uma determinada variável (valor de projeto) com os valores limites (valor meta ou padrão).

Avaliação das ETEs (Quantidade e Qualidade)

Para a produção dos Planos de Informações Georreferenciadas (PIGeos) foram adquiridos dados de diversas fontes públicas ambientais. Do SISDIA foram baixados os seguintes *shapefiles*: (i) Limite do Distrito Federal – SEMA/DF, (ii) Corpo de Água (rios, lagos e reservatórios) – SEMA/DF, (iii) Unidades Hidrográficas – SEMA/DF e (iv) Estações de Tratamento de Esgotos – CAESB. Da ADASA, foram fornecidos os seguintes *shapefiles*: (i) Vazões, Outorgas e Registros e (ii) Situação das Áreas Irrigadas do DF. Da EMATER-DF, foi fornecida uma tabela em formato CSV, que detalha o tipo de cultura produzida, a área em hectares e a produtividade anual de cada propriedade rural cadastrada no sistema da empresa. Da EMBRAPA (2023) foi possível baixar as altimetrias, com resolução de 5m, e imagens de Satélite com as Articulações do estado de Goiás e do Distrito Federal, compatível com a escala 1:250.000, que englobam toda a área do DF.

Para a elaboração de cada um dos Planos de Informações Georreferenciadas (PIGeos), foi necessário processar os dados no programa ArcG/IS, organizando-os para alcançar os objetivos específicos pretendidos.

Projetos de Melhorias e seus Custos das ETEs

Para escolher a rota tecnológica de tratamento e das melhorias das ETEs, foi aplicado a “chave” proposta por Gonçalves (2023), adaptada de METCALF & EDDY (2007) e METCALF & EDDY (2016), que utiliza diversos processos e operações unitárias de forma sequencial por meio de diagramas de blocos.

Os custos de referência adotados neste estudo foram os anunciados na Consulta Pública da CAESB em 2023 que dialogou sobre novas obras a serem financiadas pelo BID e também na resposta da correspondência eletrônica (SEI, 2023). A CAESB manifestou para o tratamento de uma vazão média de esgotos de 2.550 l/s e como estimativa o valor de R\$ 61.000.000, como custo de implantação (CAPEX) para a Flotação por Ar Dissolvido (FAD), o que acarreta como custo unitário de tratamento o valor de R\$ 23.922/ l/s.

Para o custo de implantação (CAPEX) do Sistema Ultravioleta (UV), foi concedido por uma das empresas fornecedoras deste processo a Proposta de Sistema de Desinfecção por radiação UV (ATLANTIUM TECHNOLOGIES LTD., 2022), como sendo R\$ 6.855.500 para uma vazão média 4.600 l/s, ocasionando como custo unitário o valor de R\$ 1.490/ l/s. O fator de escala para vazões menores (≤ 50 l/s) implica em um custo unitário de R\$ 10.000/ l/s. Com esses valores unitários (CAPEX) para a FAD e o sistema UV, foram estimados os valores a serem investidos para instituir os possíveis projetos elencados, ou seja, para as ETEs escolhidas neste estudo de reúso de água em irrigação (agrícola e paisagística). Como já estabelecido, descreveu-se os processos existentes, as melhorias necessárias e o custo estimado para as cinco unidades de tratamento operadas pela CAESB: (i) ETEb Norte e Sul; (ii) ETE Brazlândia, (iii) ETE Sobradinho, (iv) ETE Gama e (v) ETE Melchior/Samambaia.

Soluções e Investimentos do Sistema de Abastecimento de Água de Reúso

Para determinar as soluções e investimentos necessários para que a água de reúso chegue até os potenciais usuários do setor agrícola identificados (distribuição, armazenamento e utilização) nas UHs: Lago Paranoá, Alto Rio Descoberto, Rio Ponte Alta, Ribeirão Sobradinho e Rio Melchior, foi necessário criar um PIGeo, no software ArcGIS, para cada ETE selecionada e gerar um perfil de elevação, no Google Earth Pro, de cada traçado de SAAR específico.

Os cálculos estimados foram realizados conforme a base orçamentária da CAESB e do SINAP (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) da Caixa Econômica Federal, sendo elaborados por Nery (2024), para cada SAAR das ETEs Selecionadas.

Identificação de Impactos na Tarifa de Água e Esgoto

Para averiguar o impacto na tarifa, foi utilizado o Modelo de Cálculo da 4ª Revisão Tarifária Periódica da CAESB, versão pré audiência pública, disponível para baixar por meio da planilha do Microsoft Excel (planilha RTP), que contém o compilado de todas as fórmulas dos 13 módulos do MRT, com 35 abas na planilha (ADASA, 2024).

O método levou em conta o valor percentual de OPEX da CAESB, cerca de 28% do valor do CAPEX. Por fim, a repercussão sobre a tarifa atual da CAESB (4ª RTP) foi calculada por meio de uma função dos valores, variando os custos totais de implantação (OPEX), de oito milhões até um bilhão de reais, levando em consideração os valores de WAAC (7,56%), PIS/CONFIS (3,65%), Tarifa Média RTA de 2024 (6,71) e Mercado (R\$ 312.845.356), conforme o Modelo de Cálculo da 4ª Revisão Tarifária orientado por Oliveira (2024).



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL
Av. Sibipiruna - Lts. 13/21 - Águas Claras-DF - CEP 71928-720
INSCRIÇÃO NO CF/DF: 07.324.667/001-67
CNPJ: 06.082.024/0001-37

CONDOMÍNIO
SQS 415 BL A
BRASILIA 07/02/11 12:29:13
0520 1410 05 0298010 1 F MXB8F180045

MÊS/ANO: 12/2012
VENCIMENTO:
INSCRIÇÃO: 7895 - 6

NÚMERO	HIDRÔMETRO	DATA INSTALAÇÃO	CATEGORIA	MOVEL	UNIDADE DE CONSUMO	DATA PRÓXIMA LEITURA
007X003433	13/10/2009	RESIDENCIAL	37			10/01/2013
DATA	LEITURA ANTERIOR	LEITURA	DATA	LEITURA ATUAL	LEITURA	MEDIDO
CONSUMO FATURADO EM						CONSUMO FATURADO
COMUNICADO No. 6						
FAIXAS DE CONSUMO (M3)	VOL. POR UNID. CONS. (M3)	NÚMERO DE UNID. CONSUMO	VOLUME TOTAL (M3)			
REDUÇÃO NO CONSUMO DE BR(A). CONDOMÍNIO						

1234567890

MC M+ M- +/- CE/C

7 8 9 % →

4 5 6

1 2 3

0 00 .

Stack of coins



Marco Peixoto | CAESB

ETE PARANOÁ

Resultados

Marco Peixoto | CAESB



ETE MELCHIOR

Avaliação das ETEs

Quantidade

Os dados de projeto e as estatísticas (médias aritméticas e percentis 75%) das séries temporais das vazões médias diárias tratadas de todas ETEs operadas pela CAESB e analisadas no período de 01/01/2017 a 31/03/2023 são apresentados na Tabela 1, indicando os resultados apurados das ETEs: Alagado, Brazlândia, Gama, Melchior, Paranoá, Planaltina, Recanto das Emas, Riacho Fundo, Samambaia, Santa Maria, Sobradinho, Vale do Amanhecer, Brasília Norte e Brasília Sul, onde o terceiro percentil (75%) da série temporal analisada de cada ETE é representado pelo parâmetro $Q_{75\%}$.

As ETEs analisadas demonstram capacidade hidráulica superior às vazões de projeto (CAESB, 2014), com a maioria operando abaixo de 50% da capacidade projetada entre 2017 e 2023. Exceções como as ETEs Paranoá e Samambaia superam os valores de projeto, com a ETE Samambaia ultrapassando o dobro da vazão média diária projetada, indicados na Tabela 1.

Qualidade

As percentagens em que os limites estabelecidos pelo Decreto nº 18.328/97 do GDF (1997) foram excedidos para as variáveis concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (ADBO), Demanda Química de Oxigênio (ADQO), Nitrogênio Amoniacal (NH_3), Nitrogênio Total (ANT), Fósforo Total (APT) e Sólidos Suspensos Totais (ASST) dos afluentes às ETEs no período de 2017 a 2022, resumidos na Tabela 2.

Nota-se que, todos os esgotos afluentes as unidades de tratamento do DF já possuem características mais concentradas do que as indicadas na atual legislação vigente (GDF, 1997).

As variáveis que mais extrapolam o perfil de qualidade da água estabelecido pelo GDF (1997) para os afluentes das unidades operacionais do DF são: Nitrogênio Amoniacal (NH_3), Demanda Química de Oxigênio (ADQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (ADBO), em ordem do maior percentual médio excedido para o menor, das ETEs analisadas. A variável que caracteriza o afluente com reduzida característica de concentrado em relação ao indicado pelo GDF (1997) é a de Sólidos Suspensos Totais (ASST), o que demonstra que a maior concentração atual dos afluentes às ETEs é oriunda de substâncias dissolvidas. As ETEs que possuem em seus afluentes perfis mais concentrados em todas as concentrações das variáveis analisados, comparadas com o corrente decreto do GDF (1997) são: Paranoá, Santa Maria, Planaltina e Vale do Amanhecer, em ordem decrescente dos percentuais médios excedido.

As concentrações Metas ou Padrões para as variáveis dos efluentes das ETEs, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 1 - Vazões de projeto, média atual e percentil 75% das séries temporais das vazões diárias tratadas e analisadas no período de 01/01/2017 a 31/03/2023 das ETEs Alagado, Brazlândia, Gama, Melchior, Paranoá, Planaltina, Recanto das Emas e Riacho Fundo operadas pela CAESB.

ETEs	Vazão (l/s)	
Alagado	Projeto	154
	Média Atual	69
	Q _{75%}	75
Brazlândia	Projeto	87
	Média Atual	42
	Q _{75%}	44
Gama	Projeto	328
	Média Atual	167
	Q _{75%}	184
Melchior	Projeto	1469
	Média Atual	881
	Q _{75%}	1014
Paranoá	Projeto	112
	Média Atual	104
	Q _{75%}	113
Planaltina	Projeto	255
	Média Atual	153
	Q _{75%}	161
Recanto das Emas	Projeto	246
	Média Atual	162
	Q _{75%}	187
Riacho Fundo	Projeto	94
	Média Atual	66
	Q _{75%}	72
Samambaia	Projeto	284
	Média Atual	463
	Q _{75%}	611
Santa Maria	Projeto	154
	Média Atual	66
	Q _{75%}	75
São Sebastião	Projeto	226
	Média Atual	160
	Q _{75%}	179
Sobradinho	Projeto	196
	Média Atual	96
	Q _{75%}	112
Vale do Amanhecer	Projeto	35
	Média Atual	13
	Q _{75%}	17
Brasília Norte	Projeto	950
	Média Atual	506
	Q _{75%}	736
Brasília Sul	Projeto	1500
	Média Atual	1200
	Q _{75%}	1305

Tabela 2 - Percentagens ultrapassadas para as variáveis concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (ADBO), Demanda Química de Oxigênio (ADQO), Nitrogênio Amoniacal (ANH3), Nitrogênio Total (ANT), Fósforo Total (APT) e Sólidos Suspensos Totais (ASST) dos afluentes às ETEs analisadas no período de 2017 a 2022, mediante comparação ao Decreto nº 18.328/97 do GDF (1997).

ETEs	ADBO	ADQO	ANH3	ANT	APT	ASST
Alagado	61%	80%	86%	52%	48%	13%
Brazlândia	77%	23%	81%	46%	34%	21%
Gama	25%	18%	39%	1%	8%	-
Melchior	21%	18%	12%	1%	-	-
Paranoá	70%	87%	90%	74%	59%	12%
Planaltina	75%	92%	96%	30%	41%	21%
Recanto das Emas	58%	75%	85%	67%	34%	4%
Riacho Fundo	37%	47%	62%	7%	4%	-
Samambaia	48%	45%	52%	-	5%	9%
Santa Maria	73%	88%	92%	65%	57%	10%
São Sebastião	43%	67%	50%	30%	38%	39%
Sobradinho	28%	48%	54%	30%	14%	20%
Vale do Amanhecer	58%	74%	71%	83%	35%	34%
Brasília Norte	7%	13%	47%	-	-	-
Brasília Sul	8%	12%	42%	1%	4%	-

Tabela 3 - Valores das Concentrações Metas ou Padrões para as variáveis Demanda Bioquímica de Oxigênio (EDBO), Demanda Bioquímica de Oxigênio Filtrada (EDBOf), Demanda Química de Oxigênio (EDQO), Nitrogênio Amoniacal (ENH3), Nitrogênio Total (ENT), Fósforo Total (EPT) e Sólidos Suspensos Totais (ESST) e *Escherichia coli* (EECol) dos efluentes das ETEs analisadas no período de 2017 a 2022, segundo o método proposto por Niku *et al.* (1979, 1981).

ETEs	EDBO	EDBOf	EDQO	ENH3	ENT	EPT	ESST	EECol
Alagado	20	20	99	69,1	74,0	1,08	44	5,15
Brazlândia	91	56	419	58,8	77,2	11,33	233	6,07
Gama	11	-	57	19,5	44,2	2,27	23	5,64
Melchior	80	-	254	66,5	48,7	7,54	173	7,04
Paranoá	144	67	550	87,4	75,0	11,08	279	7,07
Planaltina	108	40	315	81,1	77,5	10,27	153	6,23
Recanto das Emas	47	49	192	89,8	92,0	4,55	89	6,81
Riacho Fundo	31	-	105	58,0	74,7	1,18	95	7,07
Samambaia	39	34	196	63,8	60,8	4,54	144	5,79
Santa Maria	-	30	191	74,6	-	2,70	68	5,35
São Sebastião	37	21	154	60,6	61,6	7,13	75	5,64
Sobradinho	113	-	267	65,1	70,9	8,91	106	7,42
Vale do Amanhecer	49	20	168	67,9	75,8	9,60	68	5,71
Brasília Norte	15	-	52	19,6	12,0	1,02	15	5,76
Brasília Sul	18	-	88	20,0	10,7	0,91	26	5,75

Na Tabela 3 está expresso as Concentrações Metas ou Padrões para as variáveis Demanda Bioquímica de Oxigênio (EDBO), Demanda Bioquímica de Oxigênio Filtrada (EDBO_f), Demanda Química de Oxigênio (EDQO), Nitrogênio Amoniacal (ENH₃), Nitrogênio Total (ENT), Fósforo Total (EPT) e Sólidos Suspensos Totais (ESST) e *Escherichia coli* (EECol) dos efluentes das ETEs analisadas no período de 2017 a 2022, segundo o método proposto por Niku *et al.* (1979, 1981).

