



RICARDO FERREIRA PERDIGÃO

**DIAGNÓSTICO DA IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE DE
TRATAMENTO DE RESÍDUOS PARA O SISTEMA DE
ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUA DE
LAVRAS/MG**

**LAVRAS-MG
2022**

RICARDO FERREIRA PERDIGÃO

**DIAGNÓSTICO DA IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE
RESÍDUOS PARA O SISTEMA DE ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE
ÁGUA DE LAVRAS/MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof(a). Dr(a). Camila Silva Franco

Orientadora

Prof(a). Dr(a). Paula Peixoto Assemany

Coorientadora

**LAVRAS-MG
2022**

RICARDO FERREIRA PERDIGÃO

**DIAGNÓSTICO DA IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE
RESÍDUOS PARA O SISTEMA DE ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE
ÁGUA DE LAVRAS/MG**

**DIAGNOSIS OF THE IMPLEMENTATION OF THE WASTE TREATMENT UNIT
FOR THE WATER SUPPLY AND TREATMENT SYSTEM OF LAVRAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 09 de setembro de 2022.
Prof(a). Dr(a). Camila Silva Franco



Prof(a). Dr(a). Camila Silva Franco

Orientadora

**LAVRAS-MG
2022**

Dedico este trabalho à minha mãe, pelo apoio incondicional durante toda essa jornada.

Essa é por você, minha rainha!

AGRADECIMENTOS

Devo tudo à minha família. Primeiramente, agradeço a minha mãe, por ser minha inspiração, minha referência, meu porto seguro, minha melhor amiga. Agradeço ao meu pai, por me ensinar a ser um homem bom e honesto. Às minhas mães de criação, por todo o amparo: minhas avós, Ademilde e Maria Beatriz, minhas tias “Cláudias”, minha madrinha e à Maria da Penha Café, pela presença nos momentos mais importantes da minha vida. Aos meus tios e primos, por todos os conselhos. Aos meus primos, afilhados e irmãos mais novos, obrigado por fazerem com que eu me esforce cada dia mais para ser uma referência para vocês. Ao meu avô, sr. Reinaldo, por ser sempre meu maior ídolo. Vocês são minha base e sempre farei de tudo por vocês.

Agradeço àqueles que permaneceram comigo ao longo de todo este percurso. À Danielle, por me mostrar os verdadeiros significados de amor e companheirismo. À eterna e gloriosa República Cabaré, por serem minha família e ressignificarem esta palavra tão importante para mim. Aos verdadeiros amigos do 2016/2 por todos os momentos ímpares que vivemos ao longo desta caminhada, agradeço principalmente ao meu amigo Gabriel pela vivência compartilhada durante todo este ciclo. Ao meu irmão Cláudio, pela parceria de longa data e, portanto, eterna. Quem tem um amigo, tem tudo.

À cidade de Lavras, por me acolher. Encerro esta etapa com uma tentativa de retribuir este sentimento de gratidão pela cidade, por meio da minha atuação profissional ao longo da graduação, desde a reforma da base operativa e ampliação da agência de atendimento da CEMIG, o acompanhamento da implantação do presente trabalho e atualmente trabalhando na manutenção de redes de água da cidade, pela COPASA. Agradeço por todos os profissionais com quem tive o prazer de atuar e aprender, em especial aos engenheiros Agnaldo e Abdala por me guiarem nesta etapa final.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de viver momentos únicos e me proporcionar o crescimento pessoal e profissional, através de um ensino gratuito e de alta qualidade. Agradeço às minhas orientadoras, Camila e Paula, pela atenção e dedicação em me orientarem na elaboração do presente trabalho.

Agradeço a Deus pela vida e ao meu Santo Anjo, por guiar meu caminho.

“A luta é grande; a tarefa, divina – ganhar o conhecimento, a liberdade, a felicidade e a tranquilidade.”

(Epiteto)

RESUMO

O sistema de abastecimento e tratamento de água para consumo humano representa uma das principais áreas do saneamento básico. Com a constante regulamentação voltada à redução dos impactos ambientais, as Unidades de Tratamento de Resíduos (UTRs) estão sendo implantadas nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) para solucionar a questão da insustentabilidade ambiental do sistema. O resíduo gerado no tratamento é basicamente composto pelos resíduos contidos na água bruta captada nos mananciais e dos produtos químicos utilizados durante o processo, conhecido como lodo de ETA. Até então, este era usualmente descartado diretamente nos mananciais, geralmente os mesmos que abastecem o sistema, podendo causar a degradação do meio ambiente com a contaminação dos mananciais e do solo. Além do descarte incorreto deste resíduo, o volume de água contido neste lodo não retornava ao sistema, caracterizando perda. A partir deste contexto, apresenta-se neste trabalho um diagnóstico da implantação de uma UTR e a sua importância para o sistema de abastecimento e tratamento de água na cidade de Lavras/MG. Este diagnóstico analisou o funcionamento da UTR, com a descrição do projeto e relatos das principais dificuldades, interferências e soluções encontradas durante a execução da obra. Ao comparar o sistema proposto com outras unidades já implantadas e em funcionamento, pode-se observar que o sistema de tratamento de resíduos de ETA se resume na separação da água contida no lodo da parte sólida, que deve ser desidratada para disposição final. A água oriunda da separação, na maioria dos casos, retorna ao sistema. Desta forma, o projeto básico da UTR Lavras contempla uma rede de descarga dos decantadores e filtros da ETA, responsável por direcionar o efluente para o início do tratamento, que ocorre na etapa de adensamento do lodo. Esta etapa é realizada a partir de um Tanque de Sedimentação (TQS) semelhante aos decantadores da ETA, que recebe o efluente gerado no tratamento para separação das fases líquida (água clarificada a ser retornada ao sistema) e sólida (resíduo sólido a ser desidratado). A desidratação do lodo é a etapa posterior, sendo muito abordada na literatura devido às inovações no processo, principalmente com os estudos acerca da eficiência da desidratação e do reaproveitamento deste resíduo. Este processo é usualmente realizado a partir da adição de produtos químicos ao lodo, para acelerar o processo de desidratação, realizado em leitos de drenagem ou pátios de deságue, em que o resíduo é depositado para que a desidratação seja feita de forma natural. A etapa final de recirculação da água pode ser destacada para o caso da UTR Lavras, pelo fato desta ter sido construída em um local relativamente distante da estação de tratamento. Desta forma, a recirculação de água prevista em projeto seria feita na fase de captação, sendo uma alternativa para ETAs que não possuem áreas disponíveis para ampliação estrutural e cumprindo com o objetivo proposto, de aproveitamento da água até então descartada.

Palavras-chave: Tratamento. Resíduos. Lodo de ETA. Recirculação. Projeto executivo.

ABSTRACT

The water supply and treatment system for human consumption represents one of the main areas of basic sanitation. With the constant regulation aimed at reducing environmental impacts, the Waste Treatment Units (WTUs) are being implemented in the Water Treatment Plants (WTPs) to improve environmental sustainability of the system. The waste is basically composed of the residues contained in the raw water captured in the water bodies and of the chemical products used during the process, known as WTP sludge. Until then, it was usually discarded directly into the environment, usually into the same water body that supply the system. This practice could cause the degradation of the environment with the contamination of the springs and the soil. In addition to the incorrect disposal of this waste, the volume of water contained in this sludge did not return to the system, characterizing a loss. From this context, this study presents a diagnosis of the implementation of a WTU and its importance for the water supply and treatment system in the city of Lavras/MG. This diagnosis analyzed the operation of the WTU, with a description of the project and reports of the main difficulties, interferences and solutions found during the execution of the project. When comparing the proposed system with other units already implemented and in operation, it can be seen that the WTU is summarized in the separation of the water contained in the sludge from the solid part, which must be dehydrated for final disposal. The water from the separation, in most cases, returns to the system. In this way, the basic project of the WTU Lavras includes a discharge network for the WTP's decanters and filters, responsible for directing the effluent to the beginning of the treatment, which takes place in the sludge consolidation stage. This is carried out from a Sedimentation Tank (ST) similar to the WTP decanters, which receives the effluent generated in the treatment to separate the liquids (clarified water to be returned to the system) and solid (solid waste to be dehydrated). The question of the further study process, being much is the reuse of this task from the literature, being many studies of utility of this task This work from the additional beds of chemical products to the usual manufacturing process or carried out in beds of manufacturing of products chemicals, in which the preparation is made to be deposited so that it can be carried out in a natural way. The final stage of water recirculation can be highlighted in the case of the WTU Lavras, as it was built in a location relatively far from the treatment plant. In this way, a recirculation of water foreseen until the project would be done in the capture phase, being an alternative to the planned goals that do not have planned areas for planned and fulfilled with the objective of reusing the discarded.

