



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA  
O TRATAMENTO DE ESGOTO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO  
SUPERIOR**

**JOSÉ LEVY LUNGUINHO JÚNIOR**

**POMBAL – PB**

**2022**

JOSÉ LEVY LUNGUINHO JÚNIOR

DIMENSIONAMENTO DE UMA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA  
O TRATAMENTO DE ESGOTO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO  
SUPERIOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Naiara Angelo Gomes

Coorientadora: Dra. Elisângela Maria da Silva

POMBAL – PB

2022

L963d Lunguinho Júnior, José Levy.

Dimensionamento de uma alternativa tecnológica para o tratamento de esgoto em instituição de ensino superior / José Levy Lunguinho Júnior. – Pombal, 2022.

64 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Dra. Naiara Angelo Gomes, Profa. Dra. Elisângela Maria da Silva.”

Referências.

1. Tratamento de esgoto. 2. Esgoto doméstico. 3. Reator UASB. 4. Lagoas de polimento. 5. Reúso do efluente tratado. I. Gomes, Naiara Angelo. II. Silva, Elisângela Maria da. III. Título.

CDU 628.32(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

JOSÉ LEVY LUNGUINHO JÚNIOR

**DIMENSIONAMENTO DE UMA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA O  
TRATAMENTO DE ESGOTO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente JOSÉ LEVY LUNGUINHO JÚNIOR **APROVADO**, em 03 de novembro de 2022, pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

Registre-se e publique-se.



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Naiara Angelo Gomes  
(Orientadora – Engenheira Ambiental/UFCG)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Érica Cristine Medeiros Machado  
(Membro Interno – Engenheira Civil/UFCG)

Dr<sup>a</sup>. Elisângela Maria da Silva  
(Coorientadora – Engenheira  
Ambiental/UFCG)

Prof. Dr<sup>a</sup> Cibelle Mara Rezende Felinto  
(Membro Externo – Engenheira  
Ambiental/UFCG)

*Aos meus pais, Levy e Erivânia, por todo amor, carinho e determinação para a minha formação pessoal e profissional, e às minhas irmãs, Janyne e Dayane, por sempre me apoiarem em todos os momentos.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as bênçãos derramadas sobre minha vida. Sem seu amor e compaixão eu jamais concluiria este ciclo. Obrigado por me fazer permanecer nesta árdua caminhada, e enfrentar as dificuldades vividas.

Aos meus pais Erivânia e Levy, por sempre me apoiarem em todos os momentos da minha vida, sempre priorizando meus estudos e não deixando nada faltar, deixando as vezes suas necessidades de lado para suprir as minhas. Não há palavras que possa definir o quanto sou grato por todo amor, carinho, compreensão e determinação, sem isso, nada seria possível.

Agradeço às minhas irmãs, Dayane e Janyne, por sempre me incentivarem nos momentos mais difíceis e por torcerem sempre pelo meu sucesso e por minha felicidade.

Aos meus avós paternos Chico Lunguinho (*in memoriam*) e Maria das dores (*in memoriam*), e aos meus avós maternos Rita (*in memoriam*) e Manoel (*in memoriam*), embora fisicamente ausentes, sempre senti as suas presenças ao meu lado, me dando força e torcendo sempre por mim.

À minha orientadora, Profa. Dra. Naiara Ângelo e minha coorientadora Dra. Elisângela Maria, por toda paciência e dedicação para comigo. Sem as suas orientações, o trabalho aqui apresentado jamais seria possível.

À todos os meus primos, que considero como irmãos, que sempre torceram por mim e me incentivaram. Em especial, à Ana Paula, Carol, Diego, Diogo, Fernanda, Fernando, Francisco, Gabriele, Heloísa, João Pedro, Levânia, Leidivânia Luiz Carlos, Manoel, Matheus e Micaele.

À todos os meus amigos, em especial, à Cristina, Jean, Manoel, Lucivânia e Viviane, que sempre torceram por mim, em cada vitória vibravam junto comigo, sempre me apoiaram.

Aos meus amigos que conquistei durante a jornada acadêmica, à Ayanne, Ennya, Jeferson, Letícia, Solange, Harla, Cristiane e Heloísa que são muito essenciais em minha vida, sempre torcendo e me desejando coisas boas.

Aos membros avaliadores da banca, por aceitarem participar deste momento único em minha vida.

À todos aqueles que aqui não foram mencionados, mas que de alguma forma foram importantes durante esta caminhada.

## RESUMO

O tratamento de esgoto doméstico, seja utilizando alternativas tecnológicas coletivas ou individuais, é fundamental para manter o ambiente saneado e salubre. Dentre as alternativas individuais disponíveis, pode-se empregar o sistema denominado de Saneamento Ambiental e Reúso de Água (SARA). Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi dimensionar o referido sistema de tratamento SARA para a Central de Aulas II, do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), uma vez que, o CCTA não dispõe de um tratamento de esgoto adequado. Propõe-se, assim, o memorial descritivo com o dimensionamento das unidades de tratamento do SARA, em que, possui o objetivo e localização, dados de análise, especificações, orçamento e memorial de cálculo. Os resultados dos cálculos, estimam uma eficiência pertinente na remoção de matéria orgânica, coliformes termotolerantes e ovos helmintos de 71,42%, 84,40% e 99,96%, respectivamente. Perante o exposto, o SARA substituirá de maneira eficiente o atual sistema de esgotamento sanitário do CCTA, além de, gerar uma economia, utilizando o efluente tratado como reúso para a irrigação das vegetações presentes.

**Palavras-chave:** Reator UASB. Lagoas de polimento. Tratamento de Esgoto. Reúso.



## **ABSTRACT**

The treatment of domestic sewage, whether using collective or individual technological alternatives, is essential to maintain a healthy and healthy environment. Among the individual alternatives available for the treatment of sewage and its reuse, one can use a system called (SARA). Therefore, the objective of this work was to propose the referred treatment system (SARA) for the Center for Agrifood Science and Technology (CCTA) of the Federal University of Campina Grande (UFCG), since the center does not have a sewage treatment system. adequate. Thus, it is proposed the dimensioning of the treatment units of the SARA, where it was chosen to do it in the descriptive memorial, where it has the objective and location, analysis data, specifications, budget and calculation memorial. The calculation results estimate a relevant efficiency in the removal of organic matter, thermotolerant coliforms and helminth eggs, being 71.42%, 84.40% and 99.96%, respectively. In view of the above, SARA will efficiently replace the current CCTA sewage system, in addition to generating savings, using the treated effluent as reuse for irrigation of existing vegetation.

**Keywords:** Reactor UASB. Polishing ponds. Sewage treatment. Reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de um sistema centralizado de tratamento de esgoto .....	18
Figura 2 - Representação do reator UASB para o tratamento unifamiliar .....	23
Figura 3 - Layout do Saneamento Ambiental e Reúso de Água .....	26
Figura 4 - Mapa de localização do CCTA/UFCEG.....	30
Figura 5 - Mapa de localização dos tanques sépticos do CCTA/UFCEG .....	31
Figura 6 - Reator UASB pré-fabricado em fibra de vidro .....	33
Figura 7 - Temperatura média da cidade de Pombal - PB .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico-química do esgoto doméstico bruto .....	17
Tabela 2 - Contribuição diária de esgoto e de lodo fresco .....	21
Tabela 3 - Período de detenção do esgoto por contribuição diária .....	21
Tabela 4 - Taxa de acumulação total do lodo.....	22
Tabela 5 - Profundidade útil mínima e máxima do tanque .....	22
Tabela 6 - Importância da remoção de constituintes indesejáveis no esgoto para diferentes formas de reuso.....	24
Tabela 7 - Distribuição e capacidade máxima das fossas sépticas no CCTA/UFMG por setor .....	30
Tabela 8 - Parâmetros de projeto.....	34
Tabela 9 - Consumo doméstico de água.....	35
Tabela 10 - Dimensões do tanque de equalização .....	37
Tabela 11 - Tempo de detenção hidráulica do Reator UASB.....	38
Tabela 12 - Parâmetros básicos para o dimensionamento do reator UASB com geometria diferenciada.....	39
Tabela 13 - Parâmetros da zona de sedimentação do reator UASB.....	41
Tabela 14 - Tabela Resumo dos valores adotados e calculados para o reator UASB .....	46
Tabela 15 - Tabela Resumo dos valores adotados e calculados para as lagoas de polimento.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E NOMENCLATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCTA	Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar
CTT	Coliformes Termotolerantes
CH <sub>4</sub>	Metano
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FCK	Resistência Característica do Concreto à compressão
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
LPBS	Lagoas de Polimento de Bateladas Sequenciais
LPFC	Lagoas de Polimento de Fluxo Contínuo
MCIT	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
OD	Oxigênio Dissolvido
OH	Ovos Helminhos
OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Fósforo
PATAC	Programa de Aplicação de Tecnologias Apropriadas
SARA	Saneamento Ambiental e Reúso de Água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS	Sólidos Suspensos
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Esgoto doméstico .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Métodos de tratamento do esgoto doméstico .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Caixa de gordura .....	19
2.2.2 Tanque séptico .....	20
2.2.3 Reator UASB .....	22
2.2.4 Lagoas de polimento .....	23
<b>2.3 Reúso do esgoto tratado .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Sistema de tratamento SARA (Saneamento Ambiental e Reúso de Água) .....</b>	<b>25</b>
<b>MEMORIAL DESCRITIVO .....</b>	<b>14</b>
<b>PROJETO EXECUTIVO .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Objetivo e localização .....</b>	<b>29</b>
1.1 Objetivo .....	29
1.2 Localização .....	29
1.3 Caracterização do atual sistema de esgotamento sanitário do CCTA/UFMG .....	30
1.4 Descrição da obra .....	31
<b>2. Dados de Análise .....</b>	<b>31</b>
<b>3. Especificações .....</b>	<b>32</b>
<b>4. Orçamento .....</b>	<b>33</b>
<b>5. Memorial de Cálculo .....</b>	<b>34</b>
5.1 Estimativa da vazão de projeto .....	34
5.2 Dimensionamento da caixa de gordura .....	36
5.3 Dimensionamento do tanque séptico .....	36

5.4 Dimensionamento do Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB) .....	38
5.5 Dimensionamento das lagoas de Polimento .....	47
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>58</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 45% da população brasileira não tem acesso as redes coletoras de esgoto, sendo as regiões norte e nordeste as que possuem a menor cobertura. Além disso, do volume de esgoto gerado em relação ao volume de água consumida, somente 50,8% é tratado, ou seja, 49,2% têm como destino fossas sépticas, sarjetas e lançamento direto no solo ou corpos hídricos. Destaca-se que, 20,2% do esgoto é coletado, no entanto, é descartado de maneira inadequada nos corpos d'água (SNIS, 2021). Dessa forma, o saneamento básico, torna-se necessário, constituindo-se em uma prioridade no Brasil, como forma de melhorar a qualidade ambiental e de vida da população. Por conseguinte, um dos objetivos da Lei Federal Nº 14.026 (BRASIL, 2020), que atualizou o marco legal do saneamento básico, Lei Nº 11.445 (BRASIL, 2007), é a universalização do acesso ao esgotamento sanitário de forma que garanta a saúde pública e preserve o meio ambiente.

Dessa maneira, a qualidade de vida da população está diretamente relacionada com as condições do saneamento ambiental, no qual, inclui-se a coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos esgotos domésticos. A falta de um tratamento adequado do esgoto, resulta no aumento de incidências de vários tipos de doenças, a exemplo das infecções gastrointestinais, cólera e outras patologias causadas por vetores de doenças (MAYER *et al.*, 2021).

O esgoto doméstico é uma água residuária com altos teores de sólidos totais, matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio amoniacal e fósforo) e organismos patogênicos. Esses poluentes devem ser removidos eficientemente antes do efluente ser finalmente lançado no meio ambiente, pois quando lançado de maneira inadequada no solo ou cursos d'água, ou seja, sem um tratamento apropriado ou *in natura*, possui o potencial de causar impactos adversos ao meio ambiente e, também, na saúde humana (VON SPERLING, 2014).

Diversas técnicas podem ser utilizadas para a remoção dos poluentes presentes no esgoto doméstico, sejam físico-químicas, biológicas ou a associação destas, dentre as quais se destacam: tanques sépticos, fossa seca, círculo de bananeiras, reator anaeróbico de fluxo ascendente unifamiliar (Reator UASB), fossa

séptica biodigestora, filtro de areia, filtro anaeróbico e biodigestor (TONETTI *et al.*, 2018).

No Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA/UFCG), campo experimental deste trabalho, o tratamento do esgoto gerado pela comunidade acadêmica é feito através de fossas sépticas, técnica que de acordo com Jordão e Pessoa (2011), não remove a teores ambientalmente aceitáveis a demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_5$ ), o nitrogênio amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) e microrganismos patogênicos, conforme recomenda a Resolução CONAMA Nº 430 (BRASIL, 2011), necessitando, portanto, de um pós-tratamento ou substituição da referida técnica utilizada.

Uma alternativa tecnológica e inovadora que pode ser empregada em substituição aos tanques sépticos é o sistema denominado SARA constituído pelas técnicas de reator UASB seguido de lagoas de polimento. O SARA foi idealizado pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA), unidade de pesquisa vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), podendo ser empregado como solução para o tratamento de esgoto em escala unifamiliar, comunitária ou institucional (MAYER *et al.*, 2020, 2021).

A inovação supracitada foi desenvolvida para resolver o problema da falta de tratamento de esgoto no Semiárido e, ademais, reutilizar o efluente tratado. A instalação, operação e manutenção da tecnologia é simples, como também, possui baixo custo comparado a outros tipos de tratamento de esgoto. Além disso, estudos realizados pelo INSA com colaboração da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Programa de Aplicação de Tecnologias Apropriadas (PATAC), demonstraram uma eficiência de 74% da redução da  $DBO_5$ , assim como a remoção de 100% de ovos de helmintos no efluente tratado (MAYER *et al.*, 2020, 2021).