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) operadas pela CAESB, por não possuírem processos de desinfecção, apresentam concentrações de *Escherichia coli* em seus efluentes que variam de $1,41 \times 10^5$ a $2,63 \times 10^7$ NMP/100 mL (5,15 a 7,42 unidades logarítmicas). Para atender aos padrões de reúso, é crucial a implementação de uma etapa de desinfecção e de infraestrutura adequada.

Apesar disso, as ETEs Brasília Norte, Brasília Sul e Gama já atendem aos critérios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST), requisitos para o reúso agrícola.

Em relação ao reúso para fertirrigação, a Tabela 4 revela a disponibilidade diária de 1 a 122 kg de Fósforo e de 83 kg a 8 toneladas de Nitrogênio nos efluentes das ETEs do DF, demonstrando o potencial de aproveitamento dos nutrientes presentes nos esgotos tratados.

Tabela 4 - Valores das Cargas (kg/d) de Fósforo Total e Nitrogênio Total dos efluentes das ETEs analisadas no período de 2017 a 2022, calculadas pelas médias e percentis – 75% das séries de vazões (l/s) médias diárias tratadas (01/01/2017 a 31/03/2023) e a Concentração Meta ou Padrão.

Concentração de Fósforo Total e Nitrogênio Total em mg/l.

ETEs	Vazões		Fósforo Total		Nitrogênio Total	
	Q _{Média}	Q _{75%}	Média	75%	Média	75%
Alagado	69	75	6	7	441	480
Brazlândia	42	44	4	4	269	281
Gama	167	184	16	17	1068	1176
Melchior	881	1014	82	95	5633	6483
Paranoá	104	113	10	11	665	722
Planaltina	153	161	14	15	978	1029
Recanto das Emas	162	187	15	17	1036	1196
Riacho Fundo	66	72	6	7	422	460
Samambaia	463	611	43	57	2960	3906
Santa Maria	66	75	6	7	422	480
São Sebastião	160	179	15	17	1023	1144
Sobradinho	96	112	9	10	614	716
Vale do Amanhecer	13	17	1	2	83	109
Brasília Norte	506	736	47	69	3235	4706
Brasília Sul	1200	1305	112	122	7672	8344



ETE_b NORTE

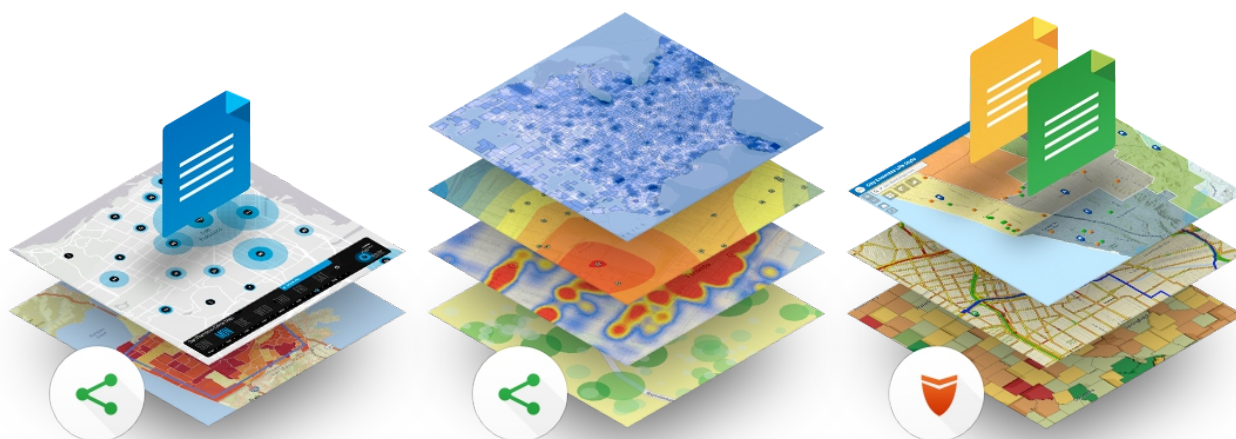
Potencial de Uso no DF

A análise integrada dos diversos dados adquiridos das bases de dados ambientais permitiu identificar áreas propícias ao reúso de água de forma eficiente e sustentável, considerando fatores como vazão outorgada para irrigação, infraestrutura de ETEs e distâncias entre produção de água de reúso e potenciais usuários.

Ao combinar dados ambientais georreferenciados e análises espaciais, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) viabilizou a tomada de decisões estratégicas para otimizar a identificação de potenciais usuários no setor agrícola e possíveis áreas para projetos piloto de reúso de água, contribuindo para um futuro mais resiliente e sustentável na agricultura do Distrito Federal.

A Figura 1 apresenta uma visão detalhada das Vazões Outorgadas para Irrigação em Unidades Hidrográficas que possuem Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Além dos limites do Distrito Federal e dos corpos hídricos presentes nesta unidade federativa, são destacados nos Planos de Informações Georreferenciadas (PIGeos) as Unidades Hidrográficas que contêm ao menos uma ETE. Essas unidades são classificadas por cores que variam do azul escuro (UH 32 e UH 38), indicando a menor vazão outorgada para irrigação, até o vermelho (UH 9), que representa a maior vazão outorgada.

As vazões outorgadas variam de 25,00 a 46,00 l/s na UH Rio Alagado até 871,00 a 962,00 l/s na UH Alto Rio Descoberto. As outorgas superficiais são representadas por círculos verdes, enquanto as outorgas subterrâneas são representadas por círculos brancos. Cada ETE foi classificada de acordo com sua vazão média de operação diária (Qm), resultando em uma simbologia de um círculo azul com um ponto preto no centro. O tamanho do símbolo varia conforme a vazão média, sendo pequeno quando a Qm é baixa, como na ETE Brazlândia (Qm = 42 l/s), e maior quando a vazão média é alta, como na ETE Brasília Sul (Qm = 1.207 l/s), ambas operadas pela CAESB.



ETE Planaltina
Qm = 153 L/s

ETE Norte
Qm = 507 L/s

ETE Sobradinho
Qm = 97 L/s

ETE Vale do Amanhecer
Qm = 12 L/s

ETE Paranoá
Qm = 104 L/s

ETE São Sebastião
Qm = 160 L/s

ETE Alagado + ETE Santa Maria
Qm = 69 L/s

ETE Gama
Qm = 167 L/s

ETE Recanto das Emas
Qm = 163 L/s

ETE Riacho Fundo
Qm = 66 L/s

ETE Melchior + ETE Samambaia
Qm = 1346 L/s

ETE Brazlândia
Qm = 42 L/s

UH 4 - Alto Rio São Bartolomeu

UH 11 - Médio Rio São Bartolomeu

UH 30 - Ribeirão Sobradinho

UH 9 - Lago Paranoá

UH 24 - Ribeirão Papuda

UH 13 - Riacho Fundo

UH 36 - Rio Melchior

UH 25 - Rio Ponte Alta

UH 32 - Rio Alagado

UH 39 - Ribeirão Santa Maria

UH 33 - Alto Rio Descoberto

ETE Planaltina
Qm = 153 L/s

ETE Norte
Qm = 507 L/s

ETE Sobradinho
Qm = 97 L/s

ETE Vale do Amanhecer
Qm = 12 L/s

ETE Paranoá
Qm = 104 L/s

ETE São Sebastião
Qm = 160 L/s

ETE Alagado + ETE Santa Maria
Qm = 69 L/s

ETE Gama
Qm = 167 L/s

ETE Recanto das Emas
Qm = 163 L/s

ETE Riacho Fundo
Qm = 66 L/s

ETE Melchior + ETE Samambaia
Qm = 1346 L/s

ETE Brazlândia
Qm = 42 L/s

UH 4 - Alto Rio São Bartolomeu

UH 11 - Médio Rio São Bartolomeu

UH 30 - Ribeirão Sobradinho

UH 9 - Lago Paranoá

UH 24 - Ribeirão Papuda

UH 13 - Riacho Fundo

UH 36 - Rio Melchior

UH 25 - Rio Ponte Alta

UH 32 - Rio Alagado

UH 39 - Ribeirão Santa Maria

UH 33 - Alto Rio Descoberto

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum horizontal: Sirgas 2000
Organizado por: Mauro Felizatto
e Rodrigo Werneck (2023)

0 3,5 7 14 21 28 Km

Estação de Tratamento de Esgoto
Corpos D'água

Vazão Outorgada para Irrigação (L/s)

- Unidades Hidrográficas
- Limite do DF
- **Outorga ou Registro para Irrigação**
 - Outorga Superficial
 - Outorga Subterrânea

Age Group	Male	Female
25 - 46	244 - 424	244 - 424
47 - 201	425 - 870	425 - 870
202 - 243	871 - 962	871 - 962

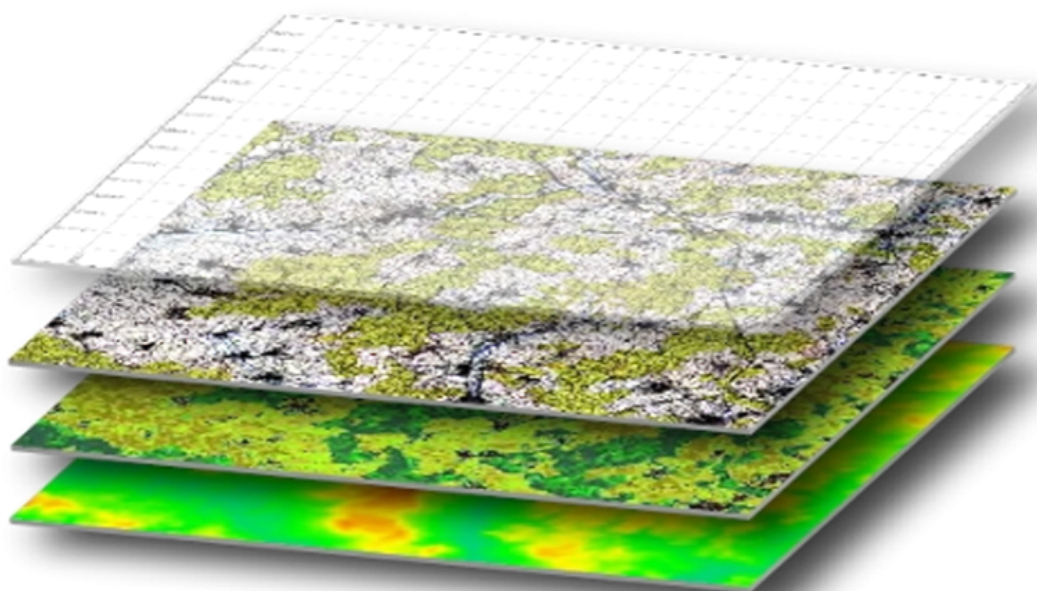
Figura 1 - Plano de Informações Georreferenciadas contendo as Vazões Outorgadas para irrigação em Unidades Hidrográficas com Estação de Tratamento de Esgoto operado pela CAESB.

Potencial de Uso no DF

A distribuição das áreas irrigadas em relação às outorgas e registros foi representada em um Plano de Informações Georreferenciadas (PIGeo). Além das informações georreferenciadas dos limites do Distrito Federal (DF), o PIGeo inclui os corpos hídricos, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) classificadas por tamanho conforme sua vazão média, todas as 41 Unidades Hidrográficas do DF e a situação das áreas irrigadas, conforme sua situação atual – outorgada, em análise e sem outorga.

As áreas em roxo representam as regiões com as outorgas em análise, somando 3.708 hectares (ha) irrigados, o que corresponde a 10% das áreas irrigadas no DF. As áreas em verde representam as regiões atualmente outorgadas no DF, totalizando 24.211 hectares, significando 63% da área irrigada no DF. Já as áreas irrigadas sem outorga, destacadas em vermelho, abrangem 10.188 hectares, equivalendo a 27% do total. Estes valores variam de acordo com novas atualização na base de dados da ADASA, sempre buscando a caracterização mais realista do balanço hídrico das unidades hidrográficas, de modo a favorecer planejamento hídrico da agência reguladora.