Keywords: Treatment. Waste. WTP sludge. Recirculation. Executive project.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Etapas do Tratamento Convencional ou Ciclo Completo.....	19
Figura 2- Geomembrana PEAD.....	24
Figura 3- Leito de drenagem.....	24
Figura 4- Bolsa geotêxtil de desidratação de lodo em pátio de desidratação.	25
Figura 5- Captações de água para abastecimento do município de Lavras.	29
Figura 6- Captação Rio Grande – Baixo Recalque.....	31
Figura 7- Alto Recalque.....	31
Figura 8- EAB 3 - Aeroporto.....	32
Figura 9- Barragem de nível da Captação Água Limpa	32
Figura 10- EAB 01 – Água Limpa e reservatório.....	33
Figura 11- Fluxograma esquemático da ETA.....	34
Figura 12- Decantadores da ETA de Lavras.....	35
Figura 13- Filtros da ETA de Lavras	35
Figura 14- Local de implantação da UTR Lavras	37
Figura 15- Interligações da UTR Lavras	40
Figura 16- Tubulação de Ferro Fundido DN 300mm.....	41
Figura 17- Poço de Visita 07.	42
Figura 18- Projeto da Rede de Descarga	43
Figura 19- Traçado da Rede de Descarga dos Decantadores e Filtros.	43
Figura 20- Tanque de Sedimentação e Elevatória de Lodo.	44
Figura 21- Linha de Recalque do Lodo.	45
Figura 22- Caixa 01.	46
Figura 23- Lançamento da Linha de água Clarificada para o reservatório existente ...	46
Figura 24- Lançamento da Linha de Água Clarificada para o manancial.	47
Figura 25- Dissipador de Energia em concreto armado.	47
Figura 26- Estacas metálicas instaladas na área escavada.....	51
Figura 27- Caminho de entrada de máquinas e sentido da rede de alta tensão.....	52
Figura 28- Poliguindaste içando bate-estaca.	52
Figura 29- Indicação das estacas na planta de fôrmas do TQS.	53
Figura 30- Execução da Caixa de Manobra e estacas de fundação do TQS.....	53
Figura 31- Galeria encontrada para passagem das redes.	54
Figura 32- Novo encaminhamento da Rede de Descarga.....	56
Figura 33- Sistema proposto para a UTR do Sistema Integrado Vale do Aço.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características do lodo.	21
Tabela 2- Variabilidade das propriedades mecânicas do lodo conforme teor de umidade.	23
Tabela 3- Adutoras de água bruta de Lavras/ MG.....	30
Tabela 4- Elevatórias de Água Bruta (EAB) do SAA de Lavras/ MG.....	30
Tabela 5- Parâmetros e critérios de projeto.	48
Tabela 6- Valores relativos à produção de lodo da ETA Lavras.....	49
Tabela 7- Comparação dos parâmetros das ETAs utilizados para as respectivas UTRs.	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Resumo das estruturas principais do projeto da UTR.	39
Quadro 2 – Resumo das dificuldades e alterações necessárias durante a execução.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma técnica Brasileira
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
ETA	Estação de Tratamento de Água
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
UTR	Unidade de Tratamento de Resíduos
TQS	Tanque de Sedimentação
DN	Diâmetro Nominal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Considerações gerais	14
1.2	Objetivos.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Sistemas de Abastecimento de Água.....	16
2.2	Estações de Tratamento de Água.....	18
2.3	Tratamento de resíduos de ETA	20
2.3.1	Etapas do tratamento.....	21
2.3.2	Recirculação de água e disposição final do lodo	25
2.4	Histórico do acompanhamento do sistema de outras UTRs pós implantação	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Sistema de Abastecimento de Água de Lavras/ MG	28
3.2	Tratamento de água em Lavras/ MG	33
3.3	Descrição do projeto de implantação da UTR Lavras	36
3.3.1	Diretrizes para escolha do local de implantação.....	36
3.4	Etapas do projeto	37
3.4.1	Rede de Descarga dos Decantadores e Filtros	41
3.4.2	Tanque de Sedimentação	44
3.4.3	Pátio de Deságue, recirculação e redes de interligação	45
3.5	Parâmetros e critérios do projeto	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Diagnóstico da implantação da UTR Lavras	50
4.1.1	Tanque de Sedimentação	50
4.1.2	Rede de Descarga	54
4.2	Comparação com outras UTRs implantadas.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) caracteriza-se pelo suprimento de água potável para consumo público, doméstico e industrial. O SAA contempla desde a captação da água bruta nos mananciais, passando pelo devido tratamento nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) até a chegada da água tratada para o consumidor final.

Durante a fase preliminar do tratamento nas ETAs, mais especificamente nas fases de decantação e filtração, ocorre a separação sólidos-líquidos, gerando uma massa densa e viscosa, rica em matéria orgânica, partículas inorgânicas, metais e microrganismos. Este material foi direcionado por muito tempo aos cursos d'água mais próximos, geralmente à jusante dos mesmos mananciais de onde provém a água bruta processada na estação (ANDREOLI, 2001).

Com a crescente regulamentação criada para preservação do meio ambiente, o lodo gerado no tratamento de água passou a ser considerado como resíduo sólido, acarretando em restrições legais e definição de métodos corretos para sua destinação (RICHTER, 2001). A Norma técnica Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica o lodo como resíduo sólido industrial não perigoso e não inerte, devendo ser tratado e lançado em local adequado conforme as legislações pertinentes, como as Leis Federais 6.938 (BRASIL, 1981) e 9.605 (BRASIL, 1998), a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010).

A Lei Federal 14.026 (BRASIL, 2020), também conhecida como novo Marco Legal do Saneamento, foi sancionada em julho de 2020 e buscou promover uma atualização ampla da Lei Federal 11.445 (BRASIL, 2007) que estabelece as diretrizes nacionais para saneamento básico no país, especificamente em relação aos investimentos em abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, águas pluviais e drenagem urbana.

Neste contexto, os sistemas de abastecimento e tratamento de água para consumo estão sendo desenvolvidos para tornarem-se autossustentáveis, a partir da gestão, tratamento e disposição final correta dos resíduos gerados. Podem-se destacar alguns benefícios do tratamento de lodo para o meio ambiente, como o tratamento do resíduo sólido para seu aproveitamento como material não convencional, reutilização da água clarificada no sistema e conseqüentemente redução de perdas na estação e diminuição da emissão de poluentes nos mananciais.

1.2 Objetivos

Objetivou-se diagnosticar a implantação do projeto da Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR) para o sistema de abastecimento e tratamento de água do município de Lavras/MG.

Os objetivos específicos foram:

- Realizar um comparativo entre o projeto proposto e a etapa de execução da obra.
- Realizar um comparativo entre diferentes projetos de UTRs no Estado de Minas Gerais e na literatura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas de Abastecimento de Água

A NBR 12211 (ABNT, 1992) define que para a concepção de sistemas públicos de abastecimento de água deve-se adotar uma série de definições de forma a contemplar todo o estudo para estabelecimento das diretrizes que resultarão na concepção básica, sendo esta a melhor solução levando em conta todos os pontos de vista.

Dentre os principais levantamentos a serem realizados, deve-se levar em conta cada tipo de população presente no local (residentes, flutuantes, temporárias), assim como os tipos de consumidores (residências, hospitais, indústrias e outros estabelecimentos públicos).

Do ponto de vista técnico, pode-se dizer que os principais elementos condicionantes na concepção de sistemas de abastecimento são as características topográficas, hidrográficas e demográficas. Segundo Heller (2010), o processo de concepção consiste no levantamento das diversas alternativas dentre as tecnologias apropriadas para o saneamento e seleção das mesmas, em que dificilmente encontra-se um padrão entre as definições, que muitas vezes se tornam exclusivas.

Após a concepção inicial e definição do planejamento para elaboração dos projetos executivos, parte-se para as definições quantitativas e qualitativas do sistema. A análise quantitativa está voltada para o consumo de água como um todo, englobando as demandas para uso, capacidade das unidades, período de funcionamento e vazão da produção. Em termos qualitativos, deve-se atentar para os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, conforme determinado na publicação da Portaria GM/MS nº 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), que estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade de água destinada ao consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Os principais objetivos a serem seguidos consistem na garantia de entrada de água em quantidades suficientes à demanda em qualquer época do ano, de forma a distribuí-la na melhor qualidade possível. A concepção deve ser feita de forma a atender tais objetivos da melhor forma em termos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

O SAA inicia-se na definição do manancial em que será feita a captação de água. A NBR 12213 (ABNT, 1992) define a captação como “(...) o conjunto de estruturas e

dispositivos, construídos ou montados junto a um manancial, para a retirada de água destinada a um sistema de abastecimento”.

Os mananciais são classificados como subterrâneos ou superficiais. No primeiro caso, trata-se daquele cuja água é proveniente do subsolo e chega à superfície de forma natural (como no caso das nascentes) ou por meio de obras de urbanização, como os poços artesianos ou cisternas (HELLER, 2010). As vantagens da utilização das águas subterrâneas estão associadas à boa qualidade apresentada para o consumo humano e sua facilidade de obtenção.