Neste contexto, a tecnologia SARA surge como proposta que pode atender as necessidades de um tratamento de esgoto adequado e a escassez de água para fins agrícola, através do reúso do efluente tratado. Portanto, o objetivo do presente estudo foi propor o sistema SARA (reator UASB seguido de Lagoas de Polimento) para o tratamento do esgoto gerado na Central de aulas II do CCTA/UFCG, *campus* de Pombal - PB, tendo em vista que o atual sistema de tratamento dessa Instituição de Ensino não remove de maneira eficiente poluentes como matéria orgânica,  $N-NH_4^+$  e microrganismos patogênicos.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Esgoto doméstico

Segundo Jordão e Pessoa (2011), os esgotos domésticos, também chamados de esgotos domiciliares, originam-se especialmente das instalações de cozinhas, banheiros, lavanderias e outros ambientes das edificações comerciais, instituições ou residências que consomem água para atividades domésticas. É composto basicamente de urina, fezes, água utilizada para lavagem, sobras de comida, sabão, entre outros.

De acordo com Van Haandel e Lettinga (1994), o esgoto doméstico apresenta características físicas, químicas e biológicas nocivas ao meio ambiente e à saúde humana, que são resultantes dos constituintes presentes no esgoto, além disso, comportamentos socioeconômicos dos habitantes que contribuem com a produção do efluente, podem alterar a concentração e a composição desses poluentes.

Na Tabela 1, apresenta-se a composição físico-química de um esgoto doméstico não tratado.

Tabela 1 - Composição físico-química do esgoto doméstico bruto

Constituinte	Unidade	Concentração		
		Alta	Média	Baixa
<b>Sólidos totais</b>	mg.L <sup>-1</sup>	1230	720	390
<b>Sólidos dissolvidos totais</b>	mg.L <sup>-1</sup>	860	500	270
<b>Sólidos dissolvidos fixos</b>	mg.L <sup>-1</sup>	520	300	160
<b>Sólidos dissolvidos voláteis</b>	mg.L <sup>-1</sup>	340	200	110
<b>Sólidos em suspensão totais</b>	mg.L <sup>-1</sup>	400	210	120
<b>Sólidos em suspensão fixos</b>	mg.L <sup>-1</sup>	85	50	25
<b>Sólidos em suspensão voláteis</b>	mg.L <sup>-1</sup>	315	160	95
<b>Sólidos sedimentáveis</b>	ml.L <sup>-1</sup>	20	10	5
<b>DBO<sub>5</sub> dias (20° C)</b>	mg.L <sup>-1</sup>	350	190	110
<b>Carbono orgânico total</b>	mg.L <sup>-1</sup>	260	140	80
<b>DQO</b>	mg.L <sup>-1</sup>	800	430	250
<b>Nitrogênio total</b>	mg.L <sup>-1</sup>	70	40	20
<b>Nitrogênio orgânico</b>	mg.L <sup>-1</sup>	25	15	8
<b>Nitrogênio amoniacal livre</b>	mg.L <sup>-1</sup>	45	25	12
<b>Fósforo total</b>	mg.L <sup>-1</sup>	14	7	4
<b>Fósforo orgânico</b>	mg.L <sup>-1</sup>	4	2	1
<b>Fósforo inorgânico</b>	mg.L <sup>-1</sup>	10	5	3
<b>Cloretos</b>	mg.L <sup>-1</sup>	90	50	30
<b>Sulfetos</b>	mg.L <sup>-1</sup>	50	30	20
<b>Gordura e graxa</b>	mg.L <sup>-1</sup>	100	90	50

Legenda: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO – Demanda Química de Oxigênio

Fonte: Metcalf e Eddy (2016)

Determinar a produção *per capita* de esgoto e a sua vazão, o mais próximo possível do real, é importante para qualquer estudo que envolva o esgoto domiciliar, entretanto, apenas basear-se na população para determinar a quantidade de esgoto gerado, não é suficiente para ter dados precisos, muitas vezes torna-se necessário utilizar dados adicionais, como por exemplo, do consumo de água (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

## 2.2 Métodos de tratamento do esgoto doméstico

Um sistema tradicional de tratamento de esgoto doméstico engloba quatro níveis de tratamento, sendo: preliminar, primário, secundário e terciário. A Figura 1 contém o fluxograma dos quatro tipos de níveis de tratamento.

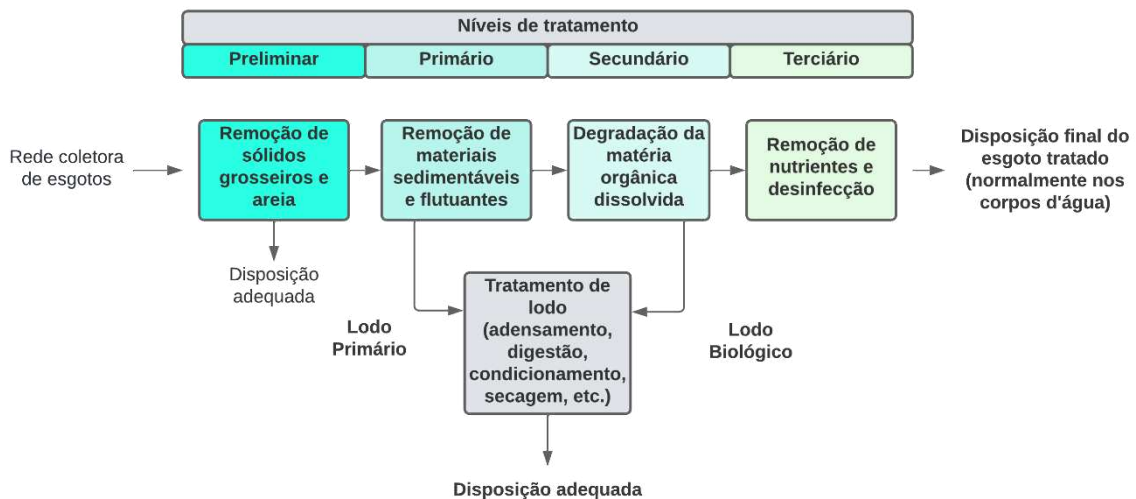


Figura 1 - Fluxograma de um sistema centralizado de tratamento de esgoto. (Fonte: Adaptado de Tonetti *et al.*, 2018)

Na etapa preliminar do tratamento, são removidos do efluente os sólidos mais grosseiros, como: areia, madeira, cabelo, plástico, tecidos, entre outros. Após a remoção desses sólidos, os mesmos devem ser encaminhados de modo apropriado para aterros sanitários (TONETTI *et al.*, 2018).

Em seguida, o tratamento primário tem por objetivo remover os sólidos sedimentáveis e flutuantes, todavia, esse tratamento não produz um efluente com condições ambientais satisfatórias, podendo ser utilizado como pré-tratamento. Sendo

assim, o esgoto é direcionado para o nível secundário de tratamento (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

O nível de tratamento secundário, visa eliminar a matéria orgânica presente no esgoto doméstico, onde as bactérias e outros microrganismos, são responsáveis por se alimentar da matéria orgânica (TONNETI *et al.*, 2018). Nesse sistema, apesar da degradação da DBO<sub>5</sub> ser eficiente, despejar o efluente desse nível em corpos de água, pode resultar em sua contaminação, causado pelo excesso da disponibilidade de nitrogênio e fósforo, o que resulta no processo de eutrofização da água.

No processo de eutrofização ocorre um grande desenvolvimento de organismos autotróficos, como as algas, que durante o dia produz oxigênio dissolvido (OD), no entanto, durante a noite ocorre grande consumo de oxigênio, deixando a concentração de OD muito baixa para suprir a necessidade de outros organismos, provocando a deterioração da qualidade da água (LANGANK, 2020).

Dessa forma, é essencial a introdução do nível terciário de tratamento do esgoto (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994). O nível terciário abrange a remoção do nitrogênio e do fósforo advindas do tratamento secundário, além de desinfetar o efluente final que será disposto no ambiente (TONNETI *et al.*, 2018).

O tratamento preliminar é necessário em qualquer Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Entretanto, em relação a presença das unidades de tratamento em nível primário, elas podem ou não existirem no fluxograma das estações. Geralmente o efluente é tratado em nível secundário, em todas as ETE's. Todavia, em relação ao nível terciário, são raras as estações que adotam o tratamento de esgoto até essa etapa (NUCASE, 2008).

### **2.2.1 Caixa de gordura**

Conforme NBR 8160 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, (ABNT, 1999), a caixa de gordura tem por finalidade bloquear a passagem de óleos, graxas e gorduras presentes no esgoto domiciliar, onde ficam retidos na parte superior da caixa, por isso, para impedir que eles escoem pela tubulação de esgoto e causem opilação, deve ser feita uma manutenção regularmente para a retirada das camadas que são criadas.

A caixa de gordura é dimensionada dependendo da quantidade/natureza de cozinhas que irão contribuir com os efluentes gordurosos. As caixas de gordura são

dimensionadas levando em consideração a sua utilização diária, podendo ser pequena (18 litros) ou simples (31 litros) caso exista apenas uma cozinha interligada a ela, simples ou dupla (120 litros) para a coleta de duas cozinhas, para o recebimento de três até doze cozinhas deve-se utilizar a dupla, ademais, para mais de doze ou para cozinhas de escolas, hospitais e restaurantes, utiliza-se caixa de gordura especial (ABNT, 1999).

O que distingue os diversos tipos de caixas de gordura, são as dimensões mínimas exigidas na NBR 8160 (ABNT, 1999), como diâmetro interno, capacidade de retenção, a parte submersa do septo e o diâmetro da tubulação de saída da caixa de gordura. Com exceção da caixa de gordura especial, que possui formato prismático com a base retangular, todas as outras são de formato cilíndrica, além disso, no tipo especial, é necessário calcular o volume da câmara que retém a gordura, conforme à Equação 1.

$$V = 2N + 20 \quad (1)$$

Em que:

V = volume da câmara, dado em litros;

N = número de pessoas que serão servidas pelas cozinhas em seu maior fluxo.

### 2.2.2 Tanque séptico

A princípio, o SARA foi idealizado com intuito de utilizar o tanque de equalização para remover os sólidos sedimentáveis e amortecer a carga hidráulica que chega ao reator UASB. Entretanto, o tanque séptico pode substituir sem prejuízo o tanque de equalização, quando já existente na localidade na qual ocorrerá a instalação (MAYER *et al.*, 2020).

Posto isto, o tanque séptico, é bastante utilizado para o tratamento primário e secundário do esgoto doméstico, tendo em vista que, ocorre a sedimentação dos sólidos suspensos e os microrganismos presentes no lodo que é gerado no tanque, inicia um processo de decomposição da matéria orgânica presente no efluente (TONETTI *et al.*, 2018).

Conforme a NBR 7229 (ABNT, 1993), para o dimensionamento do tanque séptico, deve-se calcular o volume útil total do tanque, dado pela Equação 2.

$$V = 1000 + N(CT + KLf) \quad (2)$$

Em que:

N = número de pessoas/unidades de contribuição;

C = contribuição de esgoto gerado dado em litros/pessoa x dia ou em litros/unidade x dia;

T = período de detenção do esgoto, em dias;

K = taxa de acumulação de lodo, dado em dias;

Lf = contribuição do lodo fresco em litros/pessoa x dia ou litros/unidade x dia.

A Tabela 2 apresenta os valores da contribuição de esgoto diária (C) e do lodo fresco (Lf) dependendo do tipo de instalação e se os ocupantes são permanentes ou temporários.

Tabela 2 - Contribuição diária de esgoto e de lodo fresco

<b>Prédio</b>	<b>Unidade</b>	<b>C</b>	<b>Lf (L)</b>
<b>1. Ocupantes permanentes</b>			
- Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	1
Padrão médio	Pessoa	130	1
Padrão baixo	Pessoa	100	1
- Hotel (exceto lavanderias e cozinhas)	Pessoa	100	1
- Alojamento provisório	Pessoa	80	1
<b>2. Ocupantes temporários</b>			
- Fábrica em geral	Pessoa	70	0,30
- Escritório	Pessoa	50	0,20
- Edifícios públicos ou comerciais	Pessoa	50	0,20
- Escolas e locais de longa permanência	Pessoa	50	0,20
- Bares	Pessoa	6	0,10
- Restaurantes e similares	Refeição	25	0,10
- Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	0,02
- Sanitários públicos	Bacia sanitária	480	4,0

Fonte: ABNT (1993)

O período de detenção do esgoto (T), é definido baseando-se na Tabela 3, o qual depende da contribuição diária. Já a Tabela 4, retrata a taxa de acumulação do lodo (K), onde, deriva-se do intervalo que ocorrerá as limpezas do tanque e a temperatura do mês mais frio.

Tabela 3 - Período de detenção do esgoto por contribuição diária

**Contribuição diária (L)**

**Tempo de detenção**

	<b>Dias</b>	<b>Horas</b>
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais de 9000	0,50	12

Fonte: ABNT (1993)

Tabela 4 - Taxa de acumulação total do lodo

<b>Intervalo entre as limpezas (anos)</b>	<b>Valores de K (dias) por faixa de temperatura ambiente (t), em °C</b>		
	<b>t ≤ 10</b>	<b>10 ≤ t ≤ 20</b>	<b>t &gt; 20</b>
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: ABNT (1993)

Ainda segundo a NBR 7229 (ABNT, 1993), algumas dimensões mínimas são exigidas para os tanques sépticos, como o diâmetro interno mínimo e a largura interna mínima, sendo, respectivamente, 1,10 e 0,80 metros. A Tabela 5 define a profundidade mínima e máxima do tanque, que depende do volume útil total encontrado.