A Figura 2, evidencia que as maiores áreas destinadas à irrigação no DF estão na Bacia Hidrográfica do Rio Preto, com numerosos pivôs de irrigação, representados pelas grandes concentrações de círculos verdes e roxos, no extremo leste do Distrito Federal, onde não há ETEs operadas pela CAESB (oferta de água de reúso), o que inviabiliza reúso de água, apesar da elevada demanda de vazão outorgada para irrigação nas seguintes Unidades Hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Preto: Alto Rio Jardim, Baixo Rio Jardim, do Ribeirão Extrema, do Alto Rio Preto, Ribeirão Santa Rita e Ribeirão Jacaré, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Preto; e da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos: Alto Rio Samambaia



PIGeo contendo a Localização das Áreas Irrigadas em relação às Outorgas e Registros

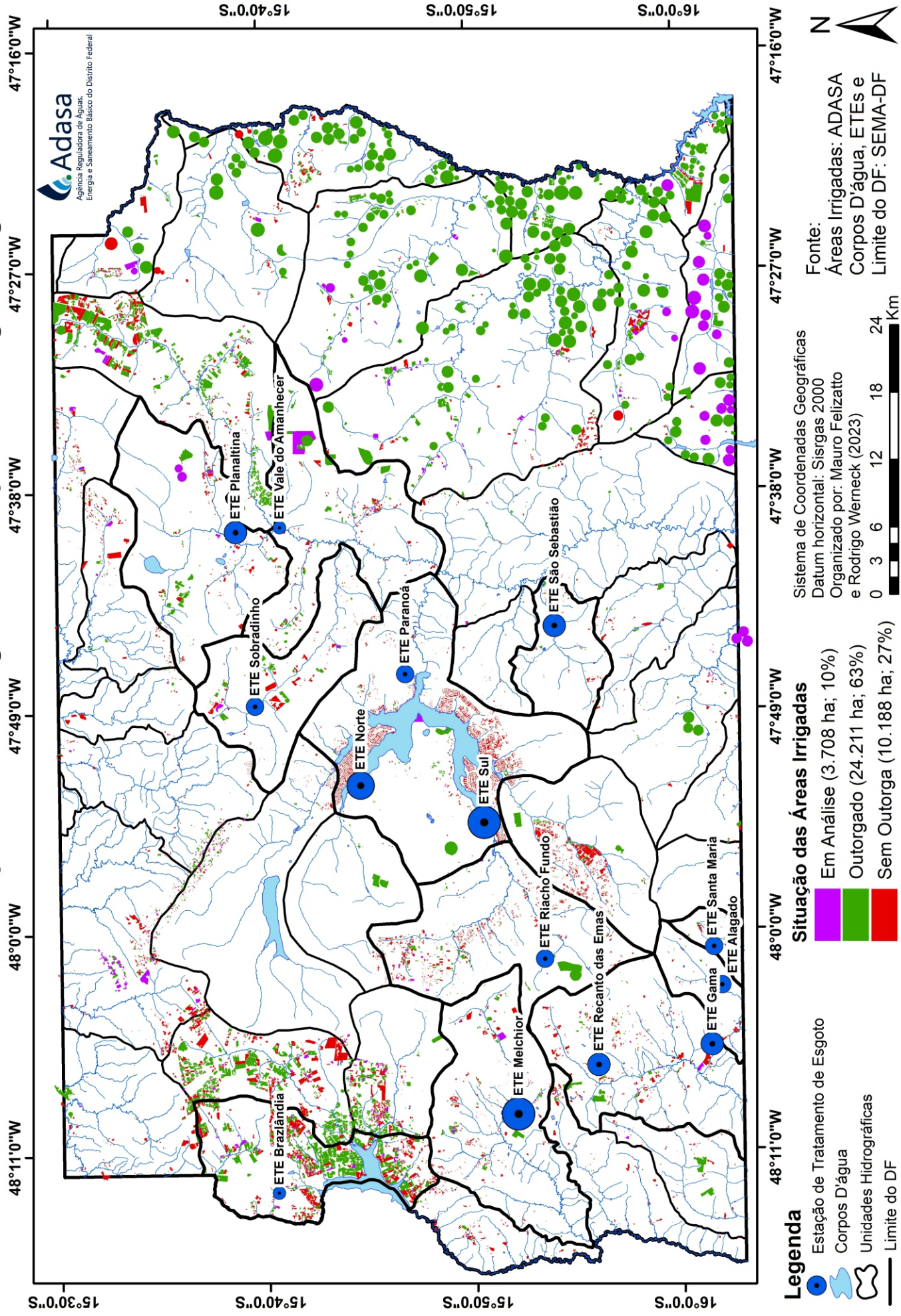


Figura 2 - Plano de Informações Georreferenciadas contendo a Localização das Áreas Irrigadas em relação às Outorgas e Registros de todas Unidades Hidrográficas, incluindo as Estações de Tratamento de Esgoto operadas pela CAESB.

Com o intuito de apresentar informações mais detalhadas para cada unidade hidrográfica, foi confeccionado um PIGeo para cada uma das 5 UHs. Os planos de informações georreferenciadas contém, além das informações base sobre a unidade: imagem de satélite, vazão e localização da ETE, limites do DF, delimitação das unidades hidrográficas, modelo digital de elevação (MDE) e os corpos hídricos. Exibem também as localizações dos pontos de captação de caminhões pipa (Qpipa), que derivam em média 40 l/s, e a localização dos pontos onde as espécies frutíferas são cultivadas, e que estão cadastradas na Emater-DF. Cada cultivo foi classificado por tamanho de acordo com sua produtividade vegetal anual, representado por meio de círculos alvinegros, sendo o círculo maior caso sua produção seja maior em toneladas.

Em cada PIGeo estão expressas as áreas de produção de frutíferas (ha), a produção anual vegetal (ton/ano) e a vazão total outorgada para irrigação de cada UH (l/s). Por meio da área total destinada para cultivar frutas, em hectares, é possível converter área em vazão, através do consumo hídrico médio por hectare (l/s/ha), que no nosso caso, adotaremos um consumo hídrico médio por hectare ideal para irrigação, de (1 l/s/ha). De modo a poder comparar a oferta e a demanda com valores mais próximo à realidade local.

A Figura 3 retrata a localização de onde estão os produtores de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Rio Melchior. Esta unidade é relevante por concentrar uma grande parte da população urbana do DF e pelo fato do Rio Melchior ser um corpo d'água enquadrado na Classe 4, apresentando trechos a jusante da ETE, em que a vazão de efluentes é superior à vazão média do rio. Em relação aos dados apresentados para a UH 36 – Rio Melchior estão:

- Vazão total outorgada para a irrigação ($Q_{\text{irrigação}} = 242,72 \text{ l/s}$);
- Área de produção de Frutíferas ($A = 4,67 \text{ ha}$);
- Produção anual vegetal de frutíferas ($P = 64,36 \text{ ton/ano}$);
- Estimativa de vazão para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{estimada}} = 4,67 \text{ l/s}$).

A Figura 3 também expressa a produção frutífera da unidade, retratada por um círculo alvinegro, que variou da faixa de 0,14 ton/ano – 0,88 ton/ano, até a faixa de 4,75 ton/ano – 9,87 ton/ano. Por meio da imagem de satélite e do modelo digital de elevação da bacia, destaca-se que a maioria dos potenciais usuários estão à montante e à leste da ETE, próximo do Córrego Taguatinga.



PIGeo contendo a produção (ton/ano) de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Rio Melchior

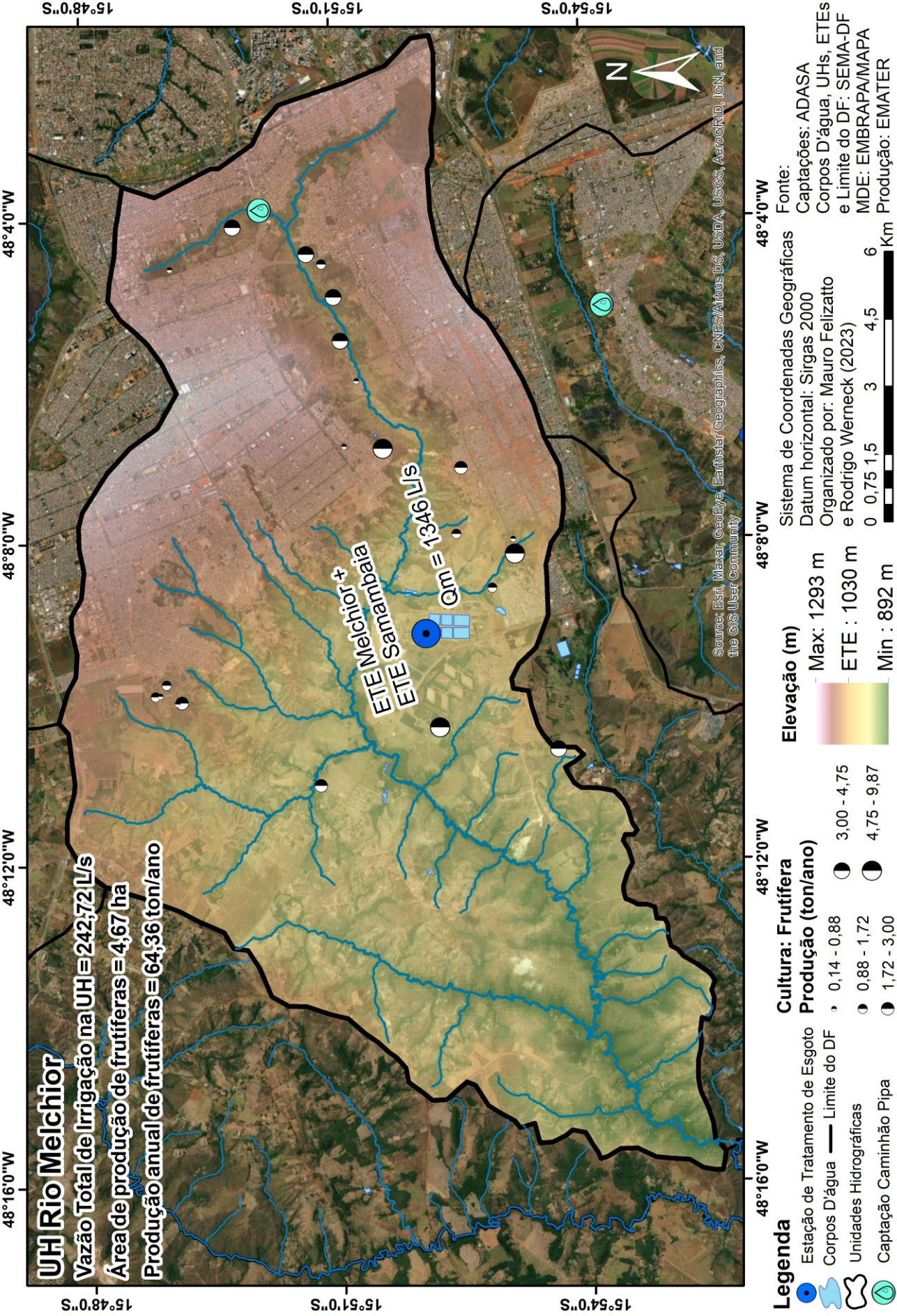


Figura 3 - Plano de Informações Georreferenciadas contendo a produção vegetal anual (ton/ano) de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Rio Melchior.

A Figura 4 retrata a localização da produção de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Ribeirão Sobradinho, que apresenta um corpo hídrico, homônimo da unidade hidrográfica, enquadrado na classe 3, e que apresenta um crescente aumento populacional devido à especulação imobiliária da região, principalmente em áreas de relevante interesse ambiental, como o Taquari, o Colorado e a futura cidade Urbitá, com capacidade de adensamento ainda maior.

Em relação aos dados apresentados para a UH 30 – Ribeirão Sobradinho estão:

- Vazão total outorgada para a irrigação ($Q_{\text{irrigação}} = 213,45 \text{ l/s}$);
- Área de produção de Frutíferas ($A = 26,94 \text{ ha}$);
- Produção anual vegetal de frutíferas ($P = 464,55 \text{ ton/ano}$);
- Estimativa de vazão para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{estimada}} = 26,94 \text{ l/s}$).

A Figura 4 também expressa a produção frutífera da unidade, que variou da faixa de 0,14 ton/ano – 4,86 ton/ano, retratada por um círculo alvinegro bem pequeno, até a faixa de 60,0 ton/ano – 154,3 ton/ano, representado por um grande círculo alvinegro. Por meio da imagem de satélite e do modelo digital de elevação da bacia, destaca-se que a maioria dos potenciais usuários se encontram à jusante e à sudeste da ETE, percorrendo o Ribeirão Sobradinho pela Rota do Cavalo. Porém o potencial usuário de maior demanda se localiza à norte e à montante da estação de tratamento.

Tendo em vista que a unidade hidrográfica apresenta uma oferta de água de reúso ($Q_m = 97 \text{ l/s}$) e uma demanda para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{frutífera}} = 26,94 \text{ l/s}$), incluindo o fato de que os irrigantes estão dispersos pela unidade hidrográfica e alguns à montante da ETE, porém, levando em consideração que alguns irrigantes que estão a jusante já praticam o reúso indireto não intencional. Mediante a informação de que o ponto de captação do caminhão pipa ser próximo à estação, e somada sua demanda ($Q_{\text{pipa}} = 40 \text{ l/s}$) com a demanda por irrigação de frutíferas ($Q_{\text{frutífera}} = 26,94 \text{ l/s}$), que resultaria em uma demanda total de ($Q_{\text{demanda}} = 66,94 \text{ l/s}$). Restando uma vazão de diluição ($Q_{\text{diluição}} = 30,06 \text{ l/s}$) no Ribeirão Sobradinho.

Recomenda-se que a água de reúso seja distribuída via caminhão pipa, para os diversos potenciais usuários com vazões progressivas e escalonáveis até atingir a vazão de demanda da Unidade Hidrográfica do Ribeirão Sobradinho.