Os mananciais superficiais são os meios mais comuns de captação de água, que geralmente é realizada em rios, lagos, córregos ou ribeirões. As formas de captação superficiais variam de acordo com o tipo de manancial escolhido e suas características de nível e vazão d'água, comparando com a vazão demandada pelo sistema. De acordo com Heller (2010), os principais tipos de captação são realizados de forma direta ou com barragem de regularização de nível de água são:

- Captação direta ou a fio de água: Quando o nível d'água do manancial é suficiente para a sucção da água por meio das bombas localizadas nas elevatórias e a vazão mínima do manancial supera a vazão demandada pelo sistema;
- Barragem de regularização de nível: Quando o nível d'água do manancial não é suficiente para derivação, apesar da vazão mínima ser suficiente em comparação à vazão demandada pelo sistema.

Ainda segundo Heller (2010), em todo tipo de captação é necessário um dispositivo de tomada de água, para condução da água do manancial para início do processo de captação. Para o presente trabalho, os principais tipos a serem tratados são as tubulações de tomada e as captações flutuantes.

O primeiro caso trata-se da tubulação que conduz a água do manancial para a próxima etapa, onde pode ser direcionada para um desarenador, poço de sucção de uma elevatória, ou outro elemento, a depender da forma como será dado o processo de captação. Em alguns casos, a tubulação não pode ser ligada diretamente às margens do manancial, como no caso de lagos ou rios maiores e com regime fluvial lento, sendo necessário o uso de balsas ou flutuadores dotados de bombas para sucção da água, presente em maior volume no centro do manancial. Neste caso, é empregada a captação do tipo flutuante.

Alguns dispositivos fazem-se presentes para a separação preliminar de resíduos sólidos presentes na água bruta, como grades e telas. Além disso, principalmente se tratando de captação superficial, são necessários dispositivos para remoção de sólidos suspensos na água transportada, denominados desarenadores.

Posteriormente, a água captada nos mananciais é direcionada à ETA, podendo ser necessário ou não o bombeamento, caracterizando assim o processo de condução da água, também chamado de adução. As adutoras de captação são compostas basicamente pela rede de interligação e transporte da água bruta (entre as unidades de captação e de tratamento) e, na maioria dos casos, das Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB), quando a adução por gravidade é inexecutável, sendo estas classificadas como adutoras por recalque. Vale ressaltar que, após o tratamento, fazem-se presentes as adutoras e elevatórias de água tratada, desempenhando as mesmas funções das adutoras de captação, porém para o sistema de distribuição.

2.2 Estações de Tratamento de Água

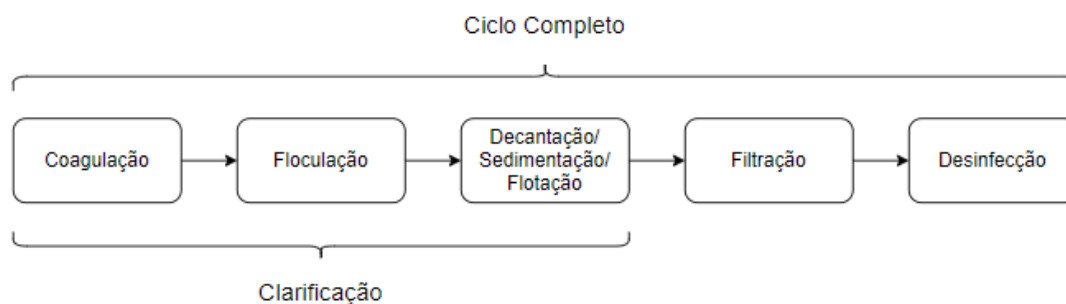
O tratamento da água bruta direcionada às ETAs consiste na remoção de partículas presentes na água de forma heterogênea (sólidos suspensos) e homogênea (partículas coloidais, matéria orgânica e microrganismos) que em sua maioria podem ser insalutíferas ao ser humano (BOTERO, 2009).

De acordo com Heller (2010), na maioria dos casos, os processos de tratamento de água no Brasil contemplam basicamente quatro etapas: clarificação, desinfecção, fluoretação e estabilização química.

Segundo Botero (2009) o processo convencional ou ciclo completo de tratamento de água contempla as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, correção do pH, desinfecção e se necessário, fluoretação. O processo convencional (ou ciclo completo) de tratamento de água consiste na separação dos resíduos através da sedimentação a partir do uso de coagulantes, seguida dos processos de desinfecção (Figura 1).

Trata-se do método mais utilizado na grande maioria das ETAs brasileiras, mesmo sabendo-se que na maioria dos casos, o mesmo não é mais adequado devido às condições de qualidade da água bruta e tratada, assim como os custos de operação, tratamento e distribuição da água potável (ACHON *et al.*, 2013).

Figura 1- Etapas do Tratamento Convencional ou Ciclo Completo.



Fonte: Do autor (2022).

A coagulação é frequentemente o primeiro passo no tratamento da água. Esta etapa consiste no resultado de fenômenos químicos e físicos, onde produtos químicos com carga positiva (geralmente compostos de alumínio ou ferro) são adicionados à água, neutralizando a carga negativa das partículas dissolvidas na água. Este processo é realizado em unidades de mistura rápida, em que as partículas se ligam aos produtos químicos para formar partículas ligeiramente maiores, realizado em questão de segundos (DI BERNARDO, 1993).

A floculação segue a etapa de coagulação, caracterizado pela mistura suave da água para agregar as partículas formadas na etapa anterior através das colisões promovidas, formando partículas maiores e mais pesadas, os flocos. Conforme citado por Heller (2010), neste processo não há remoção de impurezas, mas a preparação da água que será encaminhada para as próximas etapas.

A separação dos sólidos formados é feita por meio de um processo exclusivamente físico e natural denominado sedimentação, em que as partículas se depositam gradativamente no fundo do tanque devido à ação da gravidade, por serem mais densas que a água (HELLER, 2010). A decantação é a combinação do processo de sedimentação com a retirada da água clarificada do tanque de sedimentação ou decantador.

Os decantadores podem ser classificados como convencionais ou de alta taxa. O primeiro caso caracteriza-se pela utilização de tanque de fluxo horizontal, ideais para pequenas vazões, porém necessitam de grandes áreas para implantação. Já os decantadores de alta taxa, também conhecidos como laminares ou de fluxo lamelar, são tanques relativamente menores se comparados aos decantadores convencionais, sendo compostos por placas inclinadas que facilitam a remoção dos flocos (LUSTOSA, 2017).

Ainda segundo Lustosa (2017), após a decantação a água é direcionada para o processo de filtração, sendo esta a última etapa para remoção do material suspenso, como

flocos de densidade menor que não sedimentaram. No tratamento de água convencional, os filtros também atuam por gravidade, compostos por leitos filtrantes simples (camadas de areia) ou duplos (areia e carvão). Durante a filtração, a água limpa passa por filtros que possuem poros de diferentes tamanhos e são feitos de diferentes materiais (como areia, cascalho e carvão). Esses filtros removem partículas e microrganismos dissolvidos, como poeira, produtos químicos, parasitas, bactérias e vírus. Os filtros de carvão ativado também removem os maus odores.

Os processos de decantação e filtração representam as fases de separação dos resíduos contidos na água bruta. Após a separação, com o passar do tempo, faz-se necessária a remoção do material sedimentado, sendo necessária a descarga dos decantadores e a limpeza dos filtros, para o correto funcionamento do sistema.

Conforme disposto na Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) e posteriormente atualizado pela Portaria nº 888 (BRASIL, 2021), após o tratamento pelo método convencional a água deve ser desinfetada. Desta forma, após a filtração, as estações de tratamento de água podem adicionar um ou mais desinfetantes químicos (como cloro, cloramina ou dióxido de cloro) para eliminar quaisquer microrganismos remanescentes, como bactérias e vírus. Para ajudar a manter a água segura enquanto ela é reservada e transportada, são mantidos níveis residuais do desinfetante químico, responsável por inativar os microrganismos que possam se estabelecer na tubulação e reservatórios entre a estação de tratamento e o consumidor final.

2.3 Tratamento de resíduos de ETA

A ISO (*International Organization for Standardization* ou Organização Internacional para Padronização) é uma fundação internacional que tem como objetivo criar normas e padronizá-las no âmbito da gestão conforme os avanços tecnológicos atuais. A ISO 24512 (ISO, 2007) foi desenvolvida para tratar dos objetivos principais de um SAA. Dentre eles, cita-se a promoção do desenvolvimento sustentável através da gestão dos recursos hídricos, como a proteção de mananciais e gestão de resíduos, além da proteção do meio ambiente, visando minimizar as perdas de água, energia e geração de resíduos.

Para a análise de resíduos, a norma ISO 24512 recomenda o uso de indicadores de desempenho, relacionando as principais variáveis do sistema e comparando-os com

dados históricos ou entre sistemas semelhantes. Dois exemplos destes indicadores são (ISO, 2007):

- Porcentagem do lodo reutilizado ou reciclado após o tratamento;
- Porcentagem da água de lavagem de filtros reutilizada ou recirculada após tratamento.

Os resíduos gerados nas ETAs de ciclo completo são majoritariamente compostos por água. O teor de umidade do lodo de ETA pode corresponder a mais de 95%, ou seja, apenas 5% (ou menos) do volume total de efluentes corresponde ao material sedimentado, segundo Motta (2019). Desta forma, a definição do volume de descarga da água dos decantadores e lavagem de filtros torna-se imprescindível para a elaboração do projeto de tratamento de lodo.