Tabela 5 - Profundidade útil mínima e máxima do tanque

<b>Volume útil total (m³)</b>	<b>Profundidade útil mínima (m)</b>	<b>Profundidade útil máxima (m)</b>
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: ABNT, 1993

### 2.2.3 Reator UASB

O reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é uma unidade de tratamento de esgoto, onde a manta de lodo criada no reator é responsável pela digestão anaeróbica da matéria orgânica presente no efluente, além disso, apresenta baixo TDH (tempo de detenção hidráulica) (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

O reator UASB é formado principalmente por um separador de fases, onde o divide em duas zonas. O efluente entra na zona de digestão do reator, que é responsável pela degradação da matéria orgânica e formação de lodo e biogás. Em fluxo ascendente, o efluente atinge à zona de sedimentação, onde ocorre a separação

do efluente tratado, do biogás e do lodo (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994; CAVALCANTI, 2009).

Santos *et al.* (2018), propuseram uma configuração diferente para o Reator UASB, conforme ilustrado na Figura 2, apresentando-se bastante eficiente para o tratamento de esgoto, removendo de 67 a 74% de matéria orgânica, objetivando um tratamento em escala unifamiliar. A nova configuração altera basicamente as zonas de digestão e sedimentação, mas mantendo suas funções em relação ao reator tradicional.

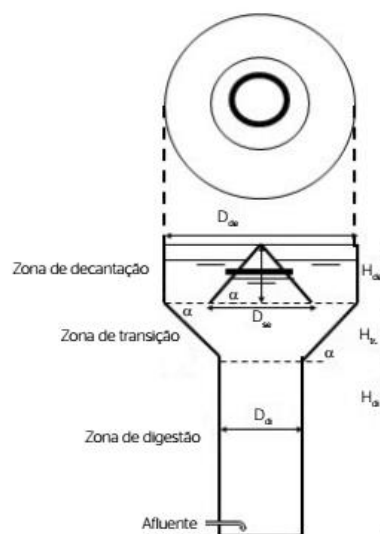


Figura 2 - Representação do reator UASB para o tratamento unifamiliar. (Fonte: Santos et al., 2018)

Para o dimensionamento do reator UASB utilizado no tratamento unifamiliar, faz-se necessário a determinação de parâmetros específicos, bem como a adoção de outros com base na literatura técnica e científica, como exemplo: o volume do reator, a vazão máxima a ser tratada, o TDH. Contudo, os parâmetros calculados são dependentes dos adotados inicialmente (SANTOS *et al.*, 2018).

Ainda que o reator UASB seja eficiente em relação à remoção de matéria orgânica, o esgoto efluente não atende aos critérios mínimos para lançamento na natureza, sendo indispensável a aplicação de um tratamento complementar (SANTOS, 2016).

#### 2.2.4 Lagoas de polimento

Definir a aplicação do reúso do efluente tratado pelo reator UASB é essencial para definir o tipo de tratamento complementar, por exemplo, para o reúso agrícola, não há necessidade de remoção dos nutrientes. Sendo assim, um pós-tratamento adequado para o reúso agrícola, é a de lagoas de polimento de bateladas sequenciais (LPBS) (VAN HAANDEL; SANTOS; PAIVA, 2021).

Cavalcanti (2009), constatou que as LPBS apresentam uma alta eficiência para remoção dos coliformes termotolerantes (CTT), removendo cerca de 99,99%, com uma detenção hidráulica de 4 a 5 dias, relativamente baixa comparada com a Lagoa de polimento de fluxo contínuo (LPFC).

Segundo Von Sperling (2017), as lagoas de polimento precisam ser dimensionadas como lagoas de maturação, já que, necessitam de elevada eficiência na remoção de coliformes. Para isso, a profundidade da lagoa é adotada entre 0,8 e 1,0 metro de profundidade, visto que, a baixa profundidade intensifica os efeitos da radiação Ultravioleta nas bactérias.

Para o dimensionamento, os principais parâmetros de projeto são a profundidade da lagoa, TDH, o número de lagoas e a relação comprimento/largura (VON SPERLING, 2019).

### 2.3 Reúso do esgoto tratado

De acordo com Van Haandel, Santos e Paiva (2021) existem diversas possibilidades para a disposição final do esgoto tratado, o que as difere é o tipo da qualidade que se necessita em cada reúso. A Tabela 6 apresenta as formas de reúso mais aplicadas na prática, além da relevância da eliminação dos constituintes indesejáveis presentes no esgoto, como os sólidos suspensos (SS), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P) e patógenos.

Tabela 6 - Importância da remoção de constituintes indesejáveis no esgoto para diferentes formas de reúso

<b>Aplicação</b>	<b>SS</b>	<b>MO</b>	<b>N e P</b>	<b>Patógenos</b>
<b>Agrícolas</b>	Muito importante	Importante	Desnecessário	Muito importante
<b>Industriais</b>	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante
<b>Urbanas</b>	Muito importante	Muito importante	Desnecessário	Muito importante
<b>Recreativas</b>	Muito importante	Muito importante	Importante	Muito importante
<b>Ambientais</b>	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante
<b>Abastecimento</b>	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante

Fonte: Van Haandel, Santos e Paiva (2021)



É notável que em todas as formas de reúso, a remoção de SS, da MO e dos patógenos é imprescindível para a disposição final do efluente. No reúso agrícola, remover os nutrientes presentes no esgoto prejudica esse tipo de reúso. Além disso, o reúso agrícola apresenta várias vantagens sociais, ambientais e econômicas, como por exemplo, moderar a poluição dos corpos hídricos, aumentar a disponibilidade de água e diminuir o uso de fertilizantes. Apesar disso, é necessário realizá-lo com atenção, tendo em vista que, nem todas as culturas podem receber irrigação com esse tipo de água de reúso (TONETTI *et al.*, 2018).

## 2.4 Sistema de tratamento SARA (Saneamento Ambiental e Reúso de Água)

A tecnologia SARA é uma alternativa de tratamento de esgoto doméstico individual, para populações descentralizadas rurais, institucionais, que permite que diversas regiões do semiárido, as quais, não dispõem dos serviços de saneamento básico possam ter acesso. É formada por caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB e lagoas de polimento, onde o fluxo do efluente segue essa mesma sequência citada (MAYER *et al.*, 2021).

O SARA objetivou-se em resolver dois problemas comuns no semiárido brasileiro, a falta de tratamento de esgoto e a problemática da disposição de água para fins agrícolas, além de, possuir baixo custo para sua instalação e dimensões reduzidas em relação a outros tratamentos de esgoto doméstico (MAYER *et al.*, 2020, 2021).

Trabalhos desenvolvidos por Mayer *et al.* (2020, 2021) comprovaram que o SARA, gera um efluente em condições satisfatórias para o reúso agrícola, com remoção de 74% de DBO, e  $2,2 \cdot 10^4$  de *Escherichia coli* (*E. coli*), além de não ter a presença de ovos helmintos, que é preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), ainda mais, nutrientes como  $N-NH_4^+$  e fósforo são preservados, o que garante uma boa eficiência para o reúso agrícola.

A Figura 3 apresenta o layout do SARA, junto com as suas respectivas unidades de tratamento.

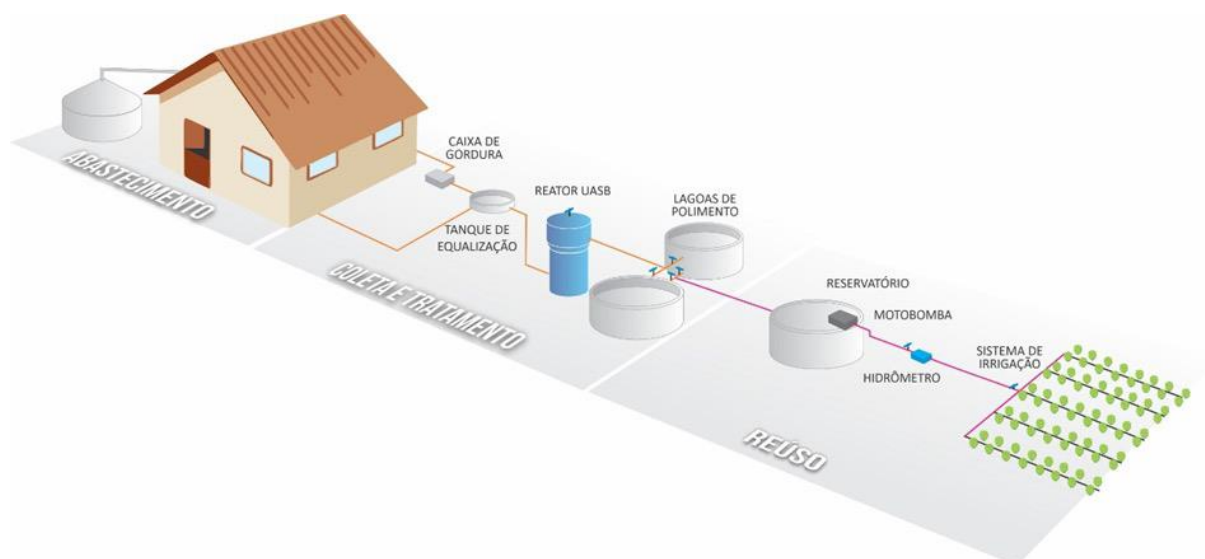


Figura 3 - Layout do Saneamento Ambiental e Reúso de Água (Fonte: INSA, 2020)

O SARA remove em média 74% de matéria orgânica, além de garantir um efluente com baixa concentração de patógenos e a preservação de nutrientes. A tecnologia SARA se torna uma alternativa viável para utilizar o efluente tratado em fins de irrigação de espécies vegetais que contribuem para a arborização de Centros de ensino (MAYER *et al.*, 2020, 2021).

# **MEMORIAL DESCRITIVO**

# **PROJETO EXECUTIVO**

**Dimensionamento de uma alternativa tecnológica para o  
tratamento de esgoto em instituição de ensino superior  
Universidade Federal de Campina Grande**

Proprietário:

**Universidade Federal de Campina Grande**

*Campus - Pombal*

Autor e Responsável Técnico:

**José Levy Lunguinho Júnior**

Engenheiro Civil – Matrícula 918210299

Pombal - PB

Outubro, 2022

NBR 7229/1993 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos

NBR 12209/2011 – Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários

SANTOS *et al.* (2018) – Dimensionamento do reator UASB

Cavalcanti (2009) – Dimensionamento das lagoas de polimento

MAYER, *et al.* (2020) – Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro

MAYER, *et al.* (2021) – Tecnologia de tratamento de esgoto: uma alternativa de saneamento ambiental básico rural e produção de água para reúso agrícola no Semiárido Brasileiro

## **1. Objetivo e localização**

### **1.1. Objetivo**

Este documento objetiva cumprir as exigências a respeito do projeto de proposição da tecnologia SARA (Saneamento Ambiental e Reúso de Água) para o tratamento de esgoto gerado na Central de Aulas II do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) e contém informações importantes sobre detalhes, especificações, dimensionamento e quantitativos necessários para o projeto de acordo com as normas vigentes.

A saber, as normas que norteiam este projeto é a NBR 12209/2011 – Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários e a NBR 7229/1993 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

### **1.2. Localização**

O projeto objeto deste documento foi realizado para atender a comunidade acadêmica que frequenta a Central de Aulas II, do CCTA/UFCG, o qual, situa-se na cidade de Pombal – PB, conforme ilustrado na Figura 4.

Atualmente o CCTA/UFCG dispõe de 80 docentes, 40 técnicos administrativos e mais de 1200 discentes, distribuídos nos cursos de Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Engenharia de Alimentos, Agronomia e três cursos de Pós-Graduação. Os Anexos A e B, apresentam, respectivamente, a planta baixa do CCTA/UFCG e a Central de Aulas II.

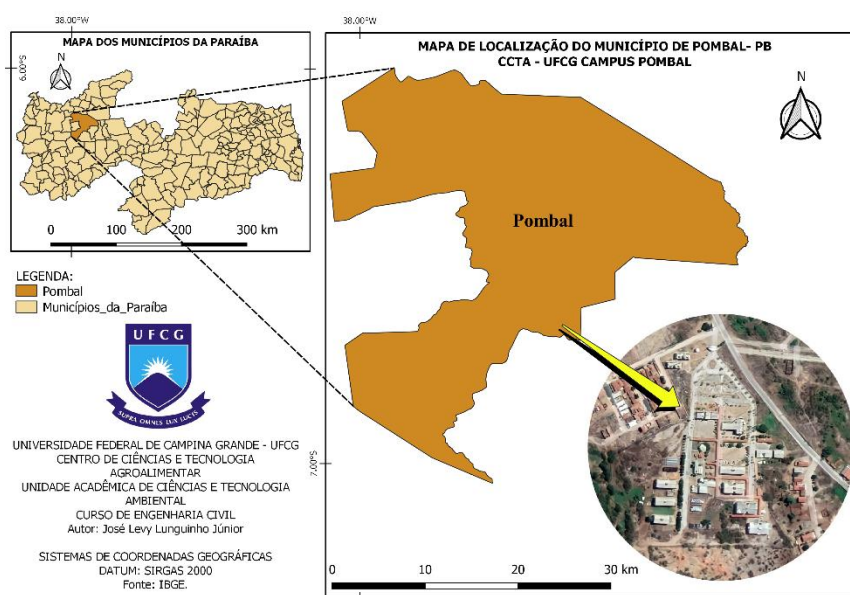


Figura 4 - Mapa de localização do CCTA/UFCG. (Fonte: Autor; 2022)

### 1.3. Caracterização do atual sistema de esgotamento sanitário do CCTA/UFCG

O CCTA/UFCG possui 14 tanques sépticos, como atual forma de tratamento de esgoto, distribuídos em toda a área edificada do *campus*. Na Tabela 7 encontra-se os locais, quantidades e capacidades dos tanques sépticos implantados no referido Centro de ensino. Já na Figura 5 verifica-se a espacialização desses tanques no CCTA/UFCG.