PIGeo contendo a produção (ton/ano) de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Ribeirão Sobradinho

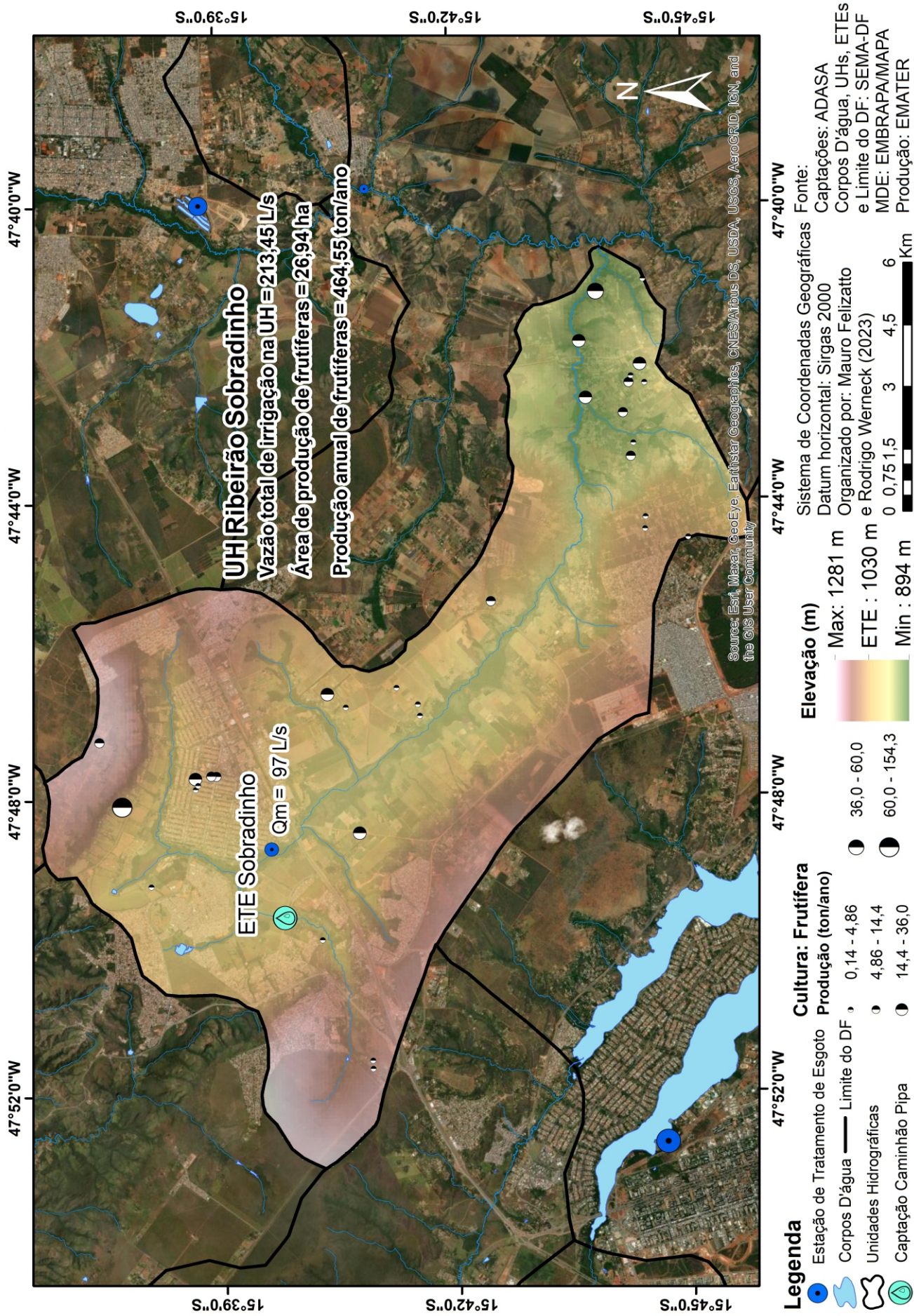


Figura 4 - Plano de Informações Georreferenciadas contendo a produção vegetal anual (ton/ano) de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Ribeirão Sobradinho.

A Figura 5 retrata a localização da produção de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Alto Rio Descoberto, a região com maior número de outorgas para irrigação e a maior demanda para tal finalidade, por ser uma região historicamente destinada para cultivo agrícola, tanto nesta unidade, quantos nas unidades circunvizinhas, do Ribeirão Rodeador e do Ribeirão das Pedras. Dentro da UH Alto Rio Descoberto ainda está situado a área urbana de Brazlândia e do Incra 8 e a ETE Brazlândia, com a menor vazão média diária.

Em relação aos dados apresentados para a UH 33 – Alto Rio Descoberto estão:

- Vazão total outorgada para a irrigação ($Q_{\text{irrigação}} = 961,95 \text{ l/s}$);
- Área de produção de Frutíferas ($A = 224,56 \text{ ha}$);
- Produção anual vegetal de frutíferas ($P = 38.126 \text{ ton/ano}$);
- Estimativa de vazão para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{estimada}} = 224,56 \text{ l/s}$).

A Figura 5 também expressa a produção frutífera da unidade, retratada por um círculo alvinegro, que variou da faixa de 0,20 ton/ano – 108,8 ton/ano, até a faixa de 1.365 ton/ano – 2.826 ton/ano. Por meio da imagem de satélite e do modelo digital de elevação da bacia, destaca-se que existem diversos aglomerados de potenciais usuários à sul, à sudeste e à leste da ETE.

Tendo em vista que a unidade hidrográfica apresenta baixíssima oferta de água de reúso ($Q_m = 42 \text{ l/s}$) e uma, elevada demanda para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{frutífera}} = 224,56 \text{ l/s}$), incluindo o fato de que os irrigantes estão aglomerados em núcleos rurais pela unidade hidrográfica seria de suma importância destinar a totalidade de água ofertada pela ETE para abastecer ao menos um núcleo rural da unidade hidrográfica. Não sendo mais necessário diluir efluentes no Rio Verde ($Q_{\text{diluição}} = 0 \text{ l/s}$). Possibilitando a aplicação do conceito de Efluente Zero na bacia, como ocorrido na Rede SARA de Hospitais de Reabilitação, no Centro Internacional de Neurociências e Reabilitação, na unidade do Lago Norte.

Recomenda-se que a água de reúso seja distribuída para núcleos rurais que concentrem um número suficiente de potenciais usuários, aplicando, logicamente, vazões progressivas e escalonáveis até atingir a vazão total ofertada. Em sequência desta ação, novas outorgas poderiam ser efetivadas no Rio Verde, sem toda essa carga de efluentes.



UH Alto Rio Descoberto
 Vazão Total de Irrigação na UH = 961,95 L/s
 Área de produção de frutíferas = 224,56 ha
 Produção anual de frutíferas = 38,126 ton/ano

ETE Brazilândia
 Qm = 42 L/s

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

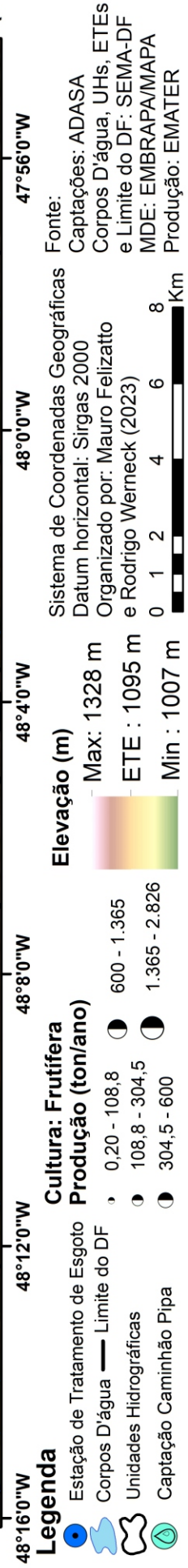


Figura 5 - Plano de Informações Georreferenciadas contendo a produção vegetal anual (ton/ano) de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Alto Rio Descoberto.

A Figura 6 retrata a localização da produção de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Rio Ponte Alta, uma unidade que apresenta em suas partes mais elevadas, as regiões administrativas do Gama, do Recanto das Emas e uma parte da Samambaia. Enquanto que nas zonas de menor elevação, concentra as áreas rurais, próximas ao Rio Ponte Alta, além de possuir duas ETES em seu território, a ETE Gama e a ETE Recanto das Emas.

Em relação aos dados apresentados para a UH 25 – Rio Ponte Alta estão:

- Vazão total outorgada para a irrigação ($Q_{\text{irrigação}} = 348,65 \text{ l/s}$);
- Área de produção de Frutíferas ($A = 84,73 \text{ ha}$);
- Produção anual vegetal de frutíferas ($P = 1.161 \text{ ton/ano}$);
- Estimativa de vazão para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{estimada}} = 84,73 \text{ l/s}$).

A Figura 6 também expressa a produção frutífera da unidade, retratada por um círculo alvinegro, que variou da faixa de 0,05 ton/ano – 5,52 ton/ano, até a faixa de 162,0 ton/ano – 316,0 ton/ano. Por meio da imagem de satélite e do modelo digital de elevação da bacia, destaca-se que a maioria dos potenciais usuários se encontram à jusante e à sudeste da ETE Recanto das Emas, percorrendo o Rio Ponte Alta, com usuário que já realizam o uso indireto e não intencional dos efluentes tratados.

Tendo em vista que a unidade hidrográfica apresenta uma oferta mediana de água de reúso ($Q_m = 330 \text{ l/s}$) e uma, média baixa demanda para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{frutífera}} = 84,73 \text{ l/s}$). Mediante a informação de que existem dois pontos de captação do caminhão pipa na UH, e somada suas demandas individuais ($Q_{\text{pipa}} = 40 \text{ l/s}$) com a demanda por irrigação de frutíferas ($Q_{\text{frutífera}} = 84,73 \text{ l/s}$), se toda vazão do caminhão pipa fosse de reúso, resultaria em uma demanda total de ($Q_{\text{demanda}} = 164,73 \text{ l/s}$). Representando uma economia de quase 50% da vazão efluente despejada na bacia.

Recomenda-se que a água de reúso seja distribuída via caminhão pipa, para os diversos potenciais usuários considerando a aplicação de vazões progressivas e escalonáveis até atingir a vazão de oferta.



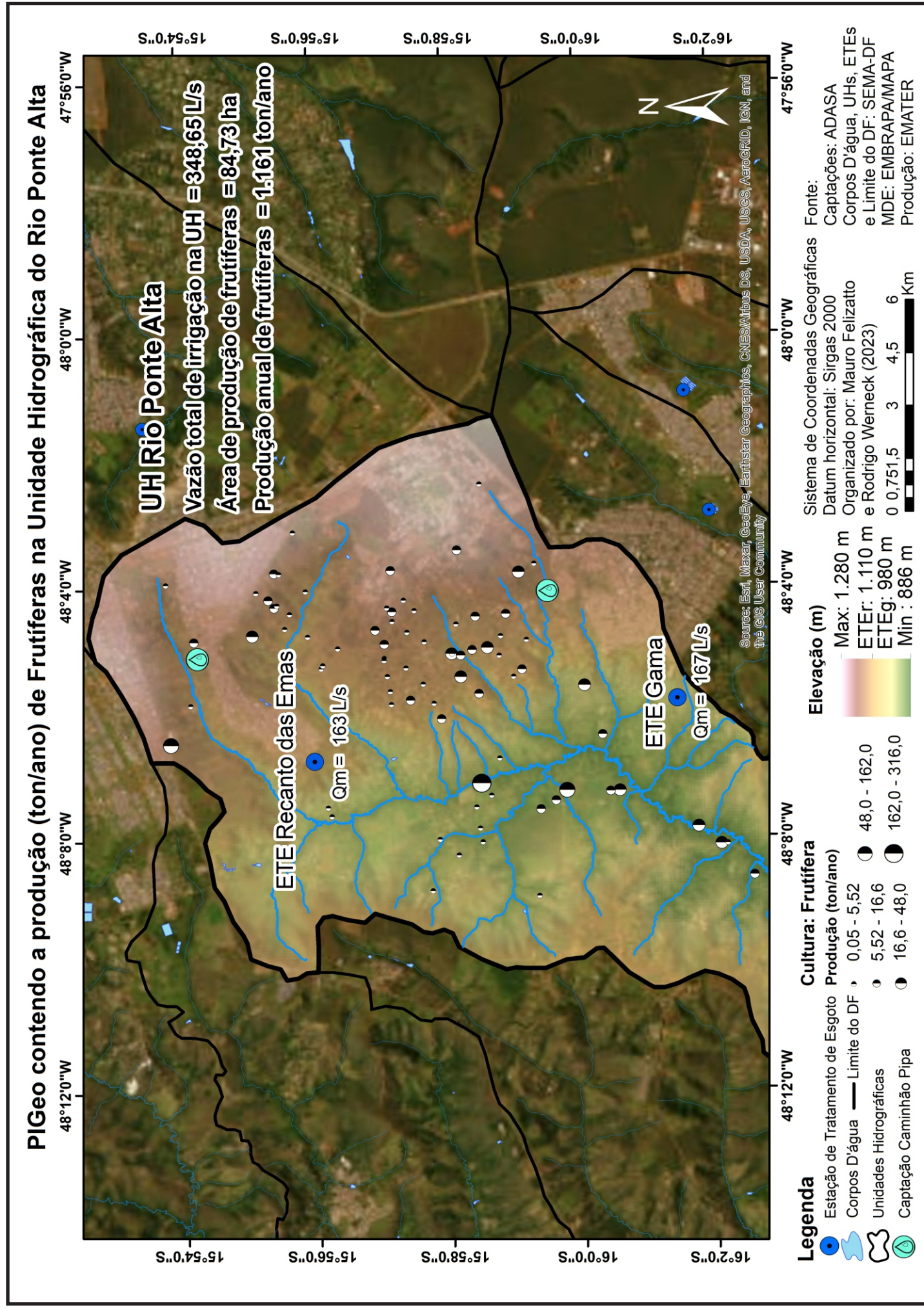


Figura 6 - Plano de Informações Georreferenciadas contendo a produção vegetal anual (ton/ano) de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Rio Ponte Alta.

A Figura 7 retrata a localização da produção de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá, uma unidade que concentra grande parte da população do DF e do entorno do DF (RIDE), durante o dia e se esvazia e resta somente os residentes do plano piloto durante a noite, o que impacta na produção de efluentes domésticos, o que resulta na presença de três (3) ETEs no território da bacia.

Em relação aos dados apresentados para a UH 09 – Lago Paranoá estão:

- Vazão total outorgada para a irrigação ($Q_{\text{irrigação}} = 869,94 \text{ l/s}$);
- Área de produção de Frutíferas ($A = 12,75 \text{ ha}$);
- Produção anual vegetal de frutíferas ($P = 174,97 \text{ ton/ano}$);
- Estimativa de vazão para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{estimada}} = 12,75 \text{ l/s}$).

A Figura 7 também expressa a produção frutífera da unidade, que variou da faixa de 0,075 ton/ano – 0,72 ton/ano, retratada por um círculo alvinegro minúsculo, até a faixa de 16,64 ton/ano – 40,00 ton/ano, representado por um grande círculo alvinegro. Por meio da imagem de satélite e do modelo digital de elevação da bacia, destaca-se que a maioria dos potenciais usuários se encontram à montante e à leste da ETEb Norte, concentrados na Serrinha do Paranoá, local de inúmeras nascentes, próximos ao braço do torto do Lago Paranoá.