Outro dado a ser levantado é a concentração dos sólidos no lodo. Segundo Fontana (2004), a análise qualitativa está relacionada às características dos compostos químicos aplicados no tratamento, principalmente os coagulantes a base de sais e ferro de alumínio, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1- Características do lodo.

Característica	Valor Médio	Unidade
Alumínio	21,2	% em peso seco
Cálcio	2,7	% em peso seco
Ferro	3,2	% em peso seco
Potássio	1,7	% em peso seco
Magnésio	0,45	% em peso seco
Silício	20	% em peso seco
Fósforo	0,35	% em peso seco
pH	7	-
Carbono orgânico total	3,1	% em peso seco
DBO	45	mg/L
DQO	500	mg/L
Nitrogênio total	0,68	% em peso seco
Equivalência em carbonato de cálcio	15	%
Coliformes	<20	unidades/g

Fonte: Adaptado de Andreoli (2001).

2.3.1 Etapas do tratamento

Os resíduos gerados no tratamento são constituídos pelo lodo acumulado nos decantadores e da água de lavagem de filtros e encontram-se inicialmente diluídos na água, sendo compostos pelos resíduos presentes na água bruta, produtos químicos

aplicados durante o tratamento e também os subprodutos provenientes das reações ocorridas (GRANDIN, 1992). Por este motivo, há a necessidade de um segundo processo de separação das partes sólidas e líquidas (lodo e sobrenadante clarificado).

De acordo com Lustosa (2017), o tratamento do lodo deve ser realizado de forma a reduzir o seu volume e teor de umidade para disposição final, sendo o gerenciamento composto basicamente por quatro etapas: adensamento, condicionamento, desaguamento e disposição final.

2.3.1.1 Adensamento e condicionamento

Segundo Richter (2001) o adensamento é o processo cujo objetivo é a separação da água e lodo antes do processo de desidratação final do lodo, para redução do volume líquido de lodo e aumento da concentração de sólidos. Este processo de separação torna-se muito semelhante ao aplicado no sistema das ETAs, uma vez que geralmente é feito por decantação.

Ainda segundo Richter, os processos de adensamento por decantação (ou por gravidade), podem ser classificados como contínuos ou por batelada, sendo este último o mais comum. Também conhecido como “enche e drena”, é a solução mais viável em sistemas que dispõem de menores áreas, uma vez que a separação ocorre no interior de tanques de decantação ou sedimentação, em que o efluente permanece em repouso para que seja feito o processo de decantação por gravidade. Posteriormente, a água clarificada pode ser removida e redirecionada para o início do tratamento, enquanto o lodo concentrado depositado no fundo do tanque é direcionado às próximas etapas de tratamento.

2.3.1.2 Desidratação e desaguamento

A desidratação do lodo corresponde à etapa seguinte do processo. Após a coleta do material concentrado proveniente do adensamento, torna-se necessária a secagem do mesmo, para eliminação do restante da água presente. De acordo com Haak (2011), para que haja uma melhor eficiência deste processo, torna-se necessário o condicionamento do lodo por meio da aplicação de produtos químicos tais como íons metálicos, cal e polímeros. Estes produtos são responsáveis pela alteração das propriedades estruturais das partículas do lodo, que por serem carregadas eletricamente e também devido à grande

proporção de água presente, tendem a se repelirem ao invés de agregarem umas às outras, o que dificulta o processo de floculação e conseqüentemente de desidratação. Portanto, as propriedades mecânicas do lodo variam de acordo com o teor de umidade e de sólidos secos em sua composição, conforme citado por Lustosa (2017) e apresentado na Tabela 2.

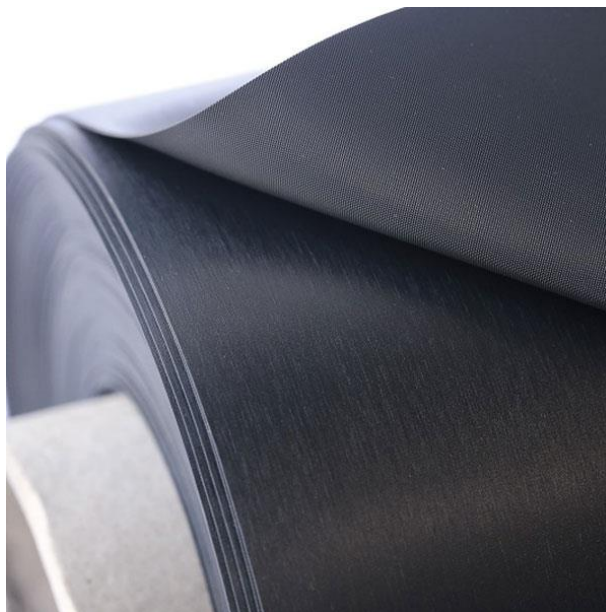
Tabela 2- Variabilidade dos índices físicos do lodo conforme teor de umidade.

Umidade (%)	Teor de sólidos secos (%)	Índices físicos do lodo
0 a 15	100 a 85	Lodo desintegrado
15 a 40	85 a 60	Lodo em grânulos
40 a 65	60 a 35	Sólido duro
65 a 75	35 a 25	Massa semissólida
75 a 100	25 a 0	Lodo fluido

Fonte: Adaptado de Lustosa (2017).

Ainda no processo de desidratação, estão presentes as estruturas responsáveis pela drenagem da água restante e conseqüente redução de volume de lodo, como os sistemas de leito de drenagem ou pátios de deságue. Os leitos de drenagem foram originalmente criados para operar em estações de tratamento de esgoto, como uma alternativa mais vantajosa se comparados aos leitos de secagem tradicionais, principalmente em relação à eficiência da drenagem da água devido à redução da camada drenante e a redução dos custos de execução (LUSTOSA, 2017). Neste caso, o lodo é direcionado diretamente para os leitos, que são escavados em solo e cobertos por uma geomembrana impermeabilizante de 2,0mm de espessura, conhecida como manta de PEAD (polietileno de alta densidade), mostrado na Figura 2.

Figura 2- Geomembrana PEAD.



Fonte: Inovageo (2019).

Os pátios de deságue são estruturas semelhantes aos leitos de drenagem, com a diferença de não receberem diretamente o lodo (conforme mostrado na Figura 3), que neste caso é direcionado para bolsas feitas em geotêxtil tecido (Figura 4). Esse material é um tipo de geossintético amplamente utilizado na construção civil, feito em material bidimensional permeável, composto de fibras que formam pequenos poros, permitindo o desaguamento progressivo (DI BERNARDO, 2012).

Figura 3- Leito de drenagem.



Fonte: Lustosa (2017).

Estas bolsas devem estar posicionadas sobre uma camada de brita para que seja feita a drenagem e desaguamento da água, conforme mostrado na Figura 4. Para que não ocorra a infiltração no solo, são instaladas mantas PEAD para a impermeabilização do fundo do pátio de deságue.

Figura 4- Bolsa geotêxtil de desidratação de lodo em pátio de desidratação.



Fonte: NTC Brasil (2022).

2.3.2 Recirculação de água e disposição final do lodo

Após o tratamento do lodo, os subprodutos oriundos do tratamento devem ser avaliados para que a destinação final do mesmo seja feita de maneira correta. O lançamento direto deste produto em mananciais ou mesmo no solo traz como principais consequências a poluição e degradação do meio ambiente.

Acerca da recirculação de água, Lustosa (2017) apresentou um estudo a respeito do tratamento e aproveitamento da água descartada na lavagem de filtros junto ao sistema de desidratação de lodo, a partir da implantação de um Tanque de Sedimentação (TQS) e um leito de drenagem para desaguamento do lodo, a partir de métodos construtivos simplificados. Conforme citado pelo autor, o estudo comprovou a eficiência do sistema em relação à redução de custos e agilidade dos processos, comprovados pelo reaproveitamento de mais de 75% da água de lavagem dos filtros e também na produção de lodo com teores relativamente elevados de concentração de sólidos. A partir deste estudo, pode-se observar que as alternativas para gestão de resíduos podem ser relativamente simples e ao mesmo tempo eficazes, de acordo com a característica de cada sistema.

Segundo Motta (2019), diversos estudos estão presentes na literatura a respeito das práticas adotadas para disposição final do lodo, destacando-se os aterros sanitários.

Além disso, muito se fala em reaproveitamento do lodo para inúmeras aplicações, como utilização controlada no solo para agricultura ou recuperação de áreas degradadas e aproveitamento em indústrias, principalmente na construção civil. Coelho (2015), por exemplo, avaliou o uso do material misturado com solos e cimento para utilização na pavimentação como alternativa de destinação final.

2.4 Histórico do acompanhamento do sistema de outras UTRs pós implantação

A primeira UTR implantada em Minas Gerais, na região metropolitana de Belo Horizonte, foi a UTR Rio Manso, operada pela COPASA. A ETA Rio Manso foi inaugurada em 1991 e até 2012 era responsável pelo abastecimento de aproximadamente 30% da região (PAIVA; PARREIRA, 2012). Desde 1997 a ETA Rio Manso possui uma UTR composta por tanques, elevatórias, pátios de secagem e casa de química.