Tabela 7 - Distribuição e capacidade máxima das fossas sépticas no CCTA/UFCG por setor

Nº	Local	Quantidade	Capacidade máxima (m³)
1	Prédio administrativo	01	12,72
2	Biblioteca	01	12,48
3	Subprefeitura	01	12,14
4	Central dos professores	01	13,53
5	Restaurante universitário	01	11,33
6	Central de aulas I	02	26,12
7	Central de aulas II	01	21,48
8	Central de aulas III	01	18,97
9	Laboratórios 1 e 2	01	10,18
10	Laboratório 3	01	19,97
11	Praça de convivência	01	9,49
12	Residência feminina	01	8,73
13	Residência masculina	01	34,81
14	Portaria	01	2,35

Fonte: Autor (2022)



Figura 5 - Mapa de localização dos tanques sépticos do CCTA/UFCC. (Fonte: Autor, 2022)

#### 1.4. Descrição da obra

A obra descrita foi a tecnologia SARA, onde foi proposto a implantação de uma unidade no *campus*, para abranger o tratamento de esgoto gerado pela Central de Aulas II. O SARA se divide em cinco unidades de tratamento, sendo: caixa de gordura, tanque séptico, reator UASB, lagoas de polimento e reservatório de armazenamento do efluente tratado.

#### 2. Dados de Análise

Conforme apresentado na Tabela 7, o CCTA possui 3 Centrais de Aulas, sendo cada uma constituídas por 14 salas de aulas, que juntas possuem uma capacidade máxima para acomodar 560 alunos, além de 4 banheiros contendo três bacias sanitárias e dois lavatórios. A Central de Aula I dispõe do menor fluxo de alunos, sendo encontrados os maiores fluxos nas Centrais II e III. Nessas Centrais, transitam em torno de 600 pessoas, por dia, incluindo discentes, docentes e terceirizados.

Em se tratando do consumo de água, atualmente, dados obtidos no CCTA/UFCC referentes aos meses de março, abril, maio, junho e julho de 2022,



retratam uma média mensal de 575,20 m<sup>3</sup>, equivalendo a um custo médio mensal de R\$7.742,25 reais. A tecnologia SARA disponibiliza cerca de 40 m<sup>3</sup> por ano, de água que pode ser utilizada para reúso, gerando uma economia de recursos. Ademais, como o efluente final é rico de nutrientes gera uma economia em fertilizantes (MAYER *et al.*, 2021).

Destaca-se que, após a implantação e operação da tecnologia SARA, espera-se que ocorra uma economia de água no *Campus*, fazendo com que o investimento tenha retorno em pouco tempo de operação.

### 3. Especificações

Em nível de projeto executivo foram apresentadas as seguintes especificações das unidades de tratamento da tecnologia SARA:

- No tanque séptico a laje do fundo deve ser construída antes das paredes do tanque, além disso, as paredes devem ser construídas em alvenaria e ser revestida internamente com argamassa no traço 1:3 (1 lata de cimento para 3 latas de areia), visando garantir a estanqueidade, conforme recomendação da NBR 7229 (ABNT, 1993).
- O reator UASB é pré-fabricado, feito em fibra de vidro, e possui formato cilíndrico, podendo ser parcialmente aterrado dependendo da inclinação do terreno, conforme a Figura 6.



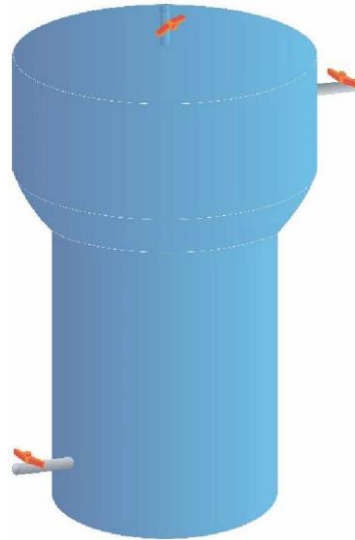


Figura 6 - Reator UASB pré-fabricado em fibra de vidro. (Fonte: INSA, 2020)

- As lagoas de polimento serão confeccionadas em concreto armado, possuindo uma armação com barras de aço com bitola de 6,3 mm. O concreto deve ser produzido no traço 1:2:3 (1 parte de cimento para 2 partes de agregado miúdo para 3 de agregado graúdo). Além disso, as lagoas de polimento devem ser impermeabilizadas nas laterais e no fundo para garantir a estanqueidade.
- Considerou-se a utilização de uma caixa d'água de fibra de vidro, com capacidade de armazenamento de 5000 litros como reservatório para o efluente tratado.
- Para a tubulação que interliga as unidades constituintes do SARA, foi adotado tubos de PVC, série normal, com DN (Diâmetro nominal) de 100 mm, para esgoto predial, de acordo com a NBR 5688 (ABNT, 2018).

#### 4. Orçamento

Segundo Mayer *et al.* (2020), o custo de implantação de uma unidade do SARA é em média R\$ 13.432,00, em escala unifamiliar, baseado no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) do ano de 2019. Porém, para este projeto alguns pontos devem ser levados em consideração, como, a Central de Aulas II já possuir tanque séptico, reduzindo assim, 38% do custo da implantação do SARA (SINAPI, 2022).

Segundo o SINAPI (2022), o reator UASB de 250 litros, custa em média R\$ 1.500,00 reais.

O custo para as duas lagoas de polimento, considerando a armadura das lagoas e o concreto usinado bombeável, classe de resistência C30, com brita 0, incluindo serviço de bombeamento é de cerca de R\$ 4.000,00 (SINAPI, 2022).

Para o reservatório, considerou-se utilizar uma caixa d'água de fibra de vidro, com capacidade de armazenamento de 5000 litros, com tampa, que custa R\$ 2.932,05. Além das unidades de tratamento, existe o custo com a tubulação e com o motor bomba necessários para a instalação do SARA, que chega em torno de R\$ 1637,50 (SINAPI, 2022).

Para a instalação do SARA no CCTA/UFCEG, o custo total de implantação é em torno de R\$ 10.069,55 reais.

O Anexo G apresenta o quantitativo de materiais necessários para a instalação e execução do SARA.

## 5. Memorial de Cálculo

### 5.1. Estimativa da vazão de projeto

Para a determinação das vazões mínima, média e máxima de projeto, alguns parâmetros foram adotados, tais como: o coeficiente de retorno (C), os coeficientes de variação de vazão (K1 (coeficiente de máxima vazão diária), K2 (coeficiente de máxima vazão horária) e K3 (coeficiente de mínima vazão horária)); e o consumo efetivo *per capita* de água ( $q_e$ ). Ressalta-se que a população considerada para este projeto foi a capacidade máxima da Central de aulas II.

Os valores dos coeficientes C, K1, K2 e K3 mostrados na Tabela 8, foram escolhidos baseando-se na NBR 9649 (ABNT,1986). Já na Tabela 9, apresentam-se os valores típicos do consumo efetivo *per capita* de água segundo Alem Sobrinho e Contrera (2016).

Tabela 8 - Parâmetros de projeto

C	K1	K2	K3
0,8	1,2	1,5	0,5

Fonte: ABNT (1986)

Tabela 9 - Consumo doméstico de água

Tipo	Unidade	Consumo (L.d <sup>-1</sup> )
Alojamento provisório	Pessoa	80
Apartamento de padrão luxo	Pessoa	300
Apartamentos de padrão médio	Pessoa	250
Escolas – externatos	Pessoa	50
Escolas – internatos	Pessoa	150
Residência de padrão médio	Pessoa	250
Residência de padrão luxo	Pessoa	300
Residência popular	Pessoa	150

Fonte: ALEM SOBRINHO; CONTRERA (2016)

De acordo com Pinheiro (2022), para o CCTA pode-se adotar 24 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, porém, com propósito de garantir segurança, optou-se como consumo efetivo *per capita* um valor de 30 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Assim, por meio das Equações 3, 4 e 5 respectivamente, calculou-se as vazões mínima, média e máxima de projeto (VON SPERLING, 2014; JORDÃO; PESSOA, 2014).

$$Q_{min} = \frac{C \cdot K_3 \cdot P \cdot q_e}{86400} \quad (3)$$

$$Q_{min} = \frac{0,8 \cdot 0,5 \cdot 560 \cdot 30}{86400}$$

$$Q_{min} = 0,08 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{méd} = \frac{C \cdot P \cdot q_e}{86400} \quad (4)$$

$$Q_{méd} = \frac{0,8 \cdot 560 \cdot 30}{86400}$$

$$Q_{méd} = 0,16 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{máx} = \frac{C \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot P \cdot q_e}{86400} \quad (5)$$

$$Q_{máx} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 560 \cdot 30}{86400}$$

$$Q_{máx} = 0,28 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

Em que:

$Q_{min}$  = Vazão mínima (L.s<sup>-1</sup>);

$Q_{méd}$  = Vazão média (L.s<sup>-1</sup>);

$Q_{\text{máx}}$  = Vazão máxima ( $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ );

$C$  = Coeficiente de retorno;

$K_1$  = Coeficiente de máxima vazão diária;

$K_2$  = Coeficiente de máxima vazão horária;

$K_3$  = Coeficiente de mínima vazão horária;

$P$  = população de projeto (hab).

$q_e$  = Consumo efetivo per capita de água ( $\text{L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ).

Ao aplicar os valores da Tabela 8 e um consumo efetivo *per capita* de  $30 \text{ L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  nas equações 3, 4 e 5, tem-se que as vazões mínima, média e máxima foram de 0,08, 0,16 e  $0,28 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , de modo respectivo.

## 5.2. Dimensionamento da caixa de gordura

Uma única unidade do SARA é suficiente para atender a Central de aulas II. Portanto, em virtude das características do esgoto gerado nesse local, não se faz necessário utilizar uma caixa de gordura no referido sistema de tratamento.

## 5.3. Dimensionamento do tanque séptico

O tanque de equalização no sistema SARA pode ser substituído pelo tanque séptico, dessa forma, o seu volume útil pode ser calculado pela Equação 6, como recomendado pela NBR 7229 (ABNT, 1993).

$$V = 1000 + N(CT + KLf) \quad (6)$$

Em que:

$V$  = Volume útil (L);

$N$  = Número de pessoas ou unidades de contribuição (hab);

$C$  = Contribuição de despejos ( $\text{L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ );

$T$  = Período de detenção (d);

$K$  = Taxa de acumulação de lodo digerido (d);

$L_f$  = Contribuição de lodo fresco ( $\text{L}\cdot\text{hab}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ).

Para o número de pessoas (N) foi considerada a capacidade máxima das salas de aulas da Central II, ou seja, 560 alunos. Para o valor da contribuição de despejos (C) adotou-se 50 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, conforme a Tabela 2. Porém, cabe salientar que, o tanque séptico receberá as águas residuárias das bacias sanitárias e lavatórios de mãos, e, segundo Pinheiro (2022), pode-se considerar para o CCTA um consumo diário de água por descarga sanitária de 24 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> durante a semana. Para fins de segurança e visando atender os lavatórios, adotou-se como contribuição de despejos um valor de 30 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

O tempo de detenção (T) foi de 0,50 dias (ver Tabela 3), tendo em vista que, a contribuição diária total ultrapassa 9000 litros. Quanto a taxa de acumulação de lodo (K) o valor adotado foi de 97 (ver Tabela 4), considerando um intervalo de limpeza de 2 anos e uma contribuição de lodo fresco (Lf) de 0,12 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, adotou-se esse valor proporcional a 50 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> ter um Lf de 0,20 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Substituindo os valores na Equação 6:

$$V = 1000 + 560(30 \times 0,50 + 97 \times 0,12)$$
$$V = 15918,4 \text{ Litros} = 15,92 \text{ m}^3$$

Adotou-se, portanto, seguindo recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993), uma fossa séptica com geometria cilíndrica de câmara única, com dimensões mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 - Dimensões do tanque de equalização

Geometria	Volume	Diâmetro interno	Profundidade
Cilíndrica	15918,4 L	1,10 m	1,80 m

Fonte: ABNT (1993)

A NBR 7229 (ABNT, 1993) afirma que uma fossa séptica de formato cilíndrica deve possuir no mínimo um diâmetro de 1,10 metros, além disso, adotou-se a profundidade de 1,80 metros, baseado na Tabela 5 que define valores de profundidades mínimas e máximas a depender do volume do tanque séptico.

Apesar do tanque séptico ter sido dimensionado nesta pesquisa, no CCTA/UFCEG já existem essa unidade de tratamento. Na Central de Aulas II, dispõe de um tanque séptico com volume de 21,48 m<sup>3</sup>, podendo ser aproveitado, reduzindo, assim, os custos de implementação deste projeto.

#### 5.4. Dimensionamento do Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB)

O dimensionamento do reator UASB foi baseado nas recomendações da NBR 12209 (ABNT, 2011), Chernicharo (2016), Mayer *et al.* (2020;2021) e Santos (2018).

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), o tempo de detenção hidráulica (TDH) do reator, depende da temperatura média do esgoto no mês mais frio do ano, como demonstra a Tabela 11.

Tabela 11 - Tempo de detenção hidráulica do Reator UASB

TDH (h)	Temperatura do esgoto (°C)
6	Superior a 25
7	Entre 22 e 25
8	Entre 18 e 21
10	Entre 15 e 17

Fonte: ABNT (2011)

Diante do exposto, a Figura 7 ilustra a temperatura média do município de Pombal – PB, baseados a partir de uma série de dados observados de 30 anos.