Tendo em vista que a unidade hidrográfica apresenta uma oferta de água de reúso ($Q_m = 1.818 \text{ l/s}$) e uma demanda para irrigação de frutíferas ($Q_{\text{frutífera}} = 12,75 \text{ l/s}$). Mesmo somando a demanda para irrigação de frutíferas com a demanda do caminhão pipa ($Q_{\text{pipa}} = 40 \text{ l/s}$) a vazão seria baixa para atingir a oferta. Contudo, a UH caracteriza-se pelo fato de possuir muitos registros para irrigação paisagística de áreas urbanas públicas e lotes particulares, por esta ser a unidade que concentra as regiões administrativas de maior poder aquisitivo de todo o DF: Lago Sul, Lago Norte e Brasília, possibilitando que os proprietários irriguem seus jardins e gramados.

Recomenda-se que a água de reúso seja distribuída via caminhão pipa, para os diversos potenciais usuários, principalmente os que realizam rega paisagística, considerando a aplicação de vazões progressivas e escalonáveis até atingir a vazão de demanda máxima para irrigação.



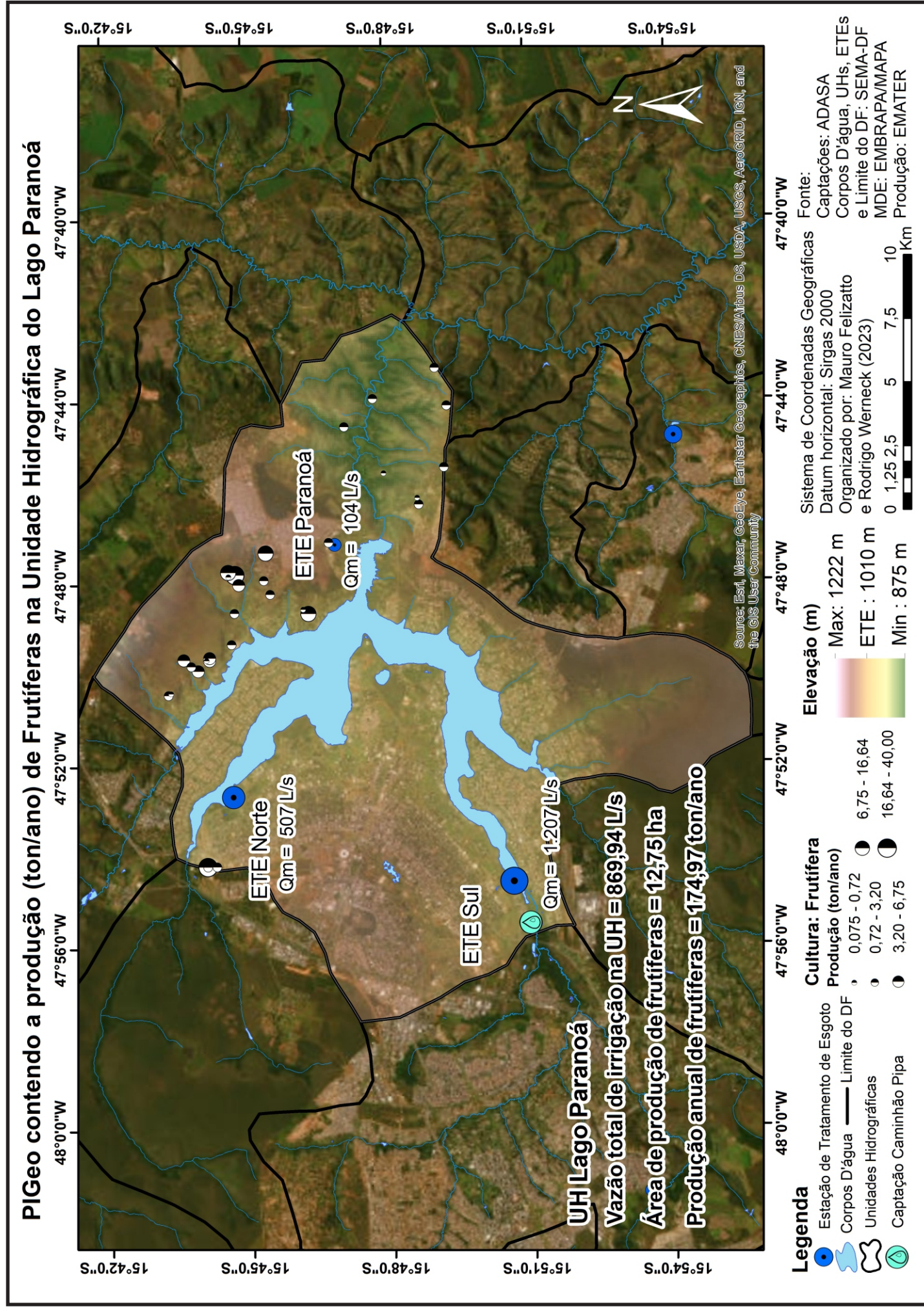


Figura 7 - Plano de Informações Georreferenciadas contendo a produção vegetal anual (ton/ano) de frutíferas na Unidade Hidrográfica do Lago Paranoá.





Na Figura 8 os blocos hachurados em amarelo representam o processo existente e os hachurados em azul as possíveis propostas para adequação das referidas ETEs. A opção por somente acrescentar o Sistema UV a estas ETEs é justificado pelo desempenho apresentado na Tabela 5, somente para a variável EECol.

A Figura 9 apresenta a rota existente e a proposta para a ETE Brazlândia.

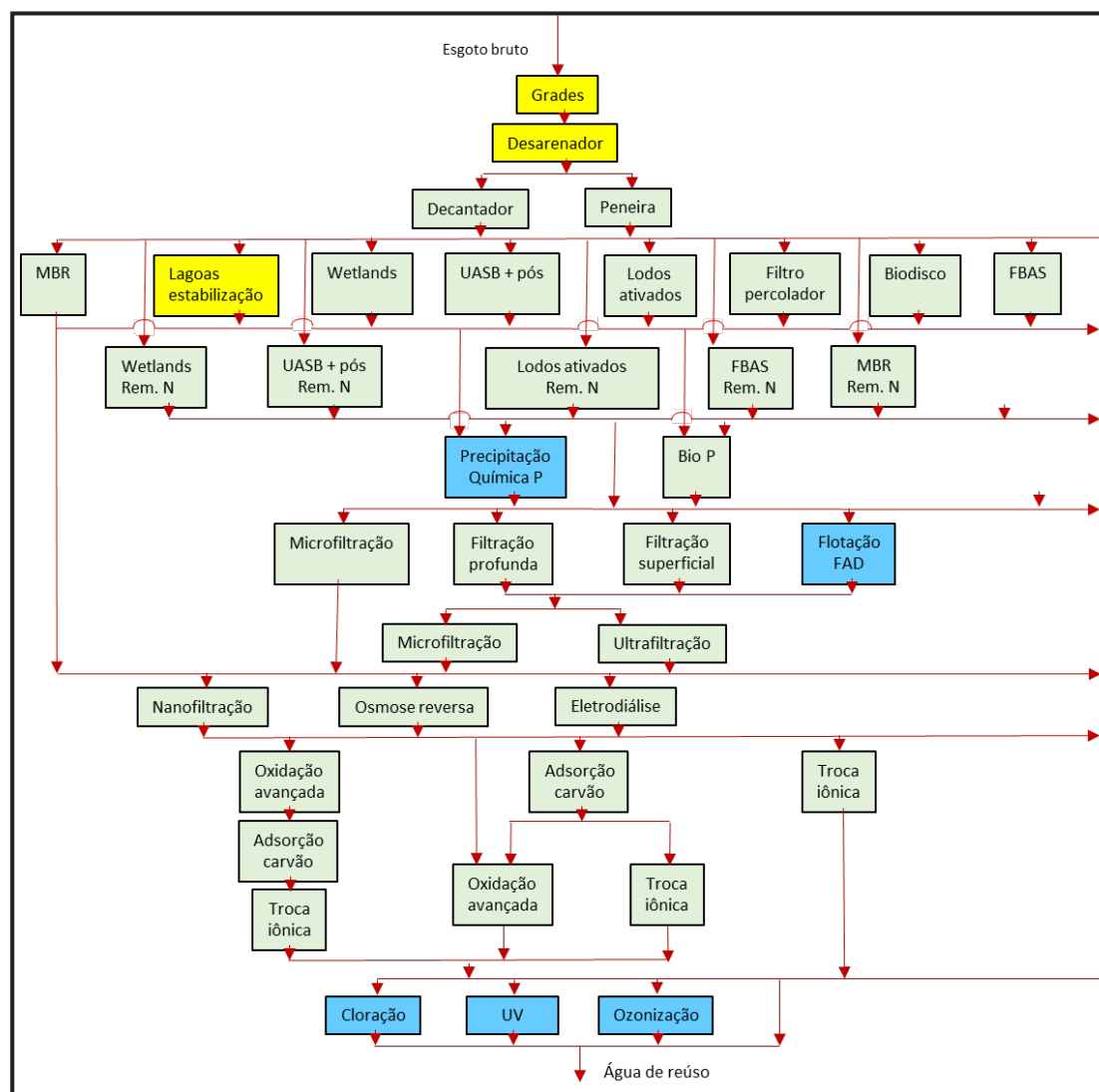


Figura 9 - Diagrama de blocos com a rota de tratamento da ETE Brazlândia e a proposta para produção de água de reúso. Fonte: Adaptado de Gonçalves (2023).

Na Figura 9 os blocos hachurados em amarelo representam o processo existente e os hachurados em azul as propostas de melhorias para a ETE. A opção por acrescentar a precipitação química, FAD e Sistema UV a esta ETE é justificado pelo desempenho apresentado na Tabela 6 para as variáveis EDBO, ESST e EECol.

Tabela 6 - Resultados obtidos na avaliação de longo termo (2017 a 2022) para o efluente da ETE Brazlândia.

EDBO	EDBOf	EDQO	ENH3	ENT	EPT	ESST	EECol
91	56	419	58,8	77,2	11,33	233	6,07

Legenda: Unidades em mg/l, exceto EECol em unids logs

A Figura 10 apresenta a rota existente e a proposta para a ETE Sobradinho.

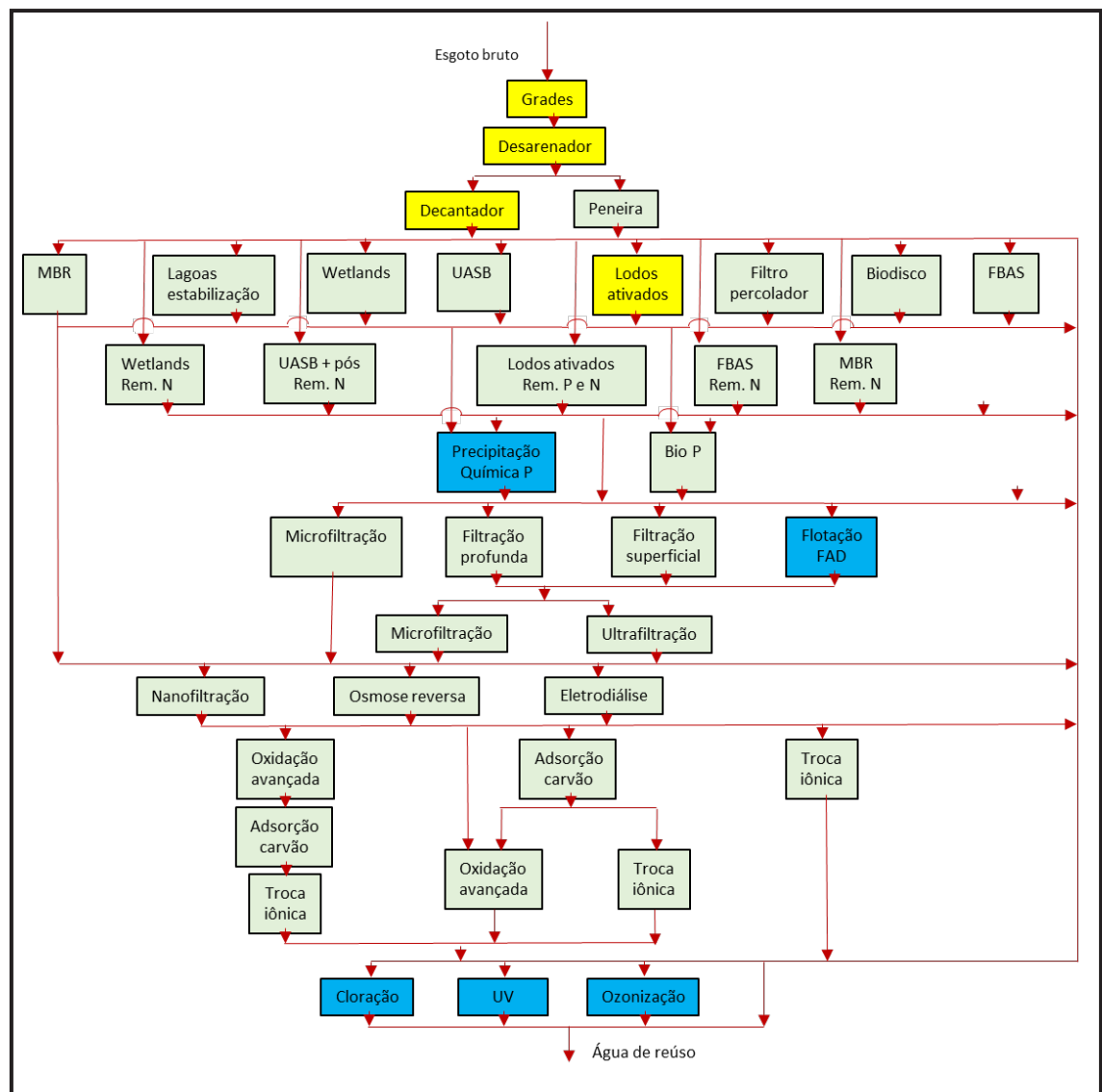


Figura 10 - Diagrama de blocos com a rota de tratamento da ETE Sobradinho e a proposta para produção de água de reúso. Fonte: Adaptado de Gonçalves (2023).