Desde então, a COPASA implantou novas técnicas à medida que as dificuldades se faziam presentes no sistema em operação. Conforme apresentado por Paiva e Parreira (2012), os primeiros problemas enfrentados estavam relacionados à baixa concentração de sólidos presentes no lodo gerado, inviabilizando a secagem e saturando as lagoas de secagem. A partir de então, foram realizados testes com tecnologias diferentes de desidratação do lodo, como o filtro de prensa (em 1998) e centrífugas de separação de lodo (nos anos de 1999 e 2010). Em 2009 foram testados os tipos de desidratação por meio de bacias de contenção com manta e prensa tipo parafuso. Desta forma, pode-se dizer que este estudo iniciou a análise e avaliação do funcionamento das UTRs em Minas Gerais, mostrando a importância deste acompanhamento progressivo, com o passar do tempo.

Em 2013, as tecnologias de tratamento convencional de cinco ETAs localizadas no estado de São Paulo foram avaliadas, aplicando os indicadores da norma ISO 24512, além de propor outros indicadores qualitativos, como os tipos de água utilizados na lavagem de decantadores e filtros e o tratamento do lodo e da água clarificada (ANCHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013). Foram propostos ainda indicadores quantitativos, como o volume de lodo e de água clarificada gerados e a perda de água nas lavagens de decantadores e filtros.

Anchon, Barroso e Cordeiro (2013) mostraram neste trabalho como a gestão de resíduos é importante para avaliar e gerenciar o funcionamento das UTRs, visando

minimizar a quantidade de água utilizada para lavagem de filtros e conseqüentemente reduzir a geração de resíduos sólidos. Porém, como citado pelos autores:

“Neste trabalho, ao se propor a obtenção de indicadores que viabilizassem a gestão de resíduos de ETAs, explicitou-se a dificuldade em se obter dados e, conseqüentemente, indicadores das ETAs estudadas. Concorreu para isso a constatação de que a grande maioria das ETAs não mede a quantidade de resíduos gerados e muito menos avalia suas características. Tal fato mostra-se agravante se considerarmos que as ETAs em estudo possuem características de sistemas de médio porte e estão localizadas em municípios com boa estrutura, acima da média das cidades brasileiras.” (ANCHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

Fontana (2004) aprofundou os estudos acerca da redução do volume do lodo gerado nos decantadores e recirculação da água de lavagem de filtros, através da utilização de TQS e leito de drenagem. Neste trabalho, o autor estudou o sistema de tratamento de resíduos da ETA Cardoso/ SP, analisando minuciosamente todos os parâmetros para implantação das unidades dentro da ETA, assim como Lustosa (2017), de forma a agregar as estruturas para tratamento dos resíduos citadas nas etapas de tratamento dentro das ETAs, diferentemente de outras fontes da literatura, em que são construídas novas unidades para este fim, como o presente trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido de forma a avaliar um caso real de implantação de um projeto de Unidade de Tratamento de Resíduos para o Sistema de Abastecimento e Tratamento de Água da cidade de Lavras, MG.

3.1 Sistema de Abastecimento de Água de Lavras/ MG

O município de Lavras localiza-se na região Sul do Estado de Minas Gerais e possui uma área territorial de 564,744 km² e uma população estimada de 105.756 pessoas, de acordo com o IBGE (2021).

A cidade possui relevo predominantemente acidentado e é abastecida pelo Rio Grande e os ribeirões Água Limpa e Santa Cruz. O Sistema de Abastecimento de Água é operado e mantido pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA/ MG), possuindo três captações superficiais e suas linhas de adução, uma em cada, conforme Figura 5 e Tabela 3.

Figura 5-Captações de água para abastecimento do município de Lavras.



Fonte: Adaptado de FUNDECC (2017) e *Google Earth* (2022).

Tabela 3-Adutoras de água bruta de Lavras/ MG.

Captação	Tipo	Vazão(L/s)	Diâmetro Predominante (mm)
Água Limpa	Barragem de nível	85	250
Santa Cruz	Barragem de nível	67	250
Rio Grande	Balsa	187	350

Fonte: COPASA (2019).

Nos três casos, para que a água bruta captada nos mananciais seja direcionada à ETA, faz-se necessário o bombeamento para que a declividade e a distância sejam vencidas, uma vez que a ETA se localiza no ponto mais alto do centro da cidade e os mananciais nos pontos mais baixos e periféricos da cidade. Por este motivo, o sistema de abastecimento conta com apenas cinco Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB), responsáveis pelo bombeamento da água até a ETA, conforme a Tabela 4.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento de Lavras (FUNDECC, 2017), a vazão média de bombeamento das EEAB é de cerca de 298 L/s (equivalentes a cerca de 1.072,8 m³/h).

Tabela 4 -Elevatórias de Água Bruta (EAB) do SAA de Lavras/ MG.

Código	Estação Elevatória	Localização	Vazão (L/s)	Quant. Bombas	Potência (cv)
EEAB 1	EAB Água Limpa	Captação Água Limpa	85	2	250
EEAB 2	EAB Santa Cruz	Captação Santa Cruz	67	2	200
EEAB 3	<i>Booster</i> Aeroporto	Captação Santa Cruz – Aeroporto	80	2	150
EEAB 4	Baixo recalque Rio Grande	Captação Rio Grande - Baixo recalque	187	3	40
EEAB 5	Alto recalque Rio Grande	Captação Rio Grande - Alto recalque	187	3	550

Fonte: Adaptado de COPASA (2019).

A partir dos dados da Tabela 4 é possível notar que a Captação do Rio Grande é a principal fonte de abastecimento da cidade, sendo composta por uma tomada de água flutuante por meio de uma balsa que comporta três bombas e três motores, constituindo a elevatória do Baixo Recalque (Figura 6). Esta, por sua vez, encaminha a água para o desarenador e tanque de contato, anexos à casa de máquinas que compõe o Alto Recalque

(Figura 7) junto a outros três motores e três bombas horizontais de sucção. Conforme mostrado na Tabela 4, a potência instalada no alto recalque é bem superior aos demais pontos, por ser responsável por direcionar a água pela Adutora de Água Bruta (AAB) de 9600m, até a ETA.

Figura 6- Captação Rio Grande – Baixo Recalque.



Fonte: PMSB Lavras (FUNDECC, 2017).

Figura 7- Alto Recalque.



Fonte: Do autor.

As captações Água Limpa e Santa Cruz foram as primeiras e únicas unidades de abastecimento de água de Lavras, até 1995, quando foi construída a captação Rio Grande, para suprimir o aumento da demanda com o crescimento da cidade (FUNDECC, 2017).

Ambas são de porte menor, com sucção de água realizada a partir de barragem de nível a fio d'água, construídas em concreto.

A diferença presente no sistema de adução Santa Cruz é a existência da elevatória intermediária, denominada EAB 03 – *Booster* Aeroporto (Figura 8), destinada a manter a pressão necessária durante o transporte da água bruta, para vencer as perdas de carga existentes (distância e declividade, principalmente) no encaminhamento da adutora até a ETA.

Figura 8- EAB 3 - Aeroporto.



Fonte: PMSB Lavras (FUNDECC, 2017).

A captação Água Limpa, por sua vez, recebe a água da barragem de nível (Figura 9) por gravidade, conduzindo-a até o reservatório de sucção da elevatória (Figura 10), que recalca diretamente para a ETA, utilizando duas bombas de 250cv de potência, por meio de uma adutora de 1.172,00m e DN 250 mm (COPASA, 2019).

Figura 9- Barragem de nível da Captação Água Limpa



Fonte: PMSB Lavras (FUNDECC, 2017)

Figura 10- EAB 01 – Água Limpa e reservatório.



Fonte: PMSB Lavras (FUNDECC, 2017)