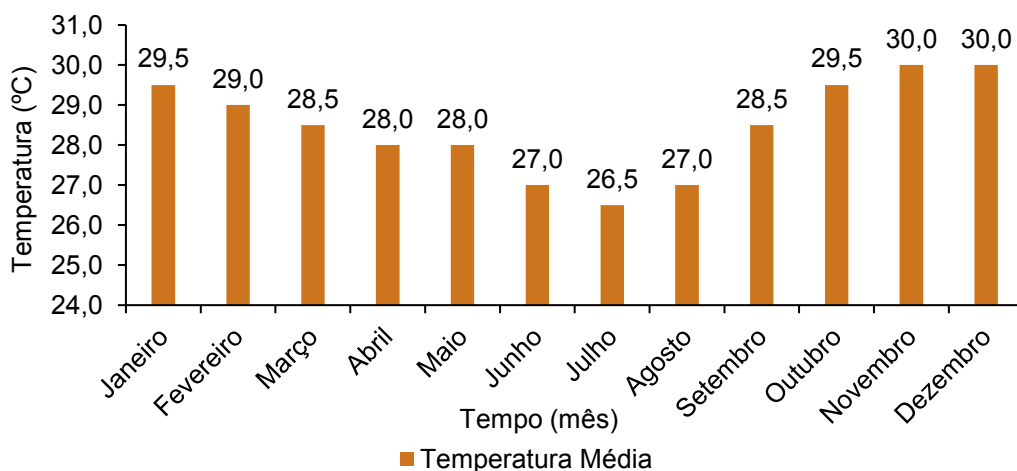


Figura 7 - Temperatura média do município de Pombal - PB. (Fonte: Adaptado de Clima Tempo, 2022)

Como a temperatura média em Pombal-PB (Figura 7), no mês mais frio, é superior a 25 °C, logo, o TDH adotado para o reator UASB foi de 6 horas (Tabela 11). Cabe mencionar que, no CCTA/UFCG, não existe sistemas de tanques sépticos, e, sim, apenas unidades desses tanques, que após atingirem suas capacidades máximas devem ser limpos por meio de caminhões limpa fossa.

Diante disso, cerca de 1 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> dos esgotos armazenados nos tanques sépticos deverão ser conduzidos para o sistema de tratamento SARA (Reator UASB + lagoas de polimento), com a finalidade de aplicar um pós-tratamento para esse efluente e utilizar o efluente tratado em espécies vegetais empregadas na arborização e nos experimentos de campo desenvolvidos no *campus* estudado.

Para o dimensionamento do reator UASB em escala unifamiliar ou institucional, alguns dos parâmetros básicos de projeto são adotados baseando-se em experiências práticas e na teoria especializada (SANTOS *et al.*, 2018) (MAYER *et al.*, 2020, 2021). Diante disso, considerando que a vazão máxima a ser tratada no reator seja de 1 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>, apresenta-se, na Tabela 12, os valores recomendados para o volume do reator, altura total, diâmetro da zona de digestão e sedimentação.

Tabela 12 - Parâmetros básicos para o dimensionamento do reator UASB com geometria diferenciada

Vazão máxima a ser tratada	Volume	TDH	Altura total	Diâmetro da zona de digestão	Diâmetro da zona de sedimentação
1 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	0,25 m <sup>3</sup>	6 horas	1,50 m	0,40 m	0,70 m

Fonte: Santos *et al.* (2018)

Outros parâmetros são calculados a partir da escolha dos parâmetros básicos, entre os principais, a área das zonas de digestão e sedimentação e a velocidade ascendente do efluente nas zonas dos reatores. As áreas das zonas de digestão e sedimentação foram calculadas baseando-se em uma geometria da base circular, como mostrado nas Equações 7 e 8.

$$A_{di} = \frac{\pi d_{di}^2}{4} \quad (7)$$

$$A_{di} = \frac{\pi 0,4^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

Em que:

$A_{di}$  = Área da zona de digestão ( $m^2$ );

$d_{di}$  = Diâmetro da zona de digestão (m).

$$A_{se} = \frac{\pi d_{se}^2}{4} \quad (8)$$

$$A_{se} = \frac{\pi d_{se}^2}{4} = \frac{\pi 0,7^2}{4} = 0,385 \text{ m}^2$$

Em que:

$A_{se}$  = Área da zona de sedimentação ( $m^2$ );

$d_{se}$  = Diâmetro da zona de sedimentação (m).

A velocidade ascendente do efluente, para cada zona, foi calculada através das Equação 9 e 10. Para isso, foi necessário transformar a vazão máxima de  $m^3 \cdot d^{-1}$  para  $m^3 \cdot h^{-1}$ , dividindo  $1 m^3 \cdot d^{-1}$  por 24 horas.

$$v_{di} = \frac{Q_a}{A_{di}} \quad (9)$$

$$v_{di} = \frac{1}{0,126 \cdot 24} = 0,33 \text{ m} \cdot h^{-1}$$

$$v_{se} = \frac{Q_a}{A_{se}} \quad (10)$$

$$v_{se} = \frac{1}{0,385 \cdot 24} = 0,11 \text{ m} \cdot h^{-1}$$

Em que:

$v_{di}$  = Velocidade ascensional da zona de digestão ( $m \cdot h^{-1}$ );

$v_{se}$  = Velocidade ascensional da zona de sedimentação ( $m \cdot h^{-1}$ );

$Q_a$  = Vazão máxima a ser tratada ( $m^3 \cdot h^{-1}$ );

$A$  = área da zona de digestão ou sedimentação ( $m^2$ ).



Na Tabela 13, apresentam-se alguns parâmetros da zona de sedimentação, como a área, velocidade, altura e volume.

Tabela 13 - Parâmetros da zona de sedimentação do reator UASB

Área de sedimentação	Velocidade da zona de sedimentação	Altura da zona de sedimentação	Volume
0,385 m	0,11 m.h <sup>-1</sup>	0,225 m	0,065 m <sup>3</sup>

Fonte: Santos *et al.* (2018)

Logo, a carga afluyente média de DQO que chegará ao reator UASB foi calculada por meio da Equação 11.

$$L_{0-UASB-DQO} = S_{0,DQO} \cdot Q_{méd} \quad (11)$$

Em que:

$L_{0-UASB-DQO}$  = Carga afluyente média de DQO (g.d<sup>-1</sup>);

$S_{0,DQO}$  = Concentração média de DQO afluyente ao reator (g.m<sup>-3</sup>).

$Q_{méd}$  = Vazão média (m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>).

De acordo com Jordão e Pessoa (2014), a  $S_{0,DQO}$  nos esgotos domésticos varia de 200 a 800 mg.L<sup>-1</sup> e de acordo com a NBR 13969 (ABNT, 1997), cerca de 40% de DQO é removida já no tanque séptico. Adotando-se como sendo 500 mg.L<sup>-1</sup> a concentração média de DQO no esgoto bruto, e esperando uma remoção de 40% no tanque séptico, a concentração média afluyente ao reator UASB é de 200 mg.L<sup>-1</sup>, e substituindo na Equação 11, tem-se que a carga média de DQO afluyente ao reator UASB será de 200 g.d<sup>-1</sup> ou 0,20 Kg.d<sup>-1</sup>.

$$L_{0-UASB-DQO} = 200 \frac{g}{m^3} \cdot 1 \frac{m^3}{d}$$

$$L_{0-UASB-DQO} = 200 \frac{g}{d} = 0,20 \frac{Kg}{d}$$

Quanto ao volume do reator UASB, este foi dado pela Equação 12:

$$\begin{aligned}V_r &= Q_{méd} \cdot TDH \\V_r &= 0,0417 \left( \frac{m^3}{h} \right) \cdot 6h \\V_r &= 0,25 m^3\end{aligned} \tag{12}$$

Em que:

$V_r$  = Volume do reator ( $m^3$ );

$Q_{méd}$  = Vazão média de projeto ( $m^3 \cdot h^{-1}$ );

TDH = Tempo de detenção hidráulica (h).

Depois disso, a Carga Hidráulica Volumétrica (CHV) e a Carga Orgânica Volumétrica (COV) foram determinadas e verificadas utilizando as Equações 13 e 14, respectivamente.

$$CHV = \frac{Q_{méd}}{V_r} \tag{13}$$

$$CHV = \frac{1 \left( \frac{m^3}{d} \right)}{0,25 m^3}$$

$$CHV = 4 m^3 \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$$

$$COV = \frac{Q_{méd} \cdot S_{0,DQO}}{V_r} \tag{14}$$

$$COV = \frac{1 \left( \frac{m^3}{d} \right) \cdot 0,2 \left( \frac{KgDQO}{m^3} \right)}{0,25 m^3}$$

$$COV = 0,8 KgDQO \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$$

Em que:

CHV = Carga hidráulica volumétrica ( $m^3 \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ );

$Q_{\text{méd}}$  = Vazão média de projeto ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );

$V_r$  = Volume do reator ( $\text{m}^3$ ).

COV = Carga orgânica volumetria ( $\text{KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ );

$Q_{\text{méd}}$  = Vazão média de projeto ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );

$S_{0,\text{DQO}}$  = Concentração média de DQO afluente ao reator ( $\text{KgDQO} \cdot \text{m}^{-3}$ )

Por meio das Equações 15 e 16, estimou-se a eficiência de remoção de  $\text{DBO}_5$  e DQO no reator UASB.

$$E_{\text{DBO}} = 100 \cdot (1 - 0,70 \cdot \text{TDH}^{-0,50}) \quad (15)$$

$$E_{\text{DBO}} = 100 \cdot (1 - 0,70 \cdot 6^{-0,50})$$
$$E_{\text{DBO}} = 71,42\%$$

$$E_{\text{DQO}} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot \text{TDH}^{-0,35}) \quad (16)$$

$$E_{\text{DQO}} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot 6^{-0,35})$$
$$E_{\text{DQO}} = 63,68\%$$

Em que:

$E_{\text{DBO}}$  = Estimativa da eficiência da remoção de DBO (%);

$E_{\text{DQO}}$  = Estimativa da eficiência da remoção de DQO (%);

TDH = Tempo de detenção hidráulica.

Após estimar a eficiência do reator, pode-se determinar a concentração esperada de DBO e DQO no efluente pós reator, dadas nas Equações 17 e 18. Considerando uma concentração inicial média de  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de DQO, e uma concentração de  $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de DBO (VON SPERLING, 2014). Entretanto, segundo a NBR 13969 (ABNT, 1997) considera-se que 40% de DBO é removido ainda no tanque séptico, logo, adotou-se  $120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

$$S_{f,\text{DQO}} = S_{0,\text{DQO}} - \frac{E_{\text{DQO}} \cdot S_{0,\text{DQO}}}{100} \quad (17)$$

Em que:

$S_{f,\text{DQO}}$  = Estimativa da concentração final de DQO ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );

$S_{0,DQO}$  = Concentração inicial média adotada de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  
 $E_{DQO}$  = Estimativa da eficiência de remoção de DQO (%).

$$S_{f,DQO} = 200 - \frac{63,68 \cdot 200}{100}$$
$$S_{f,DQO} = 72,64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$S_{f,DBO} = S_{0,DBO} - \frac{E_{DBO} \cdot S_{0,DBO}}{100} \quad (18)$$

Em que:

$S_{f,DBO}$  = Estimativa da concentração final de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  
 $S_{0,DBO}$  = Concentração inicial média adotada de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  
 $E_{DBO}$  = Estimativa da eficiência de remoção de DBO (%).

$$S_{f,DBO} = 120 - \frac{71,42 \cdot 120}{100}$$
$$S_{f,DBO} = 34,30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

Outro fator importante para o dimensionamento do reator UASB é a estimativa da produção de biogás, para tal, calcula-se a carga de DQO que é convertida em metano ( $\text{CH}_4$ ) (Equação 19), também como, a produção volumétrica de metano (Equação 20) e o fator de correção para a temperatura (Equação 21,) para posteriormente calcular a estimativa da produção total de biogás (Equação 22).

$$DQO_{CH_4} = Q_{\text{méd}} \cdot [(S_{0,DQO} - S_f) - (Y_{\text{obs}} - S_{0,DQO})] \quad (19)$$

Onde:

$DQO_{CH_4}$  = Carga de DQO convertida em metano ( $\text{KgDQO}_{CH_4} \cdot \text{d}^{-1}$ );  
 $Q_{\text{méd}}$  = Vazão média ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );  
 $S_{0,DQO}$  = Concentração inicial média adotada de DQO ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ );  
 $S_f$  = Estimativa da concentração final de DQO ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ );  
 $Y_{\text{obs}}$  = Coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO.

Segundo Chernicharo (2016), o valor de  $Y_{obs}$  varia entre 0,11 a 0,23  $KgDQO_{LODO} \cdot (KgDQO_{APLICADO})^{-1}$ , adotou-se a média de 0,17.

$$DQO_{CH_4} = 1 \cdot [(0,2 - 0,07264) - (0,17 - 0,2)]$$
$$DQO_{CH_4} = 0,1574 \text{ KgDQO}_{CH_4} \cdot d^{-1}$$

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} \quad (20)$$

Em que:

$Q_{CH_4}$  = Produção volumétrica de metano ( $m^3 \cdot d^{-1}$ );

$DQO_{CH_4}$  = Carga de DQO convertida em metano ( $KgDQO_{CH_4} \cdot d^{-1}$ );

$f(T)$  = Fator de correção para a temperatura operacional do reator ( $KgDQO \cdot m^{-3}$ ).

$$f(T) = \frac{P \cdot K}{[R \cdot (273 + T)]} \quad (21)$$

Em que:

P = Pressão atmosférica;

K = DQO correspondente a 1 mol de  $CH_4$ ;

R = Constante dos gases;

T = Temperatura operacional do reator.

Sendo P igual a 1 atm, K igual a 64  $gDQO \cdot m^{-3}$ , R com valor de 0,08206  $atm \cdot L \cdot (mol \cdot ^\circ K)^{-1}$  e para valor de T, adotou-se o valor médio de 25  $^\circ C$ .

$$f(T) = \frac{1 \cdot 64}{[0,08206 \cdot (273 + 25)]}$$

$$f(T) = 2,6172 \text{ KgDQO} \cdot m^{-3}$$

Com o fator de correção, calculou-se a produção volumétrica de metano.

$$Q_{CH_4} = \frac{0,1574}{2,6172}$$

$$Q_{CH_4} = 0,0601 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

De acordo com Chernicharo (2016), a concentração de metano no biogás ( $C_{CH_4}$ ) é de cerca de 70 a 80%, sendo assim, adotando como sendo 75% e com os valores da produção volumétrica de metano, verificou-se a estimativa da produção total de biogás, através da Equação 22.

$$Q_{BIOGÁS} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}/100} \quad (22)$$

Em que:

$Q_{biogás}$  = Estimativa da produção total de biogás ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );

$Q_{CH_4}$  = Produção volumétrica de metano ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );

$C_{CH_4}$  = Concentração de metano no biogás (%).

$$Q_{BIOGÁS} = \frac{0,0601}{75/100}$$

$$Q_{BIOGÁS} = 0,0801 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

De modo geral, na Tabela 14, encontra-se apresentado um resumo dos valores adotados e calculados para o reator UASB

Tabela 14 - Tabela Resumo dos valores adotados e calculados para o reator UASB

Parâmetros	Valores	Unidade
Vazão máxima a ser tratada	1	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
Volume	0,25	$\text{m}^3$
TDH	6	h
Altura total	1,50	m
Diâmetro da zona de digestão	0,40	m
Diâmetro da zona de sedimentação	0,70	m
Área da zona de digestão	0,126	$\text{m}^2$
Área da zona de sedimentação	0,385	$\text{m}^2$
Velocidade da zona de digestão	0,33	$\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$

---

Velocidade da zona de sedimentação	0,11	m.h <sup>-1</sup>
------------------------------------	------	-------------------

---

Fonte: Autor (2022)

### 5.5. Dimensionamento das lagoas de Polimento

O dimensionamento das lagoas de polimento foi baseado em Cavalcanti (2009), Von Sperling (2019) e Jordão e Pessoa (2014).