Na Figura 10 os blocos hachurados em amarelo representam o processo existente e os hachurados em azul a proposta para adequação desta ETE. A opção por acrescentar a precipitação química, FAD e Sistema UV a esta ETE é justificado pelo desempenho apresentado na Tabela 7 para as variáveis EDBO, ESST e EEC_{ol}.

Tabela 7 - Resultados obtidos na avaliação de longo termo (2017 a 2022) para o efluente da ETE Sobradinho.

EDBO	EDBO _f	EDQO	ENH ₃	ENT	EPT	ESST	EEC _{ol}
113		267	65,1	70,9	8,91	106	7,42

Legenda: Unidades em mg/l, exceto EEC_{ol} em unids logs

A Figura 11 apresenta a rota existente e a proposta para a ETE Gama.

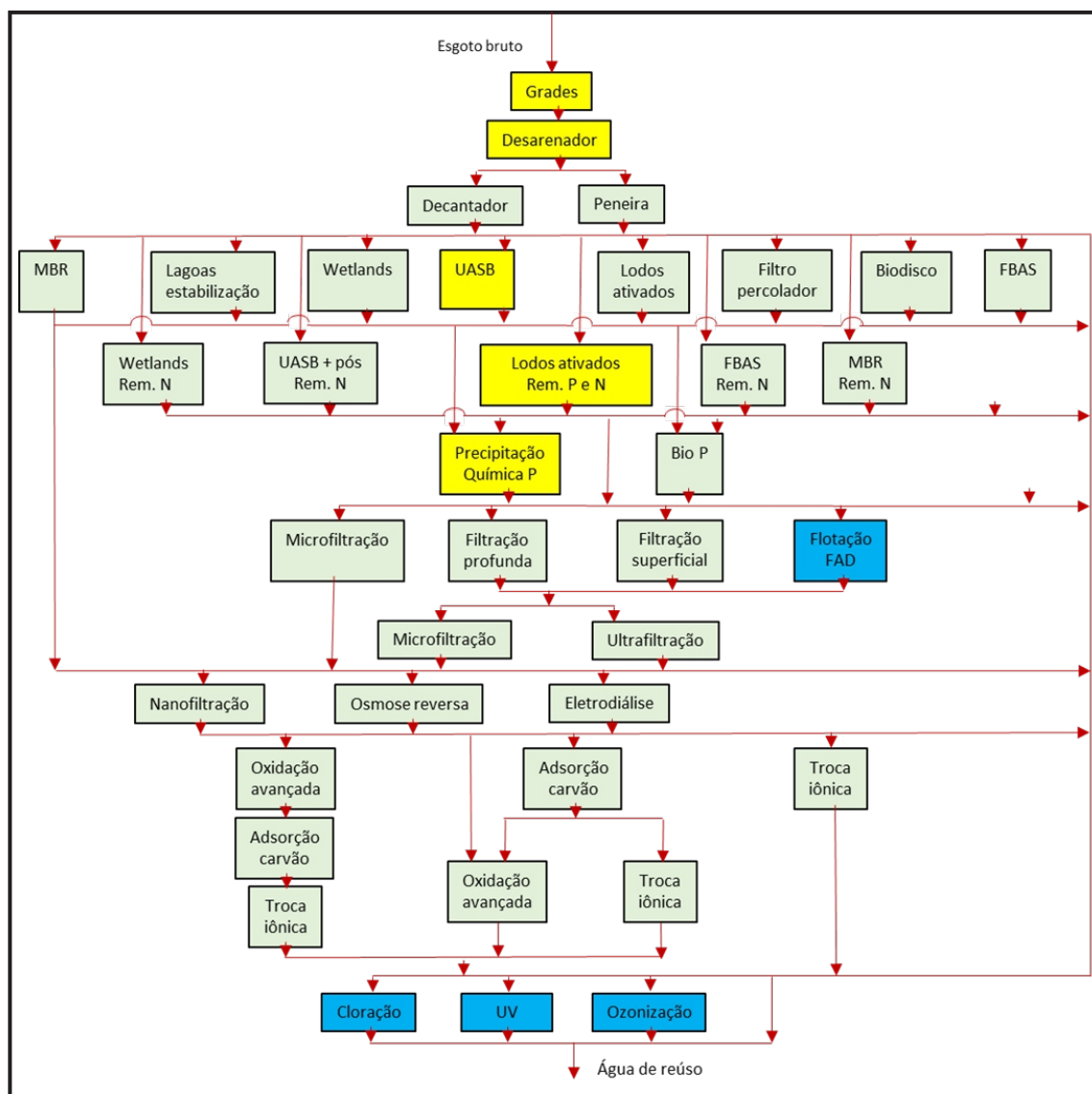


Figura 11 - Diagrama de blocos com a rota de tratamento da ETE Gama e a proposta para produção de água de reúso. Fonte: Adaptado de Gonçalves (2023).

Na Figura 11 os blocos hachurados em amarelo representam o processo existente e os hachurados em azul as possíveis proposta para adequação da referida ETE. A opção por acrescentar a sequência de FAD e Sistema UV a esta ETE é justificado pelo desempenho apresentado na Tabela 8, somente a variável EEC_{ol}.

Tabela 8 - Resultados obtidos na avaliação de longo termo (2017 a 2022) para o efluente da ETE Gama.

EDBO	EDBO _f	EDQO	ENH ₃	ENT	EPT	ESST	EECol
11		57	19,5	44,2	2,27	23	5,64

Legenda: Unidades em mg/l, exceto EEC_{ol} em unids logs

A Figura 12 apresenta a rota existente e a proposta para a ETE Melchior/Samambaia.

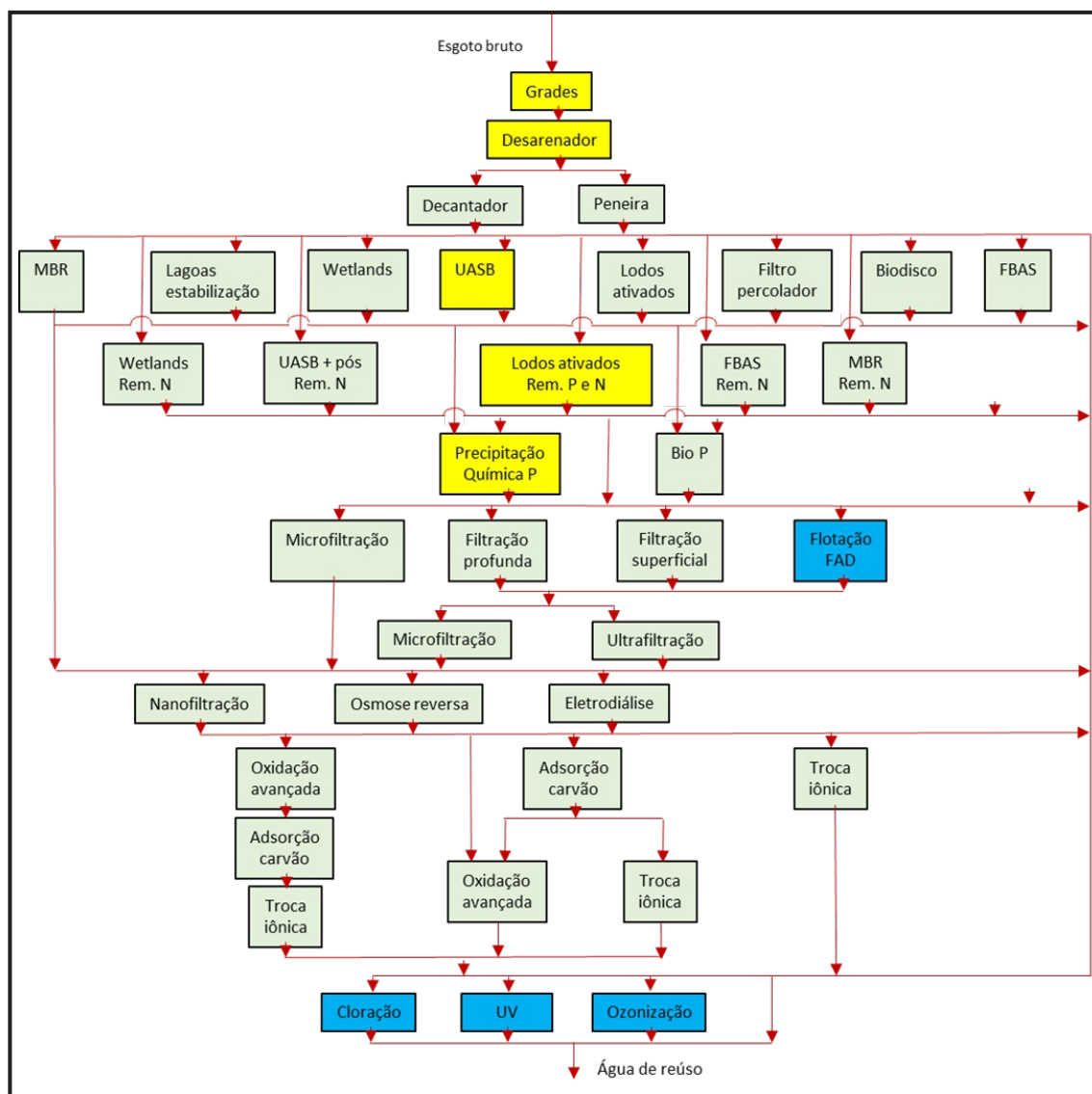


Figura 12 - Diagrama de blocos com a rota de tratamento da ETE Melchior/Samambaia e a proposta para produção de água de reúso. Fonte: Adaptado de Gonçalves (2023).

Na Figura 12 os blocos hachurados em amarelo representam o processo existente e os hachurados em azul as possíveis proposta para adequação da referida ETE. A opção por acrescentar a sequência de FAD e Sistema UV a esta ETE é justificado pelo desempenho apresentado na Tabela 9, para as variáveis EDBO, ESST e EECOL.

Tabela 9 - Resultados obtidos na avaliação de longo termo (2017 a 2022) para os efluentes da ETE Melchior (primeira linha) e da ETE Samambaia (segunda linha).

EDBO	EDBOf	EDQO	ENH3	ENT	EPT	ESST	EECol
80		254	66,5	48,7	7,54	173	7,04
39	34	196	63,8	60,8	4,54	144	5,79

Legenda: Unidades em mg/l, exceto EECOL em unids logs

Projeto de Melhorias para as ETEs

Para a estimativa do início dos projetos de implantação de reúso de água em irrigação (agrícola e paisagística) e as respectivas melhorias das cinco ETEs escolhidas a Tabela 10 apresenta os: (i) valores de vazão média de consumo de água de reúso (ℓ/s), (ii) o tipo de reúso optado por este estudo na Unidade Hidrográfica onde se encontra a ETE, (iii) qual o tipo de outorga de água envolvido, (iv) a melhoria necessária para adequar o efluente da ETE para o reúso de água pretendido e (v) o custo de implementação (CAPEX) para a adequação da qualidade da água.

Tabela 10 - Propostas de Vazões médias, tipo de reúso de água em Irrigação, melhorias necessárias nas ETEs escolhidas e custo de implantação estimados para este estudo.

ETE	Vazão (ℓ/s)	Reúso de Água em Irrigação	Tipo de Outorga	Melhoria Necessária	CAPEX (R\$)
Sul	10	Paisagística	PIPA	UV	100.000
Brazlândia	40	Agrícola	Irrigação	PQ, FAD e UV	1.356.880
Sobradinho	10	Paisagística	PIPA	PQ, FAD e UV	339.220
Gama	10	Paisagística	PIPA	UV	100.000
Melchior e Samambaia	8	Agrícola (Florestal)	Irrigação	PQ, FAD e UV	271.376
Total	78				2.967.466

Legenda: PQ...precipitação química, FAD...Flotação por ar dissolvido, UV...desinfecção por radiação Ultra-violeta. Custos unitários: PQ+FAD= R\$ 23.922/ ℓ/s ; UV= R\$ 10.000/ ℓ/s e PQ+FAD+UV= R\$ 33.922 ℓ/s. Fonte: SEI (2023) e ATLANTIUM TECHNOLOGIES LTD (2024).

Para os custos de Operação e Manutenção das melhorias necessárias de cada ETE escolhida para a prática de reúso de água foi utilizado o valor de 28% ao mês do custo de implantação (CAPEX), conforme (Oliveira, 2024). A Tabela 11 apresenta as vazões médias de consumo de água de reúso, tipo de reúso de água e custos de Operação e Manutenção (OPEX) para as melhorias implantadas nas ETEs escolhidas para reúso de água em irrigação (agrícola e paisagística) para este estudo.

Tabela 11 - Vazões médias de consumo de água de reúso, tipo de reúso de água e custos de Operação e Manutenção (OPEX) para as melhorias implantadas nas ETEs escolhidas para reúso de água em irrigação (agrícola e paisagística) para este estudo.

ETE	Vazão (ℓ/s)	Reúso de Água em Irrigação	OPEX (R\$/ano)
Sul	10	Paisagística	28.000
Brazlândia	40	Agrícola	379.926
Sobradinho	10	Paisagística	94.982
Gama	10	Paisagística	28.000
Melchior	8	Agrícola e Florestal	75.985
Total	78		606.893

Fonte: Oliveira (2024).



Investimentos Necessários (SAAR)

Os resultados das avaliações realizadas sobre as alternativas, abordou as infraestruturas necessárias, os desafios técnicos e logísticos, bem como os aspectos econômicos envolvidos, por intermédio de estudos de caso. A seguir, foram detalhados o Sistemas de Abastecimento de Água de Reúso (SAARs) das ETEs Melchior e Brazlândia. Os SAARs correspondentes à ETE Gama, Brasília Sul e Sobradinho compartilham soluções semelhantes, com seus Sistemas projetados para funcionarem como pontos de captação de caminhão pipa.

O Sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR) da ETE Melchior é retratado na Figura 13. A UH se caracteriza por abrigar as maiores e mais populosas regiões administrativas do DF (Ceilândia, Por do Sol/Sol Nascente, Samambaia e Taguatinga) e pela elevada classe de enquadramento do Rio Melchior, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 o corpo d'água é de classe 4 após a ETE, apresentando, inclusive, trechos a jusante da ETE, em que a vazão de efluentes é superior à vazão média do rio.

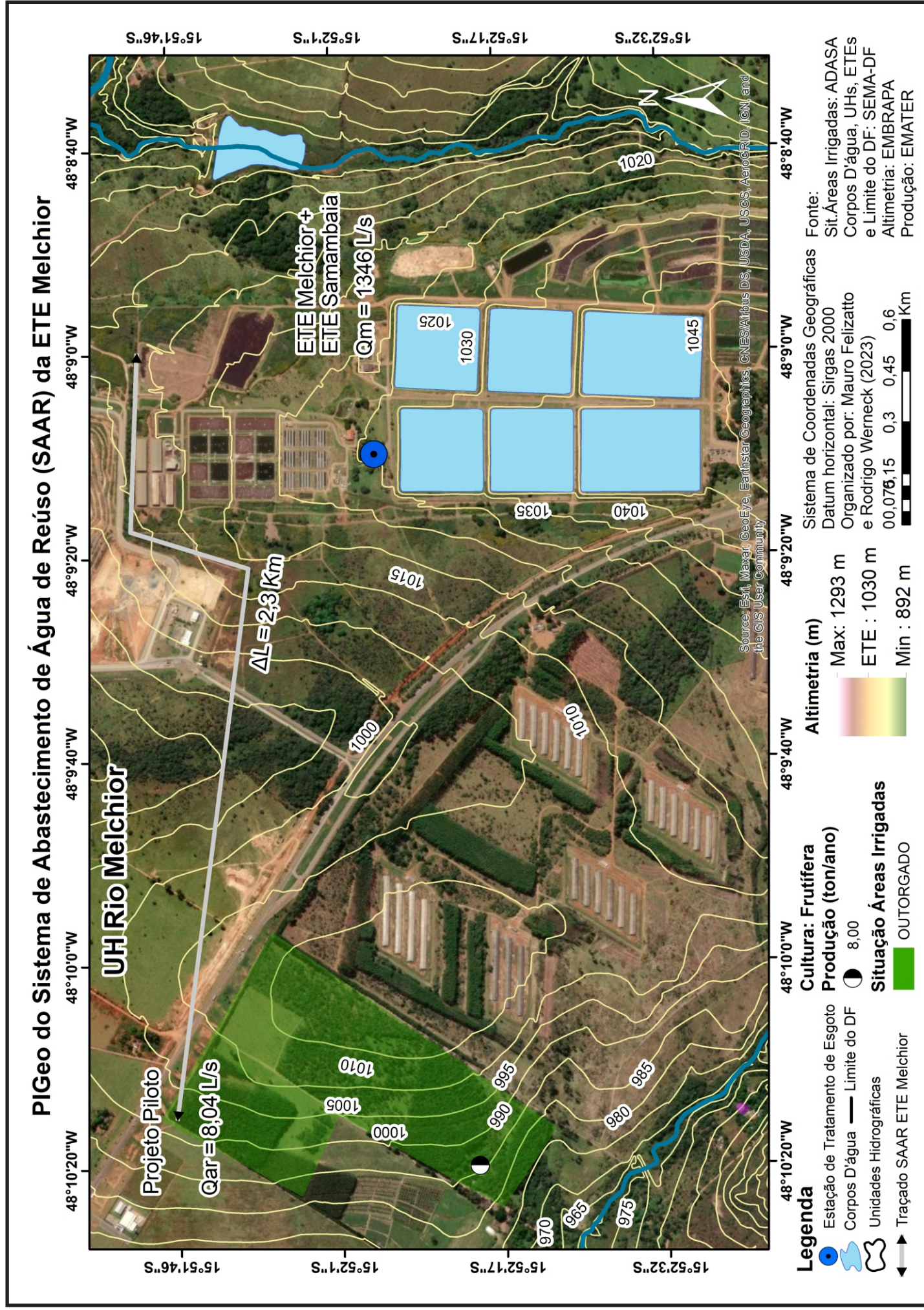
O projeto piloto designado para a unidade hidrográfica do Rio Melchior envolve a criação de um SAAR para transportar a água de reúso até um sistema de reflorestamento com eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill.).

Apesar da significativa oferta de água de reúso da ETE Melchior ($Q_m = 1.346 \text{ l/s}$), a unidade hidrográfica apresenta uma baixa demanda outorgada para irrigação de frutíferas e reflorestamento, além de estas estarem espaçadamente distribuídas e de forma não homogênea na bacia. Este projeto piloto visa destinar aproximadamente 8 litros por segundo ($Q_{ar} = 8,04 \text{ l/s}$) para a irrigação florestal dos cultivares arbóreos e frutíferos, conforme mostrado na Figura 13, área hachurada em verde, outorgado.

A Figura 14 ilustra o sistema de abastecimento de água de reúso da ETE Brazlândia, unidade com a maior demanda hídrica para irrigação entre as UHs, devido à concentração de grandes produtores de frutíferas em núcleos rurais. O reúso da água tratada traria benefícios ambientais significativos para o Rio Verde (Bacia do Rio Maranhão), além de atender à demanda agrícola.

Dois projetos pilotos foram definidos para a Unidade Hidrográfica do Alto Rio Descoberto, um para o Núcleo Rural Maranata (círculo amarelo) e outro para o Setor Alexandre Gusmão, Gleba 2 (círculo laranja), ambos na zona rural de Brazlândia, conforme a Figura 14.

No Setor Maranata, prevê-se destinar 4 litros por segundo ($Q_{ar1} = 3,7 \text{ l/s}$) de água de reúso para irrigação de frutíferas, a uma distância de 1,55 km. Já na Gleba 2, a demanda é de $39,3 \text{ l/s}$ (Q_{ar1}), atendida pela oferta de 42 l/s (Q_m) da ETE, a uma distância de 5,55 km.



PIGeo do Sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR) da ETE Brazilândia - UH Alto Rio Descoberto

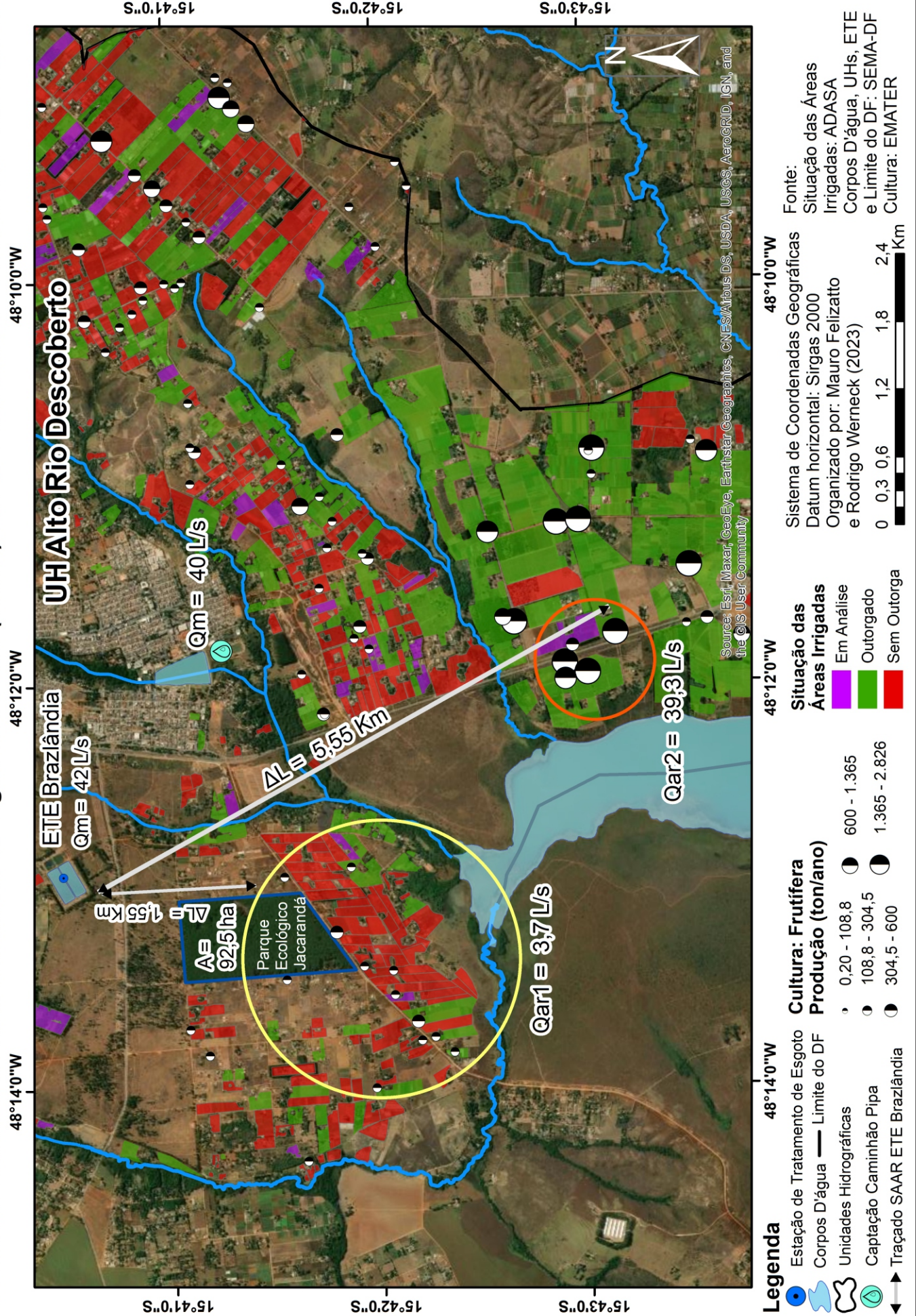


Figura 14 - Plano de Informações Georreferenciadas do Sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR) da ETE Brazilândia, contendo a Altimetria e a Situação das Áreas Irrigadas da Unidade Hidrográfica do Alto Rio Descoberto.

Investimentos Necessários (SAAR)



Nas cinco unidades hidrográficas (UH Melchior, UH Alto Descoberto, UH Ribeirão Sobradinho, UH Rio Ponte Alta e UH Lago Paranoá) foram estimados os investimentos para constituir o Sistema de Abastecimento de Água de Reúso (SAAR) de forma individual, projetado para destinarem a água à um núcleo rural, à um usuário específico, ou para funcionarem como pontos de captação de caminhão pipa.

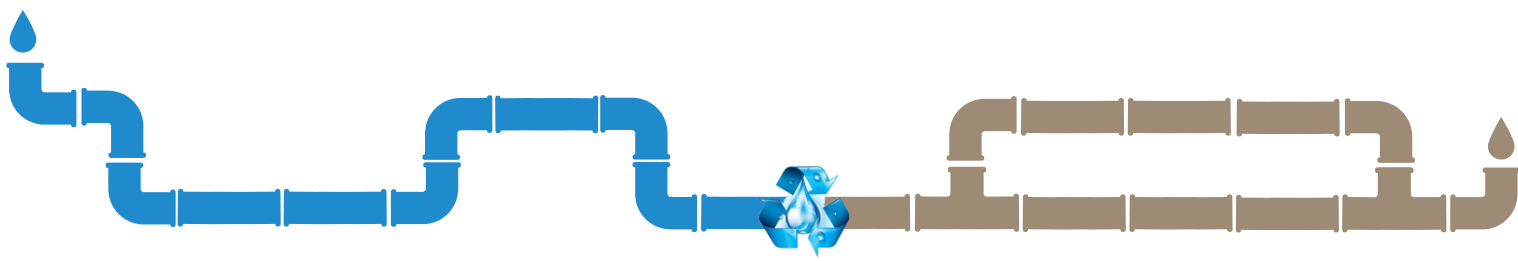
Os cálculos estimados para cada SAAR, foram baseados nos orçamentos da CAESB e no SINAP (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) da Caixa Econômica Federal, sendo elaborados por Nery (2024) para cada estudo de caso. Para estimar os custos de implantação (CAPEX) e operação e manutenção (OPEX), foram considerados: (i) canteiro de obras, (ii) tubulação, (iii) escavações, (iv) bombas, (v) CCM – centro de controle de motores e elevatória, e (vi) reservatório metálico.

A Tabela 12 apresenta os valores estimados para a implantação (CAPEX) e operação e manutenção (OPEX) dos SAARs para as cinco ETEs escolhidas para o iniciar o projeto de reúso de água nas Unidades Hidrográficas do Distrito Federal.

Tabela 12 - Custos Totais Estimados para a implantação dos Sistemas de Abastecimento de Água de Reúso (SAARs) para ETEs da CAESB.

ETEs	CAPEX (R\$)*	OPEX (R\$/ano)*
Melchior	1.126.289	315.361
Brazlândia	3.361.114	941.112
Sobradinho	536.612	150.251
Gama	548.458	153.568
Brasília Sul	720.779	201.818
Total	6.120.931	1.762.111

Fonte: Nery (2024).



Impacto na Tarifa

A discussão dos resultados revela que a regulação tarifária da CAESB, estabelecida pela ADASA, busca equilibrar a sustentabilidade econômico-financeira da empresa, mantendo a modicidade tarifária para os usuários. Para a computação do impacto dos projetos pilotos na tarifa, foram considerados os valores do ano base de 2024, contidos na 4ª RTP, sendo estes os principais parâmetros utilizados: mercado da empresa, impostos incidentes, WACC e outros custos (ADASA, 2024). A análise aprofundada desses elementos permitiu compreender a complexidade da dinâmica tarifária e seus impactos socioeconômicos, evidenciando a importância de uma regulação transparente e eficiente para garantir serviços de qualidade a preços justos.