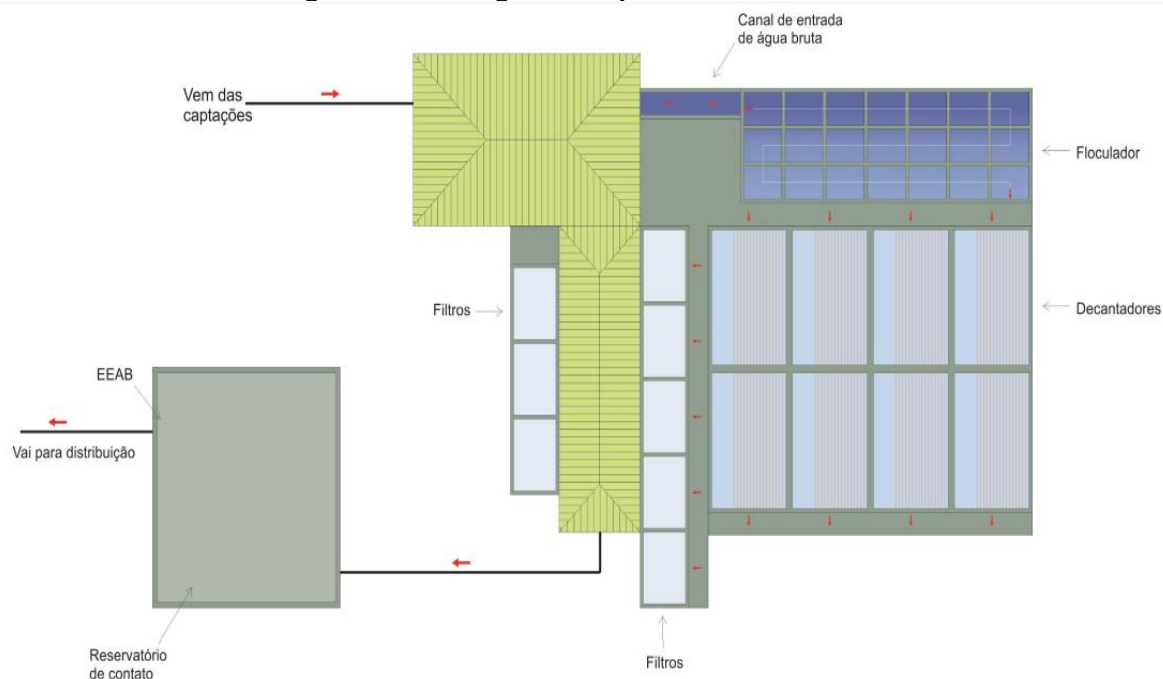
De acordo com o Relatório de Fiscalização Operacional nº65 (ARSAE, 2021), as captações direcionam a água bruta até a ETA para receber o devido tratamento e, posteriormente, direciona a água tratada para a rede de distribuição (totalizando 561.197 metros de extensão e 39.123 ligações ativas) e para os 31 reservatórios existentes, que totalizam 12.015 m³ de água armazenada.

De acordo com a Copasa (2019) o sistema conta com cinco Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT), responsáveis por recalcar a água após o tratamento para pontos em que sejam necessários o bombeamento para vencer as distâncias e os desníveis geométricos.

3.2 Tratamento de água em Lavras/ MG

De acordo com o PMSB de Lavras (FUNDECC, 2017), a ETA de Lavras foi inaugurada em 1968, construída em concreto armado e contemplando basicamente as etapas de floculação, decantação, filtração e desinfecção, ou seja, de ciclo completo ou convencional (Figura 11). Segundo dados da ARSAE (2021) a capacidade nominal de tratamento da ETA é de 375 L/s e a vazão média de tratamento é de 246 L/s. Estas vazões cobrem 100% da área do município ocupada com rede de distribuição de água, totalizando 561.197 metros de extensão, correspondente a 94.076 habitantes, o que representa 92,59% de domicílios atendidos.

Figura 11- Fluxograma esquemático da ETA



Fonte: PMSB Lavras (FUNDECC, 2017)

O tratamento inicia-se na entrada de água bruta por um canal de concreto até os floculadores, onde ocorre o tratamento preliminar. Nesta etapa, são adicionados cal e sulfato de alumínio, para correção do pH da água e início do processo de floculação, respectivamente. O processo de floculação é realizado em um floculador hidráulico tipo “Alabama” composto por 21 câmaras, onde as partículas sólidas se agregam graças aos agentes floculantes adicionados (COPASA, 2019).

Após a floculação, a água é direcionada aos decantadores para que ocorra a separação da água clarificada e redução do volume de resíduos sólidos dissolvidos, a serem decantados para separação. Este processo é composto por dois decantadores (Figura 12) de alta taxa e fluxo laminar, construídos em concreto armado, com 17,0m de comprimento, 7,8m de largura e 4,2m de altura.

A água clarificada proveniente dos decantadores é direcionada para os 8 filtros (Figura 13) rápidos e de escoamento descendentes (atuam por gravidade), compostos por uma camada filtrante de materiais com diferentes granulometrias: pedregulho, areia e antracito (carvão mineral), nesta ordem de fluxo de água, da maior para a menor dimensão de partículas em cada meio filtrante.

Figura 12- Decantadores da ETA de Lavras.



Fonte: COPASA (2019)

Figura 13- Filtros da ETA de Lavras



Fonte: PMSB Lavras (FUNDECC, 2017)

A limpeza dos filtros é realizada de acordo com a eficiência do processo de filtração em razão da perda de carga do mesmo, ou seja, de acordo com a resistência do meio filtrante em relação à passagem de água.

Por fim, a desinfecção e a fluoretacão são realizadas em um reservatório de contato, que recebe a água filtrada e adiciona-se hipoclorito de cálcio para inativação de microrganismos e bactérias e fluorsilicato de sódio para prevenção da cárie dentária.

3.3 Descrição do projeto de implantação da UTR Lavras

O projeto de implantação da UTR para a ETA de Lavras foi desenvolvido de forma a complementar o tratamento de água, com o objetivo de dar uma correta destinação ao lodo gerado na fase preliminar do tratamento, além da recirculação da água clarificada resultante da separação. Até então, o resíduo gerado no tratamento era descartado na rede de água pluvial e direcionado até o Ribeirão Água Limpa.

Conforme citado no PMSB de Lavras (FUNDECC, 2017):

“No que se refere ao gerenciamento de lodo proveniente do sistema de lavagem de filtros e decantadores, a instalação não realiza o tratamento adequado. Após realização das rotinas operacionais para manutenção destas unidades o lodo é destinado para a rede de drenagem e conseqüentemente para os rios de escoamento próximos”. (FUNDECC, 2017).

O projeto tem como objetivo o aproveitamento da água clarificada para a recirculação no sistema e a destinação correta e tratamento do lodo, para que sejam criadas condições adequadas para sua disposição final.

Desta forma, a concepção inicial do projeto se resume à construção de um Tanque de Sedimentação, Pátio de Deságue do Lodo, Sala de Dosagem de Polímeros e interligações.

3.3.1 Diretrizes para escolha do local de implantação

A EEAB Água Limpa está localizada dentro da captação de mesmo nome, logo a água proveniente da barragem de nível é direcionada a um reservatório existente, em que se localizam as bombas que recalcam a água para a ETA.

Esta EEAB torna-se a mais importante para o presente, pois a sua área foi escolhida para a implantação do projeto da UTR, mostrado na Figura 14. Tal fato pode ser explicado devido à falta de espaço para ampliação da ETA, devido à sua localização no centro da cidade.

Figura 14- Local de implantação da UTR Lavras



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2022).

A principal desvantagem da escolha desta área está relacionada ao principal diferencial desta obra, que é a rede de descarga dos decantadores e filtros. Além dos custos e serviços adicionais por conta da rede em si, pelo fato da área ser do outro lado da rodovia (em relação à ETA) seria necessária a execução de uma travessia sob a rodovia. Em contrapartida, a vantagem deste local é o fato de tratar-se de uma propriedade da COPASA-MG, não havendo a necessidade de liberação de propriedades privadas, além de facilitar o acompanhamento da obra e o funcionamento do sistema proposto. Além disso, a recirculação de água poderia ser feita por meio do reservatório existente da captação, sendo esta considerada a melhor opção.

3.4 Etapas do projeto

Para início da execução do projeto proposto da UTR, fez-se necessária a mobilização do canteiro de obras, destinado a armazenar materiais, equipamentos e veículos para execução dos serviços diários, além do escritório local da empresa contratada para executá-lo.

O início da obra acontece nas etapas de topografia e terraplenagem, indispensáveis e de suma importância para a execução dos serviços, uma vez que o funcionamento do

sistema proposto é condicionado ao nível de cada estrutura em relação ao terreno, devido à influência da gravidade no escoamento dos fluidos pelas redes da unidade.

A topografia consistiu no levantamento dos pontos destinados à locação das principais estruturas e redes da unidade, de acordo com o levantamento prévio realizado para elaboração do projeto. Este levantamento deve considerar as coordenadas geográficas de cada ponto (conforme projeto), assim como a cota do terreno, para uma correta atribuição dos níveis em que cada estrutura deve ser locada, em relação ao terreno. Para locação de cada ponto, faz-se uso da marcação por estaqueamento, em que uma estaca de madeira é cravada no solo com as informações sobre a cota escritas na peça.

A terraplenagem se resumiu na limpeza preliminar do terreno e na movimentação de terra, ou seja, serviços de escavação (mecânica e manual), aterro, carga, transporte, descarga e espalhamento do material em bota fora. A movimentação de terra também está presente em todas as demais etapas da obra, mostradas no Quadro 1.

Além dos serviços listados no Quadro 1, estava prevista a execução das instalações elétricas, destinadas a comandar o sistema de forma automatizada, com o objetivo de atingir o máximo aproveitamento energético e a mínima interrupção do sistema existente, contando também com a opção de operação manual, interligando as estruturas, por meio de um quadro de comando instalado na sala de dosagem de polímeros.