Inicialmente definiu-se duas lagoas de polimento em série para o projeto, além disso, Jordão e Pessoa (2014) consideram um TDH de 7 dias como sendo um tempo satisfatório para cada lagoa. Para a profundidade das lagoas ( $H_{LP}$ ), Von Sperling (2019) recomenda valores entre 0,80 e 1,00 metros.

Para o dimensionamento, calculou-se o Volume total e Área total das lagoas de polimento seguindo as Equação 23 e 24, respectivamente.

$$V_{LP} = Q_{méd} \cdot TDH \quad (23)$$

$$V_{LP} = 1 \cdot 7$$

$$V_{LP} = 7 \text{ m}^3$$

Em que:

$V_{LP}$  = Volume total das lagoas de polimento ( $\text{m}^3$ );

$Q_{méd}$  = Vazão média de projeto ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );

TDH = Tempo de detenção hidráulica (d).

$$A_{LP} = \frac{V_{LP}}{H_{LP}} \quad (24)$$

$$A_{LP} = \frac{7}{1}$$

$$A_{LP} = 7 \text{ m}^2$$

Em que:

$A_{LP}$  = Área total das lagoas de polimento ( $\text{m}^2$ );

$H_{LP}$  = Profundidade das lagoas de polimento (m).

Para calcular a área necessária em cada lagoa de polimento, dividiu-se a área total pelo número de lagoas, verifica-se na Equação 25.

$$A_{CLP} = \frac{A_{LP}}{N} \quad (25)$$

$$A_{CLP} = \frac{7}{2}$$

$$A_{CLP} = 3,50 \text{ m}^2$$

Em que:

$A_{CLP}$  = Área de cada lagoa de polimento ( $\text{m}^2$ );

N = Número de lagoas de polimento.

Outro importante passo no dimensionamento das lagoas de polimento, é o cálculo da estimativa de eficiência na remoção de coliformes termotolerantes (CTT) e de ovos helmintos (OH).

Para a estimativa da eficiência da remoção de CTT, deve-se antes, estimar a concentração de CTT presente no efluente resultante do reator UASB (Equação 26).

$$N_R = N_0 - (N_0 \cdot 0,90) \quad (26)$$

Em que:

$N_R$  = Concentração de CTT no esgoto efluente ao reator UASB ( $\text{CTT} \cdot 100^{-1} \text{ mL}$ );

$N_0$  = Concentração de CTT presente no esgoto bruto ( $\text{CF} \cdot 100^{-1} \text{ mL}$ ).

Segundo Von Sperling (2019), o esgoto bruto possui em média  $1 \times 10^7$   $\text{CTT} \cdot 100^{-1} \text{ mL}$ , além disso, cerca de 90% de CTT, são removidos no reator UASB. Assim, adotando-se esses valores na Equação 26, tem-se uma concentração de CTT no efluente do referido reator de  $1 \cdot 10^6$   $\text{CTT} \cdot 100^{-1} \text{ mL}$ . Esse resultado retrata a importância de implementação das lagoas de polimento no tratamento dos esgotos domésticos.

$$N_R = 1 \cdot 10^7 - (1 \cdot 10^7 \cdot 0,90)$$



$$N_R = 1 \cdot 10^6 \text{ CTT} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$$

Já o decaimento bacteriano, inicialmente, para a temperatura de 20°C, e, em seguida, para a temperatura corrigida, ou seja, a temperatura mais fria no esgoto no local estudado; o número de dispersão; o coeficiente para regime hidráulico disperso; e a concentração de CTT no efluente das lagoas de polimento foram estimados por meio das Equações 27, 28, 29, 30 e 31, de modo respectivo.

Para o cálculo do coeficiente de decaimento bacteriano para a temperatura de 20°C, tem-se:

$$K_{B20} = 0,542 \cdot H_{LP}^{-1,259} \quad (27)$$

$$K_{B20} = 0,542 \cdot 1^{-1,259}$$

$$K_{B20} = 0,542 \text{ d}^{-1}$$

Em que:

$K_{B20}$  = Coeficiente de decaimento bacteriano para a temperatura de 20 °C ( $\text{d}^{-1}$ );

$H_{LP}$  = Profundidade das lagoas de polimento (m).

Ao fazer a correção do coeficiente de decaimento bacteriano, considerando a temperatura do esgoto do mês mais frio em Pombal – PB, conforme apresentado na Figura 7, foi de 26,5°C, além disso, Von Sperling (2019), afirma que, o coeficiente de temperatura deve estar entre o valor de 1,07, ou seja, 7% no aumento de  $K_B$  para o aumento de cada 1°C.

$$K_{BT} = K_{B20} \cdot \theta^{T-20} \quad (28)$$

$$K_{BT} = 0,542 \cdot 1,07^{26,5-20}$$

$$K_{BT} = 0,841 \text{ d}^{-1}$$

Em que:

$K_{BT}$  = Coeficiente de decaimento bacteriano corrigido ( $\text{d}^{-1}$ );

$\theta$  = Coeficiente de temperatura (adimensional);

T = Temperatura do esgoto no mês mais frio (°C).

A contagem de CTT no efluente das lagoas de polimento é estipulado em função do regime hidráulico disperso (VON SPERLING, 2019). Para isso, o comprimento da lagoa de polimento (LLP) e a largura da lagoa de polimento (BLP) de cada lagoa deve satisfazer a relação  $LLP \cdot BLP^{-1}$  igual a 1 para lagoas de formato quadrada, sendo LLP igual a 2 e BLP igual a 2 em metros. Antes do cálculo da concentração de CTT nas lagoas de polimento, calculou-se o número de dispersão (Equação 29) e o coeficiente para regime hidráulico disperso (Equação 30).

$$d = \frac{1}{L_{LP}/B_{LP}} \quad (29)$$

$$d = \frac{1}{1}$$

$$d = 1$$

Em que:

d = Número de dispersão (adimensional);

$L_{LP}$  = Comprimento da lagoa de polimento (m);

$B_{LP}$  = Largura da lagoa de polimento (m).

$$a = \sqrt{1 + (4 \cdot K_{BT} \cdot TDH \cdot d)} \quad (30)$$

$$a = \sqrt{1 + (4 \cdot 0,841 \cdot 7 \cdot 1)}$$

$$a = 4,9546$$

Em que:

a = Coeficiente para regime hidráulico disperso (adimensional);

$K_{BT}$  = Coeficiente de decaimento bacteriano corrigido ( $d^{-1}$ );

TDH = Tempo de detenção hidráulica (d);

d = Número de dispersão (adimensional).

Calculou-se a concentração de CTT efluente às lagoas de polimento, utilizando a Equação 31.

$$N = N_R \cdot \frac{4ae^{TDH/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}} \quad (31)$$

$$N = 1 \cdot 10^6 \cdot \frac{4 \cdot 4,9546 \cdot e^{7/2 \cdot 1}}{(1 + 4,9546)^2 e^{4,9546/2 \cdot 1} - (1 - 4,9546)^2 e^{-4,9546/2 \cdot 1}}$$

$$N = 1,56 \cdot 10^6 \text{ CTT} \cdot 100^{-1} \text{ mL}$$

Em que:

N = Concentração de CTT efluente às lagoas de polimento (CTT.100<sup>-1</sup> mL);

N<sub>R</sub> = Concentração de CTT o esgoto efluente ao reator UASB (CTT.100<sup>-1</sup> mL);

a = Coeficiente para regime hidráulico disperso (adimensional);

TDH = Tempo de detenção hidráulica (d)

d = Número de dispersão (adimensional).

Por conseguinte, as eficiências de remoção de CTT nas lagoas de polimento são calculadas a partir das Equações 32 e 33:

$$E_{CF,LP} = \frac{N - N_R}{N} \cdot 100 \quad (32)$$

$$E_{CF,LP} = \frac{1,56 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6}{1,56 \cdot 10^6} \cdot 100$$

$$E_{CF,LP} = 35,90\%$$

$$E_{CF,UASB+LP} = \frac{N_0 - N}{N_0} \cdot 100 \quad (33)$$

$$E_{CF,UASB+LP} = \frac{1 \cdot 10^7 - 1,56 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^7} \cdot 100$$

$$E_{CF,UASB+LP} = 84,40 \%$$

Em que:

E<sub>CF,LP</sub> = Eficiência da remoção de CTT de cada lagoa de polimento (%);

N = Concentração de CF efluente às lagoas de polimento (CF.100<sup>-1</sup> mL);

$N_R$  = Concentração de CF no esgoto efluente ao reator UASB (CF.100<sup>-1</sup>).  
 $E_{CF,UASB+LP}$  = Eficiência final do sistema na remoção de CTT (%);  
 $N$  = Concentração de CF efluente às lagoas de polimento (CF.100<sup>-1</sup> mL);  
 $N_0$  = Concentração de CF no esgoto bruto (CF.100<sup>-1</sup> mL).

Na remoção de ovos helmintos (OH), segundo Gonçalves (2003), no reator UASB ocorre a remoção em média de 63% a 88%, sendo assim, para o projeto, adotou-se o valor de 65%. Calcula-se por meio da Equação 34, a concentração de ovos helmintos presentes no esgoto após passagem pelo reator UASB.

$$C_{ovos,R} = C_{ovos,0} - (C_{ovos,0} \cdot 0,65) \quad (34)$$

Em que:

$C_{ovos,R}$  = Concentração de ovos no esgoto efluente ao reator UASB (ovos.L<sup>-1</sup>);  
 $C_{ovos,0}$  = Concentração de ovos no esgoto bruto (ovos.L<sup>-1</sup>).

No esgoto bruto, existe em faixa de 1.10<sup>1</sup> a 1.10<sup>3</sup> ovos.L<sup>-1</sup> (VON SPERLING, 2019). Para o projeto adotou-se o valor máximo de 1.10<sup>3</sup> ovos.L<sup>-1</sup>.

$$C_{ovos,R} = 1 \cdot 10^3 - (1 \cdot 10^3 \cdot 0,65)$$
$$C_{ovos,R} = 350 \text{ ovos.L}^{-1}$$

As Equações 35 e 36 apresentam, respectivamente, a eficiência na remoção de ovos helmintos de cada lagoa de polimento e a eficiência global.

$$E_{ovos,LP} = 100 \cdot [1 - 0,41 \cdot e^{(-0,49 \cdot TDH + 0,0085 \cdot TDH^2)}] \quad (35)$$

$$E_{ovos,LP} = 100 \cdot [1 - 0,41 \cdot e^{(-0,49 \cdot 7 + 0,0085 \cdot 7^2)}]$$

$$E_{ovos,LP} = 97,99\%$$

$$E_{globalovos,LP} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{E_{n,ovos}}{100} \right)^n \right] \cdot 100 \quad (36)$$

$$E_{globalovos,LP} = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{97,99}{100} \right)^2 \right] \cdot 100$$

$$E_{globalovos,LP} = 99,96\%$$

Em que:

$E_{ovos,LP}$  = Estimativa da eficiência na remoção de ovos helmintos de cada lagoa de polimento (%);

TDH = Tempo de detenção hidráulica em cada lagoa de polimento (d).

$E_{globalovos,LP}$  = Eficiência global na remoção de ovos helmintos em cada lagoa de polimento (%);

$E_{n,ovos}$  = Eficiência na remoção de ovos helmintos em cada lagoa da série (%);

n = número de lagoas em série.

Calcula-se a concentração efluente de ovos helmintos às lagoas de polimento, através da Equação 37.

$$C = C_{ovos,R} \cdot \left( 1 - \frac{E_{globalovos,LP}}{100} \right) \quad (37)$$

$$C = 350 \cdot \left( 1 - \frac{99,96}{100} \right)$$

$$C = 0,14 \text{ ovos} \cdot L^{-1}$$

Em que:

C = Concentração de OH efluentes às lagoas de polimento (ovos.L<sup>-1</sup>);

$C_{ovos,R}$  = Concentração de OH no esgoto efluente ao reator UASB (ovos.L<sup>-1</sup>).

De maneira resumida, na Tabela 15, tem-se um resumo dos valores adotados e calculados para as lagoas de polimento deste projeto.

Tabela 15 - Tabela Resumo dos valores adotados e calculados para as lagoas de polimento

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidade</b>
Volume Total	7	m <sup>3</sup>
Área de cada lagoa	3,5	m <sup>2</sup>
Profundidade	1	m
TDH	7	d
Comprimento	2	m
Largura	2	m

Fonte: Autor (2022)

Os anexos C, D, E, F e G, apresentam o projeto desenvolvido do SARA no *campus*, sendo, respectivamente, a planta baixa do SARA, Corte A, Corte B, Perspectiva e o quantitativo de materiais necessários para a sua construção.