Os resultados da análise dos impactos na tarifa de água e esgoto da CAESB, regulada pela ADASA, revelam uma relação complexa entre os diversos fatores econômicos e financeiros. Os dados de entrada para cômputo utilizados foram: valor de mercado da empresa, estimado em R\$ 312 milhões; a alíquota de 3,65% do PASEP/COFINS, que influencia diretamente a tarifa média da RTP, fixando-a em R\$ 6,71 e o *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) de 7,56%. A Figura 15 demonstra o gráfico contendo as estimativas dos impactos do custo baseado na 4ª RTP.

A análise do gráfico da Figura 15 revela que um aumento de 1% no custo total do projeto resulta em um aumento de aproximadamente 0,18% na tarifa. Essa relação linear destaca a importância de considerar o custo total dos projetos ao planejar investimentos e melhorias nos ativos da CAESB, buscando soluções eficientes e economicamente viáveis para evitar aumentos tarifários excessivos para os consumidores. Cenários específicos podem ser analisados através dos pontos no gráfico, como um custo total de R\$ 500 milhões, que resulta em um impacto de aproximadamente 9% na tarifa, equivalente a um aumento de R\$ 0,60 na tarifa média da RTP.

A estimativa do custo total (CAPEX e OPEX) para a implementação de todos os projetos pilotos de reúso de água neste estudo, incluindo a distribuição aos potenciais usuários, é de cerca de R\$ 8 milhões. Tal investimento resultaria em um impacto de 0,14% na tarifa, o equivalente a um aumento de aproximadamente R\$ 0,01 na tarifa média. Mesmo em um cenário de investimento massivo de R\$ 1 bilhão em projetos de reúso no Distrito Federal, o aumento hipotético na tarifa seria de R\$ 1,14 representando um acréscimo de 17%.



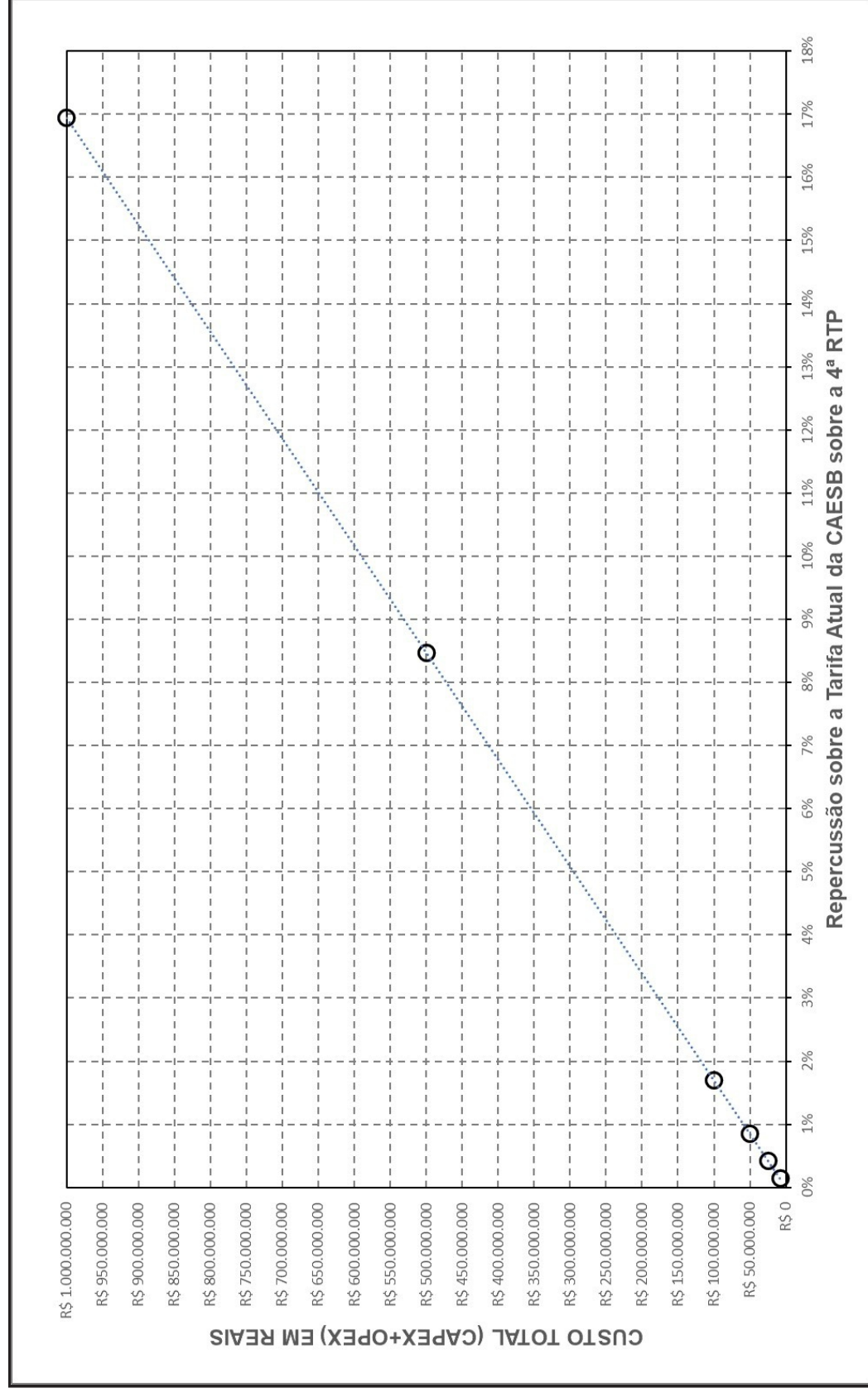


Figura 15 - Gráfico das estimativas dos impactos do Custo Total (CAPEX e OPEX) na 4ª Revisão Tarifária Periódica (RTP) da CAESB.



ETE Recanto das Emas

Considerações Finais

Este estudo demonstra um grande potencial para o reúso de água na agricultura no Distrito Federal, especialmente em áreas com alta demanda hídrica para irrigação, agrícola e paisagística. No entanto, a viabilidade plena dessa prática esbarra em desafios significativos, que vão desde a falta de um arcabouço legal específico e atualizado sobre a qualidade da água, até barreiras logísticas e financeiras. A análise das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da CAESB no DF revela que, apesar da maioria operar abaixo da capacidade projetada, a qualidade dos efluentes ainda não atende aos padrões de reúso de água restrito, principalmente devido à alta concentração de matéria orgânica e à falta de desinfecção. Isso exige investimentos em tecnologias de tratamento mais eficientes, como o tratamento terciário, para garantir a segurança e a qualidade da água de reúso. Muito embora, algumas estações do DF já possuem o tratamento terciário na sua concepção original, objetivando a remoção de fósforo.

Além disso, a falta de uma norma de referência, sobre todos os tipos de reúso de água no Brasil e no Distrito Federal, representa um obstáculo considerável. Isso dificulta, ainda mais, o planejamento e a implementação de projetos nessa área. A ausência de diretrizes claras sobre os padrões de qualidade da água de reúso e os procedimentos para sua utilização na agricultura agrava a insegurança jurídica e desmotiva investimentos no setor. Outro desafio importante é a questão logística, como distribuir a água de reúso ao usuário, as maiores ETEs do DF não estão próximas aos principais polos de irrigação outorgados (irrigação por pivô central), o que dificulta o transporte da água de reúso e aumenta os custos de implantação dos SAARs. A distância entre a oferta e a demanda dentro das bacias hidrográficas exige soluções inovadoras e eficientes para viabilizar o reúso agrícola em larga escala.

Apesar desses desafios, o estudo aponta para soluções promissoras e econômicas, entre elas a utilização de caminhões-pipa para a distribuição da água de reúso em irrigação paisagística de jardins e gramados urbanos. Além de comprovado que muitas ETEs necessitam apenas de melhorias na desinfecção para atender aos padrões de reúso de água, o que representa um investimento relativamente baixo em comparação aos benefícios potenciais. O impacto tarifário do reúso agrícola também se mostra propício. As estimativas indicam que, mesmo com investimentos significativos em projetos de reúso de água, o aumento na tarifa de água seria mínimo, o que reforça a viabilidade econômica dessa prática.

Em resumo, neste estudo, o reúso agrícola no Distrito Federal apresenta uma viabilidade potencial, mas sua implementação requer ações conjuntas do governo, do setor privado e da sociedade. A criação de um arcabouço legal regulatório específico, o investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PDI) de tecnologias de tratamento, a busca por soluções logísticas eficientes para distribuição da água e a conscientização da população sobre a importância do reúso são medidas cruciais para garantir a segurança hídrica, segurança jurídica, economia circular e o desenvolvimento sustentável do Distrito Federal.



Referências Bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 9649 Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário*, 7 p., 1986.

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. *Audiência Pública nº 002/2024 que disponibilizou a Planilha RTP - Revisão Tarifário*. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/audiencias-publicas/audiencias-concluidas?show_menu=1&menu_name=audiencias-publicas. Acesso em: 15/04/2024.

Atlantium Technologies LTD., *Proposta Comercial de Sistema de Desinfecção por radiação UV – Referente a Obra ETE Melchior Techne Engenharia e Consultores Ltda.*, 8 pp., 2022.

Brites, C.R.C.; Gurgel, I.S.V.; Sousa, D.S.; Felizatto, M.R., *Autodepuração de Esgotos Domésticos tratados em cursos d'águas de Altiplano*. Anais 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal – RN, ABES, 10 p., 2019.

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. *Consulta Pública de Obras de Água e Esgoto no DF a serem financiadas pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID*, Evento híbrido (virtual e presencial), ocorrida às 14:00h na CAESB, Avenida Sibipiruna Lt. 13/21, Águas Claras, Auditório Bloco A, ocorrido no dia 12 de setembro de 2023.

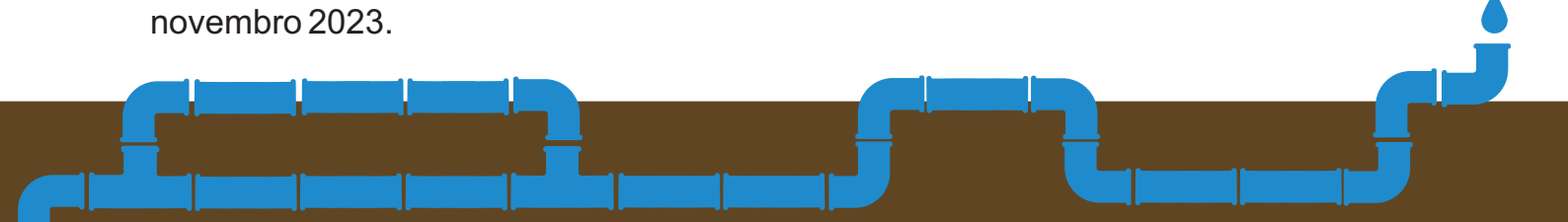
CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal, *Um Panorama das Águas no Distrito Federal*. Secretaria de Estado de Economia do Distrito Federal, 27 p., 2020.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, *Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Processamento de Imagem (CNPM)*, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2023. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/index.htm>. Acesso em: 25/06/2023.

E O S C o n s u l t o r e s . 2 0 2 3 . D i s p o n í v e l e m : <https://www.eosconsultores.com.br/uso-da-agua-na-agricultura/#%3A~%%3Atext%3DA%20agricultura%20%C3%A9%20uma%20atividade%20ca%20%C3%A1gua%20consumida%20no%20planeta%3E>. Acesso em: 20/08/2023.

GDF – Governo do Distrito Federal. *Decreto nº 18.327 de 18 de junho de 1997*. DODF – Diário Oficial do Distrito Federal, 4 p., 1997.

Gonçalves, R. F., Apresentação: *O Espírito Santo precisa de um programa de Reúso de água*, in XIII SESMA – Seminário Estadual de Saneamento e Meio Ambiente, Tema Gestão Sustentável do Saneamento, Vitória – ES, 55 pp., 27 a 30 de novembro 2023.





Referências Bibliográficas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>. Acesso em: 20/08/2023.

Lima, J.E.F.W.; Freitas, G.K.; Pinto, M.A.T. e Salles, P.S.B.A. (Editores), *Gestão da Crise Hídrica 2016 – 2018 Experiências do Distrito Federal*. ADASA, CAESB, SEAGRI e EMATER, DF, 328 p., 2018.

Metcalf & Eddy, *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*, 1st Edition, 2007.

Metcalf & Eddy, *Tratamento de efluentes e Recuperação de Recursos – 5 Edição*. Tradução Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa. McGraw-Hill Education, 1818 p., 2016.

Nery, F., *Comunicações pessoais através de correspondências eletrônicas – e-mails*. 2024.

Niku, S.; Schroeder, E.D.; Samaniego, F.J., *Performance of Activated Sludge Process and Reliability – Base Design*, Journal of Water Pollution Control Federation, nº 12, Vol. 51, 2841 – 2857 p., 1979.

Niku, S.; Schroeder, E.D.; Tchobanoglous, G.; Samaniego, F.J., *Performance of Activated Sludge Process: Reliability, Stability and Variability – Project Summary*, USEPA Research and Development EPA 600/S2-81-227, 12 p., 1981.

Oliveira, A. B. *Reunião Virtual sobre o Uso da Planilha RTP (Revisão Tarifária Periódica) para cálculo do Impacto dos Custos de implantação (CAPEX) e operação e manutenção (OPEX) das melhorias das ETEs e da implementação dos SAARs*. Microsoft Teams, duração: 1h. 12 de março de 2024.

Pinto Filho, A.C.T. e Brandão, C.C.S., *Evaluation of flocculation and dissolved air flotation as an advanced wastewater treatment*. Water Science and Technology, 43 (8), 83-90 p., 2001.

SEI – Sistema Eletrônico de Informações. *Processo SEI nº 00197 – 00004143/2023 – 26*, Ofício CAESB, 2023.

SISDIA – Sistema Distrital de Informações Ambientais. *Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Proteção Animal do Distrito Federal*. Disponível em: <https://sisdia.df.gov.br/home/repositorio-de-dados/?q=esgotamento>. Acesso em: 25/06/2023.