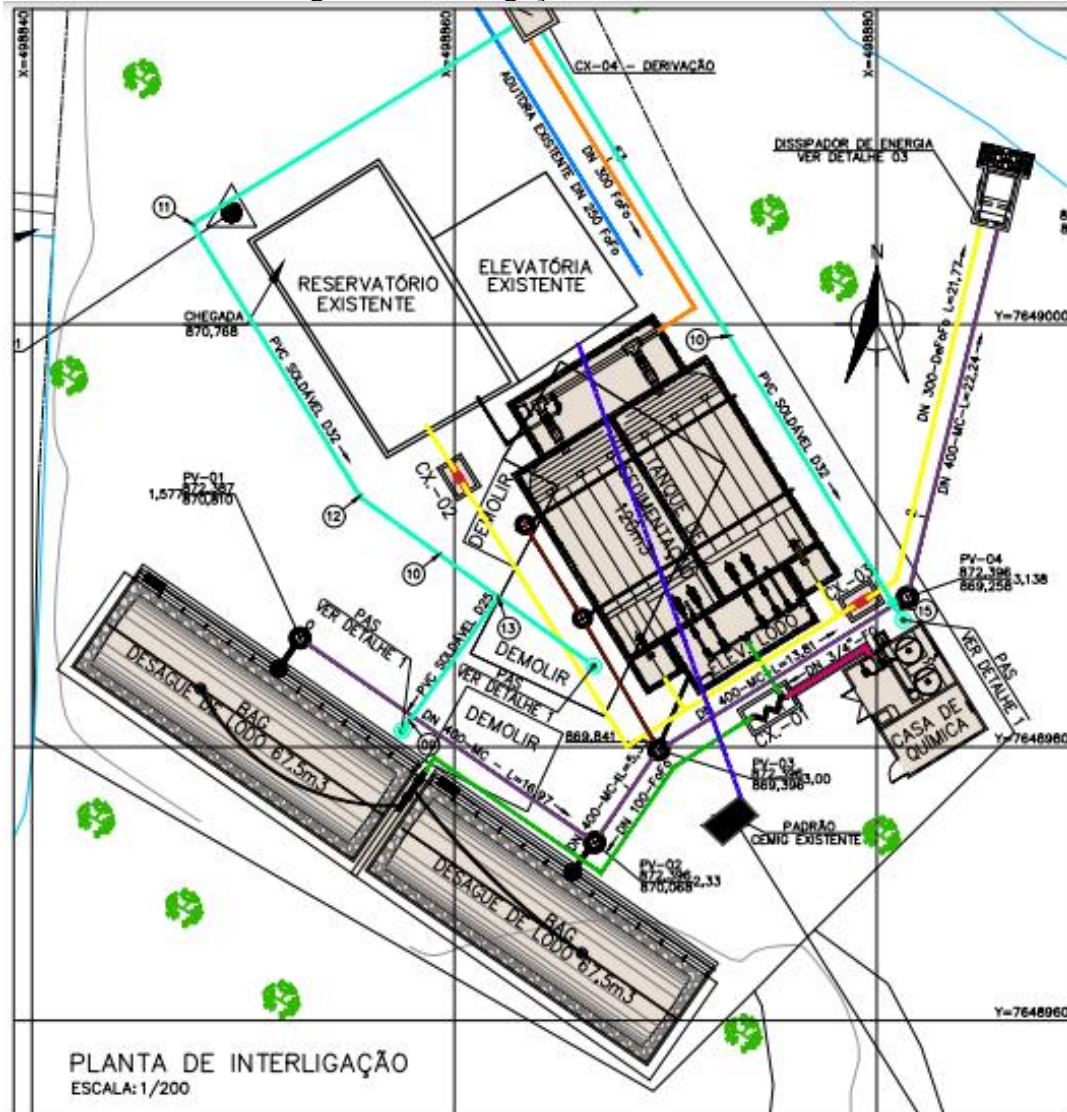
O projeto conta ainda com a construção de uma rede de distribuição de água potável, responsável pelo abastecimento dos Pontos de Água de Serviço (PAS) localizados dentro da unidade. Desta forma, as unidades descritas anteriormente e a rede de interligação das mesmas pode ser ilustrada conforme a Figura 15.

Quadro 1- Resumo das estruturas principais do projeto da UTR.

TANQUE DE SEDIMENTAÇÃO E ELEVATÓRIA DE LODO	Fundação por estacas pré-moldadas Armaduras de aço CA-50 Concreto fck 35 MPa usinado Montagens especiais em ferro fundido
SALA DE DOSAGEM E PREPARO DE POLÍMERO	Fundação por sapatas Armaduras de aço CA-50 Concreto fck 25 MPa usinado Construção civil (Alvenaria e esquadrias) Pintura
PÁTIO DE DESÁGUE DE LODO - BAGs	Lastro de Brita Assentamento de Geomembrana PEAD Montagens especiais em ferro fundido Pavimentação Assentamento do bag desaguador
DESCARGA DOS DECANTADORES E FILTROS	Sinalização nos trechos com tráfego de veículos Assentamento de tubos FoFo DN 300mm Pavimentação Caixas de manobra e poços de visita Cadastro de rede
LINHA DE RECALQUE DE LODO	Assentamento de tubos FoFo DN 100mm Caixa 01
LINHA DE ÁGUA CLARIFICADA	Assentamento de tubos PVC DN 300mm Caixas de manobra e poços de visita
LINHA DE ESGOTAMENTO DOS BAG'S	Assentamento de manilhas de concreto DN 400mm Caixas de manobra e poços de visita Execução de dissipador de energia em concreto armado

Fonte: Do autor (2022).

Figura 15- Interligações da UTR Lavras



- DESCARGA DOS FILTROS E DECANTADORES – REDE EXISTENTE DN 600–FoFo
- DESCARGA DOS FILTROS E DECANTADORES – REDE CONDUITO FORÇADO DN 300–FoFo
- LINHA DE RECALQUE DE LODO – DN 100 – FoFo
- LINHA DE ADIÇÃO DE POLÍMERO – DN 3/4" – AÇO CARBONO
- REDE DE ÁGUA CLARIFICADA DO TANQUE DE SEDIMENTAÇÃO – DN 300 – PVC DEFoFc
- LINHA DE DRENAGEM SUBSUPERFICIAL DO TANQUE DE SEDIMENTAÇÃO – DN 100
- ESGOTAMENTO DO PÁTIO DE DESÁGUE DE LODO – DN 400 – MC
- ADUTORA EXISTENTE
- LINHA DE DESCARGA DA CAIXA DE VÁLVULAS
- PAS PONTO DE ÁGUA DE SERVIÇO
- ÁGUA DE SERVIÇO
- - - ELETRODUTO ENTERRADO DE ALIMENTAÇÃO DA ELEVATÓRIA, A SER REMANEJADO.

Fonte: COPASA (2019).

3.4.1 Rede de Descarga dos Decantadores e Filtros

O diferencial deste tipo de UTR é a existência da rede de descarga dos decantadores e filtros da ETA, já que a mesma não possuía espaço suficiente para ampliação, devido a sua localização. A rede foi dimensionada para ser construída utilizando tubos de ferro fundido (FoFo) de DN 300mm (Figura 16), conduzindo a água bruta que sai dos decantadores e filtros até a entrada da UTR e desaguando no TQS.

Figura 16- Tubulação de Ferro Fundido DN 300mm.

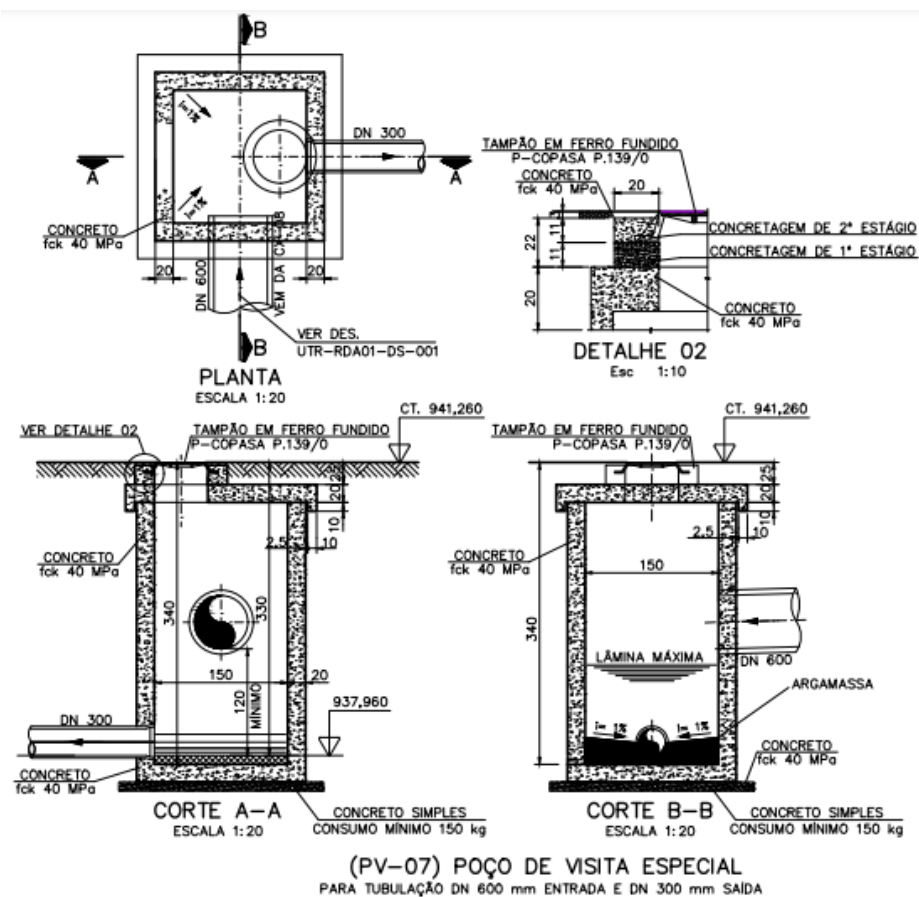


Fonte: Do autor (2022).