## REFERÊNCIAS

- ALEN SOBRINHO, P.; CONTRERA, R.C. Reservatórios. Apresentação da disciplina Saneamento II. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2016.
- ABNT **NBR 5688: Tubos e conexões de PVC-U para sistemas prediais de água pluvial, esgoto sanitário e ventilação - Requisitos**. Rio de Janeiro. 2018.
- ABNT **NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução**. Rio de Janeiro. 1999.
- ABNT **NBR 7229: Projeto, Construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro. 1993.
- ABNT **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitária**. Rio de Janeiro. 1986.
- ABNT **NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitários**. Rio de Janeiro. 2011.
- ABNT **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro. 1997.
- BRASIL. Resolução nº 430/11, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, 13 de maio de 2011.
- BRASIL. Lei nº 11.445, Presidência da República, Brasília, 05 de janeiro de 2007.
- BRASIL. Lei nº 14.026, Presidência da República, Brasília, 15 de julho de 2020.
- CAVALCANTI, Paula F. F. **Aplicação de Reatores UASB e Lagoas de Polimento no Tratamento de Esgoto Doméstico**. João Pessoa, PB: Gráfica Santa Marta, 2009. 172 p.
- CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbicos**. 2ª ed. ampliada e atualizada. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 2016, v. 5, 379 p.
- CLIMATEMPO. **Climatologia em Pombal, BR**. 2022. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/1234/pombal-pb>. Acesso em: 23 set. 2022.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgoto de Esgotos Domésticos**. 6º ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgoto de Esgotos Domésticos**. 7º ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.
- LANGANK. **Conservação para o ensino médio – Eutrofização**. 2020. Disponível em: [http://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/des\\_eutro.htm](http://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/des_eutro.htm). Acesso em: 04

de out. de 2022.

PINHEIRO, L. **Dimensionamento de sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis: um estudo de caso**. 82 fls. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2022.

MAYER, M. C. *et al.* Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro. **Reengenharia de Lagoas de Estabilização**, [S.L.], v. 69, n. 229, p. 104-114, 15 fev. 2021. Revista DAE.

MAYER, M. C. *et al.* Tecnologia de tratamento de esgoto: uma alternativa de saneamento básico rural e produção de água para reúso agrícola no Semiárido Brasileiro. **Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a sustentabilidade no Brasil**. p. 103-112, 2020.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. New York. McGraw Hill. 2016. (McGraw-hill series in water resources and environmental engineering).

NUCASE. **Processos de Tratamento de esgoto: guia do profissional em treinamento**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília – DF, 2008. 72 p.

SANTOS, Silvânia Lucas dos *et al.* Projeto de otimização de sistemas anaeróbios para tratamento de esgoto em escala unifamiliar. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 6, p. 1213-1225, dez. 2018.

SANTOS, Silvânia Lucas dos. **Influências da geometria de reatores UASB em escala unifamiliar sobre seu desempenho no tratamento de esgoto**. 2016. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande - Pb, 2016.

SNIS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**. Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília - DF, 2021. 223 p.

TONETTI, Adriano Luiz *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para a escolha de soluções. Campinas, Sp: Biblioteca/Unicamp, 2018.

VAN HAANDEL, A. C; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

VAN HAANDEL, Adrianus; SANTOS, Silvânia Lucas dos; PAIVA, Francisco Vieira. Aplicação do sistema UASB-lagoas de polimento para o tratamento de esgoto visando ao reúso agrícola ou industrial ou à proteção de recursos hídricos. **Reengenharia de Lagoas de Estabilização**, [S.L.], v. 69, n. 229, p. 173-191, 15 fev. 2021. Revista DAE.



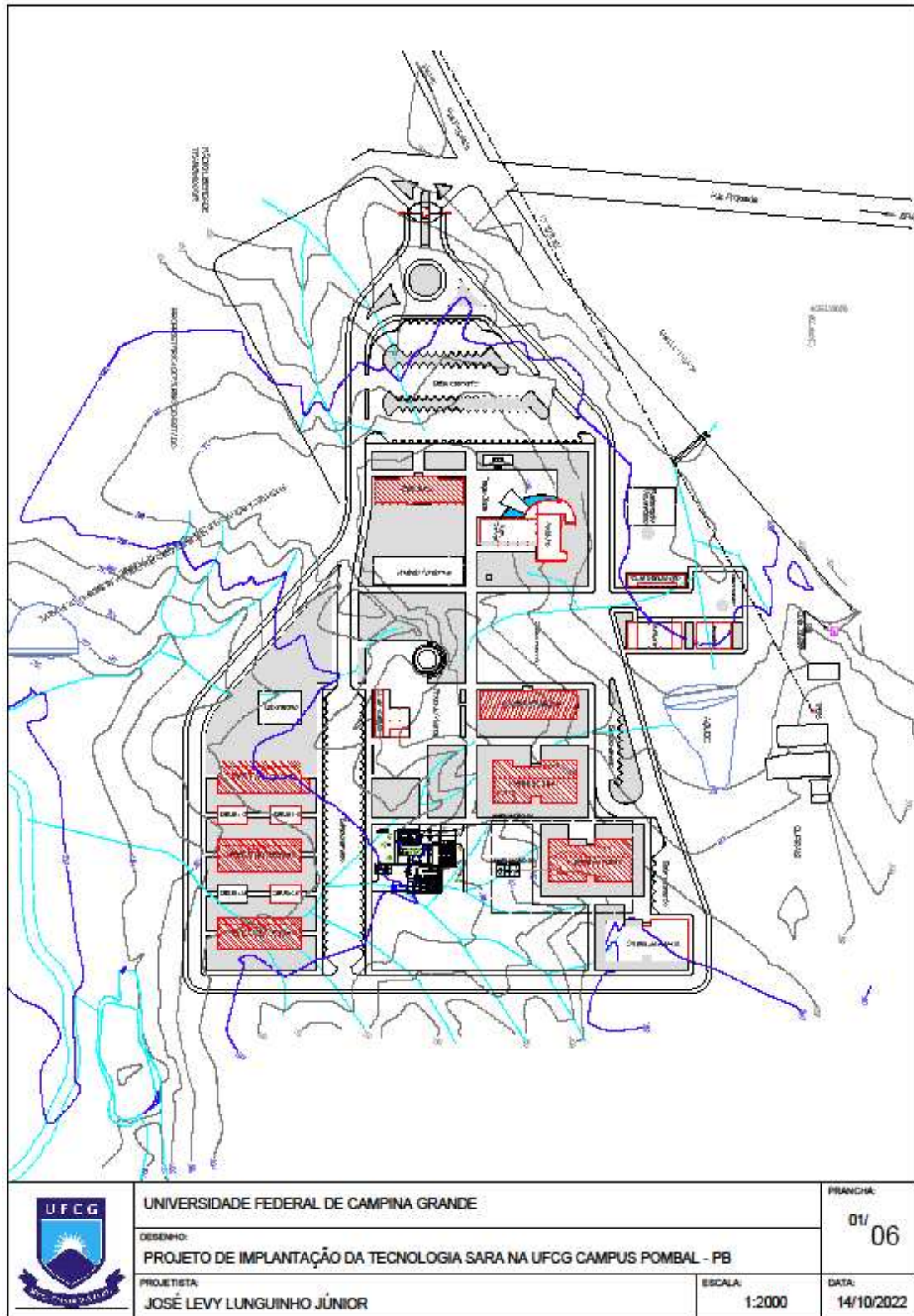
VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Ed. DESA/UFMG, 2014, 452 p.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2017.

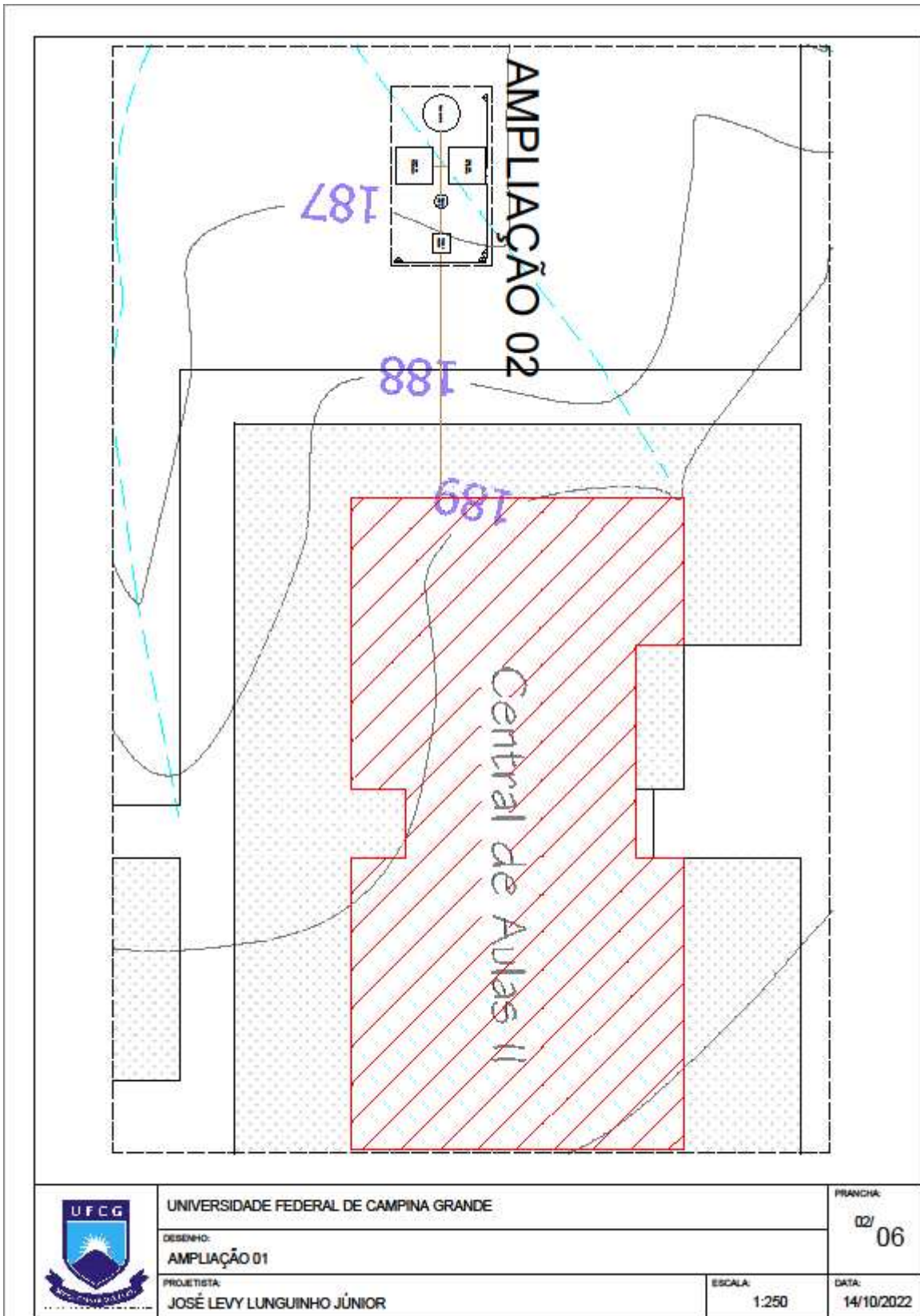
VON SPERLING, M.; JORDÃO, E.P.; KATO, M.T.; ALEM SOBRINHO, P.; BASTOS, R.K.X.; PIVELI, R. Capítulo 7: **Lagoas de estabilização**. In: Gonçalves, R.F. (coord) Desinfecção de efluentes sanitário. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP. 2003.

## ANEXOS

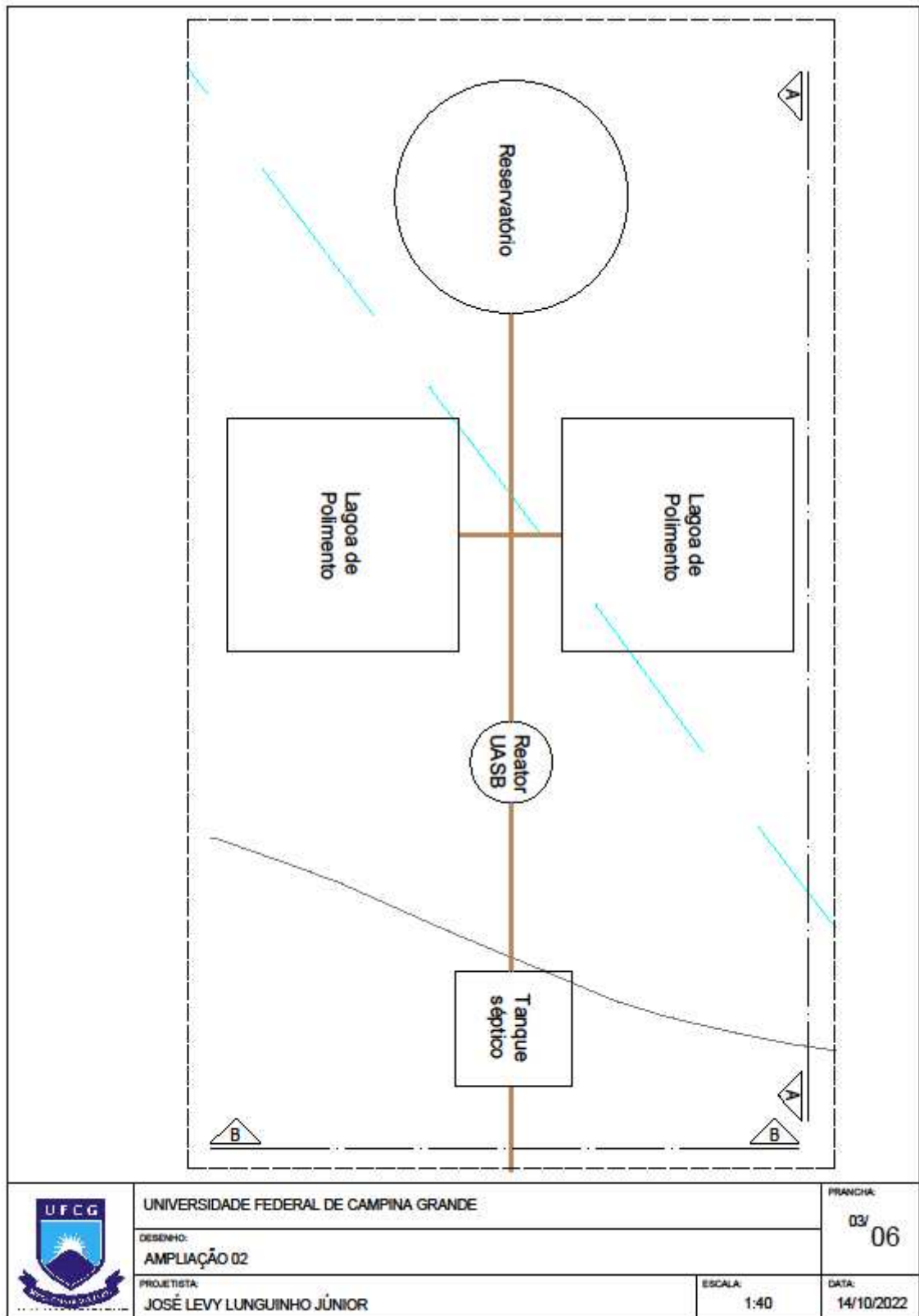
### ANEXO A – Planta baixa do CCTA/UFCG. (Planta não atualizada do *campus*)



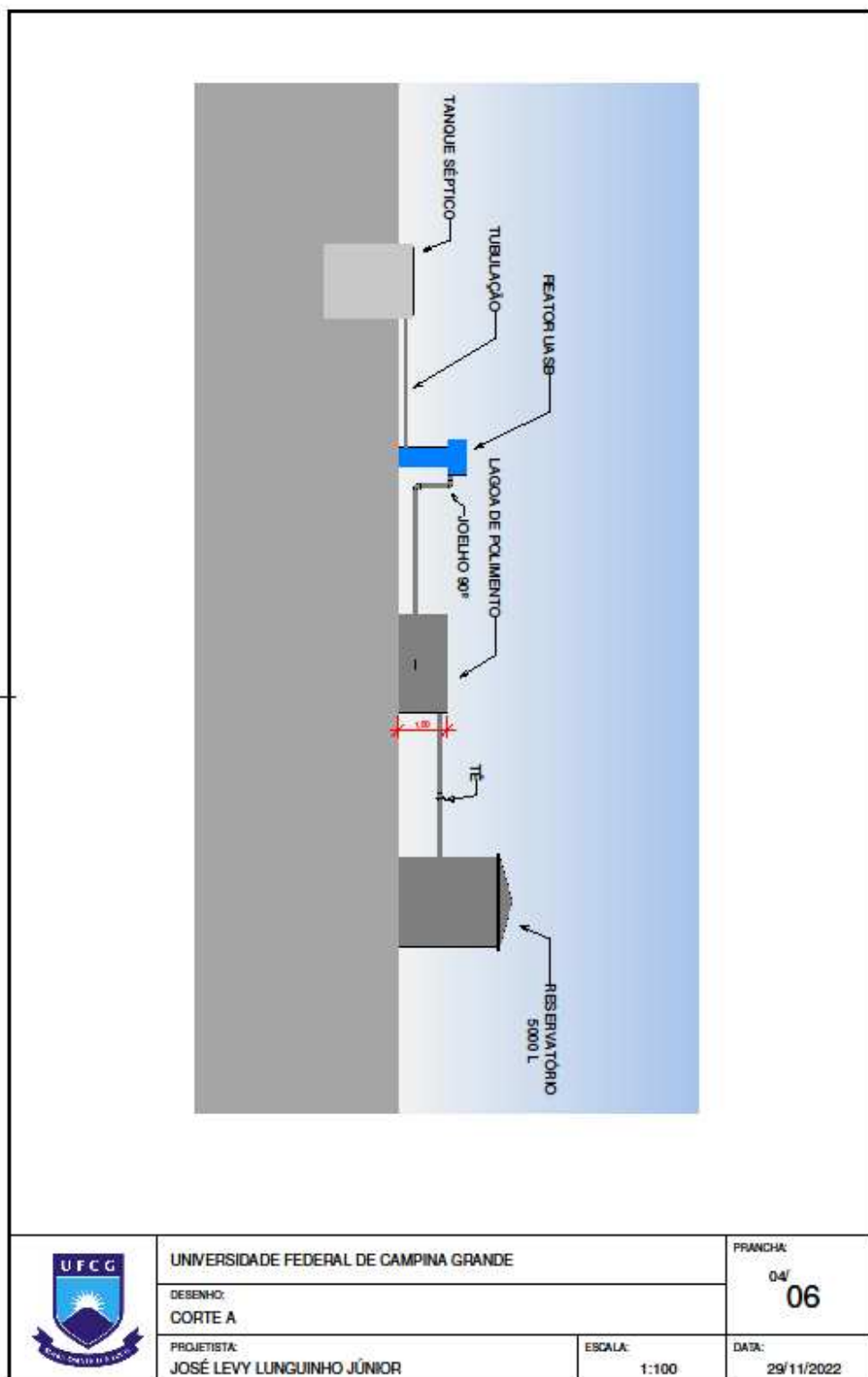
## ANEXO B – Ampliação 01 – Planta Baixa Central de Aulas II.



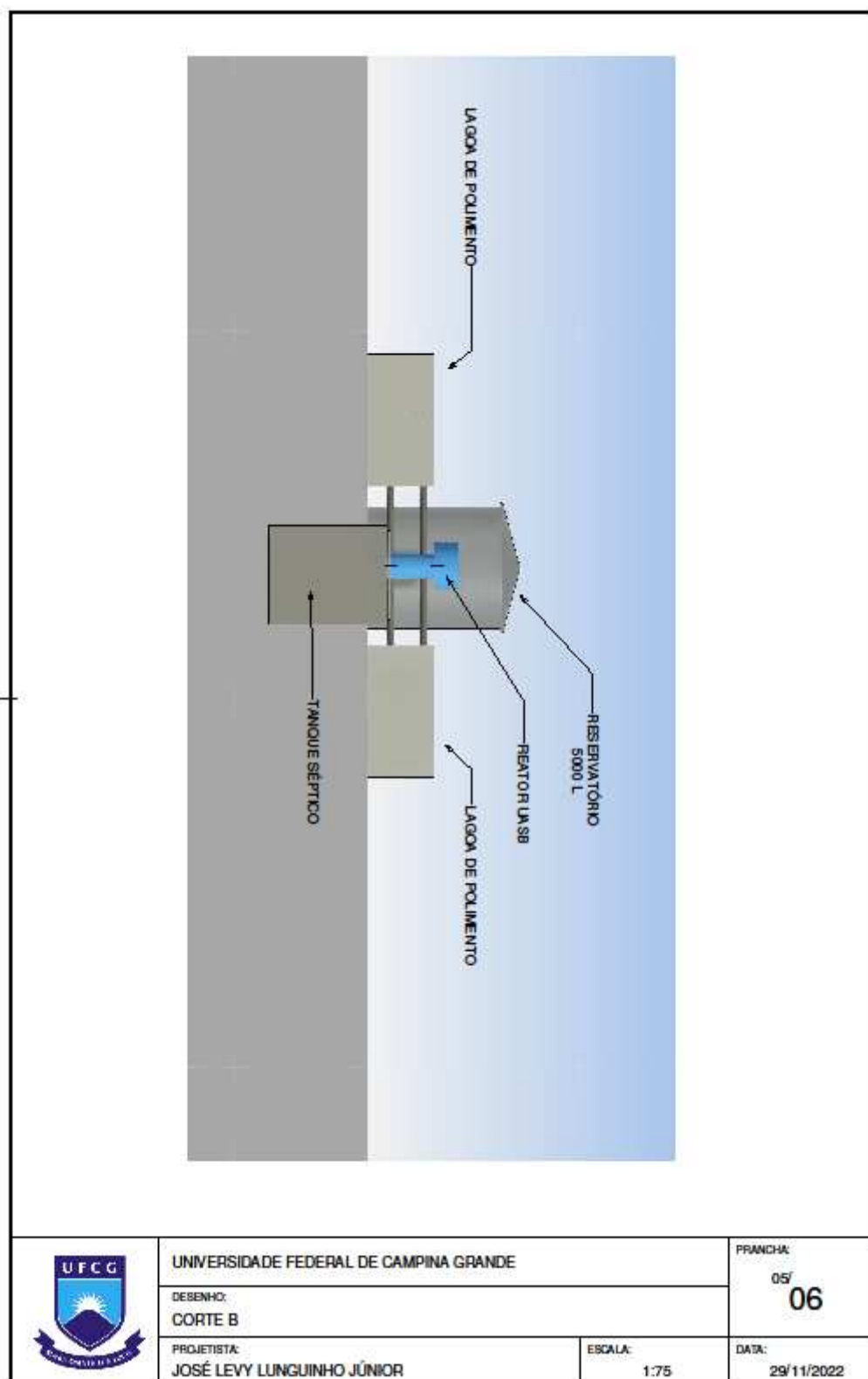
ANEXO C – Ampliação 02 – Planta baixa do SARA.



ANEXO D – Corte A.

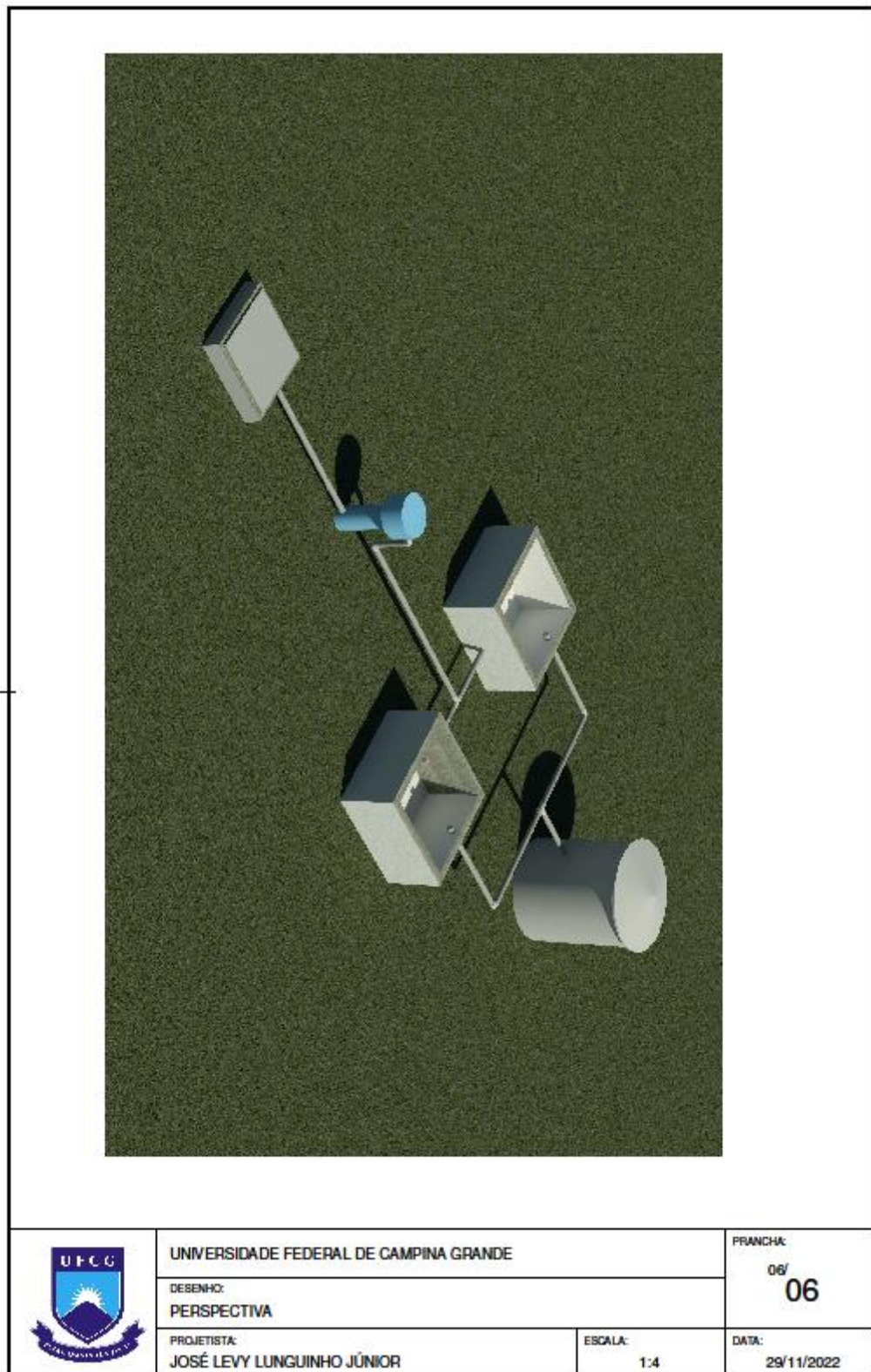


ANEXO E – Corte B.





ANEXO F – Perspectiva.



ANEXO G – Quantitativo de materiais para a construção do SARA no CCTA/UFMG.

ITEM	QTD	UNID	DESCRIÇÃO
1	53	Unid.	Cimento Portland composto CP II-32
2	3	Und.	Impermeabilizante de 18 Kg
3	15	Vara	Tubo PVC 100 MM com junta elástica (vara 6 m)
4	1	Und.	Te 100 mm
5	2	Und.	Curva 90° de 100 mm
6	2	Und.	CAP PVC de 100 mm
7	4	Und.	Joelho 90° de 100 mm
8	1	Und.	Registro de esfera 50 mm
9	1	Und.	Registro de esfera 100 mm
10	1	Und.	Fita veda rosca 18 mm x 50 mm
11	1	Und.	Cola adesivo PVC 175 g
12	20	Vergalhão	Aço CA-50, ¼ 6.3 mm
13	1	peça	Malha Pop. 20x20 – 3.4 mm peça 15 m <sup>2</sup>
14	2	Kg	Arame recozido n°. 18