O traçado da rede iniciou-se na Avenida Dr. Francisco Martins de Andrade (de acesso à rodoviária da cidade), na ligação com a rede de água pluvial existente (DN 600 mm), onde até então estava sendo o destino da descarga dos decantadores e filtros da ETA. Esta rede trabalhava até então em regime de conduto livre, ou seja, a água escoava apenas por ação da gravidade.

Sobre a rede existente de diâmetro de 600 mm estava prevista a construção de uma caixa de manobra, para redirecionamento do fluxo para um poço de visita, denominado PV-07 (Figura 17), composto por um degrau de aproximadamente 1,20 m do fundo da saída da rede existente até o fundo da entrada da rede de descarga a ser construída, para transição do conduto em regime livre para o regime em conduto forçado na rede DN 300 mm.

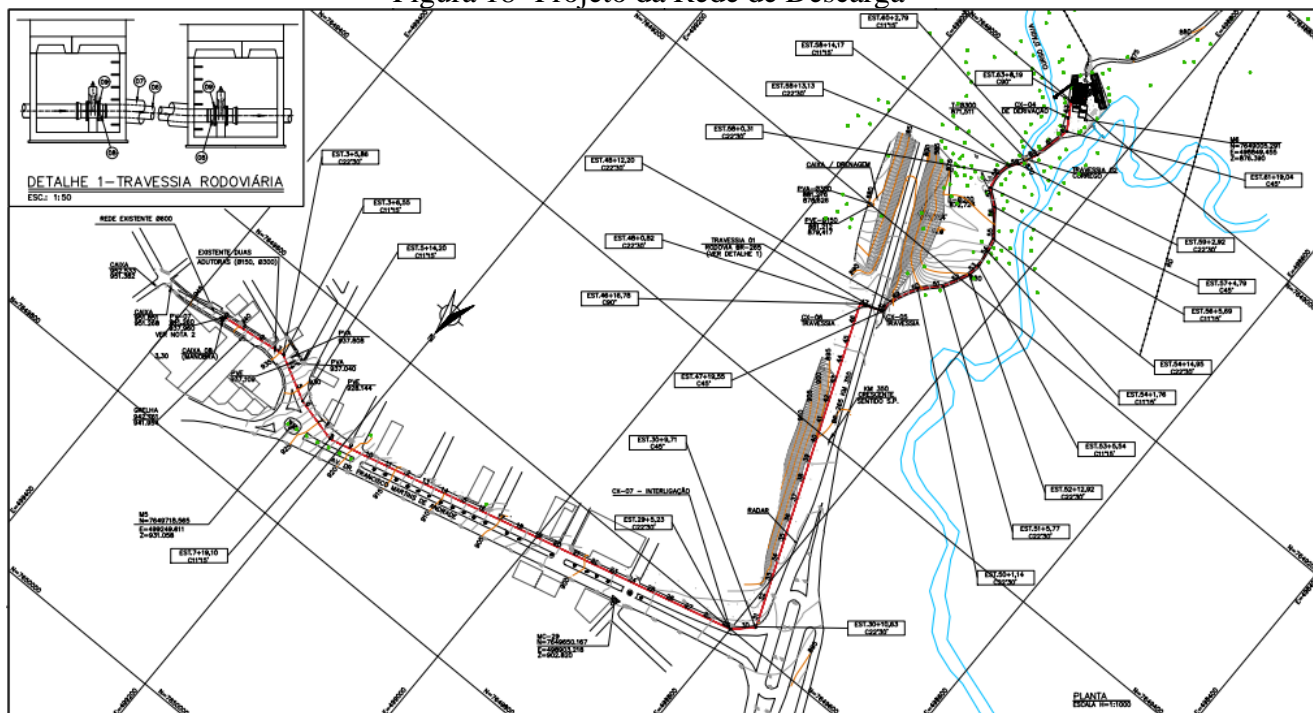
Figura 17- Poço de Visita 07.



Fonte: COPASA (2019).

Após a ligação, o encaminhamento da rede seguiria pela avenida principal, até o trevo da Rodovia BR-265, seguindo pela faixa de domínio até o ponto de travessia sob a rodovia, pelo método não-destrutível (Figura 18). Após a travessia, o traçado da rede seguiria pela estrada de terra que dá acesso aos fundos da Captação Água Limpa, com uma travessia sob o Ribeirão Água Limpa. A partir da Figura 19 pode ser observada a comparação do projeto previsto em relação ao encaminhamento pelas vias da cidade.

Figura 18- Projeto da Rede de Descarga



Fonte: COPASA (2019).

Figura 19- Traçado da Rede de Descarga dos Decantadores e Filtros.



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2022).

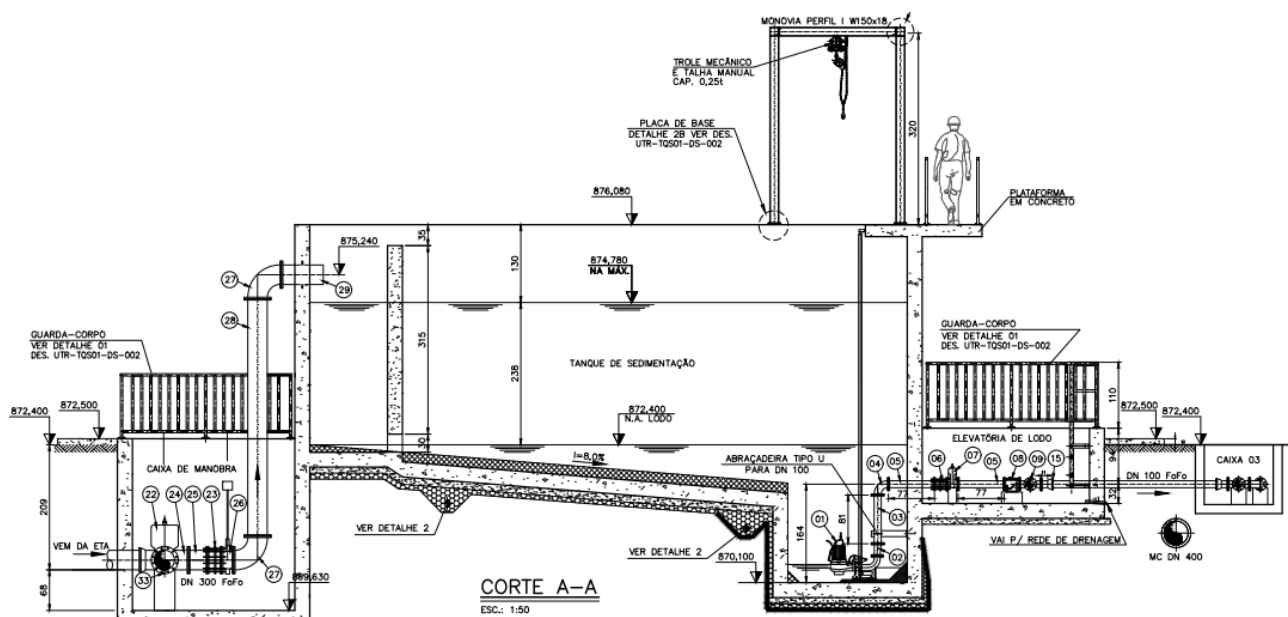
3.4.2 Tanque de Sedimentação

A estrutura do TQS foi projetada em concreto armado, contando com 37 estacas de fundação do tipo pré-moldada e composta por quatro unidades internas: uma caixa de manobra, as câmaras de sedimentação, o poço de sucção e a elevatória de lodo.

A rede de descarga conecta-se ao tanque por uma das paredes da caixa de manobra, onde estavam previstas duas válvulas (registros) para realizar a manobra (mudança do direcionamento da água) para o reservatório existente, através de uma linha de descarga da caixa de válvulas, no caso de operações necessárias. Na caixa de manobra estavam previstas duas bombas responsáveis pelo recalque do efluente até o interior do tanque. Para redução da pressão de entrada do efluente, este é direcionado para uma câmara que separa as áreas de sedimentação da área de recebimento do efluente no tanque, para que este processo não atrapalhe a decantação.

Desta forma, durante o processo de decantação, os sólidos suspensos sedimentam de forma gradual para o fundo do tanque, uma superfície construída com declive de 8% de inclinação para que as partículas sejam direcionadas e acumuladas no poço de sucção de lodo, onde localizam-se outras quatro bombas submersíveis que encaminham o lodo para a elevatória. A estrutura é mostrada na Figura 20.

Figura 20- Tanque de Sedimentação e Elevatória de Lodo.



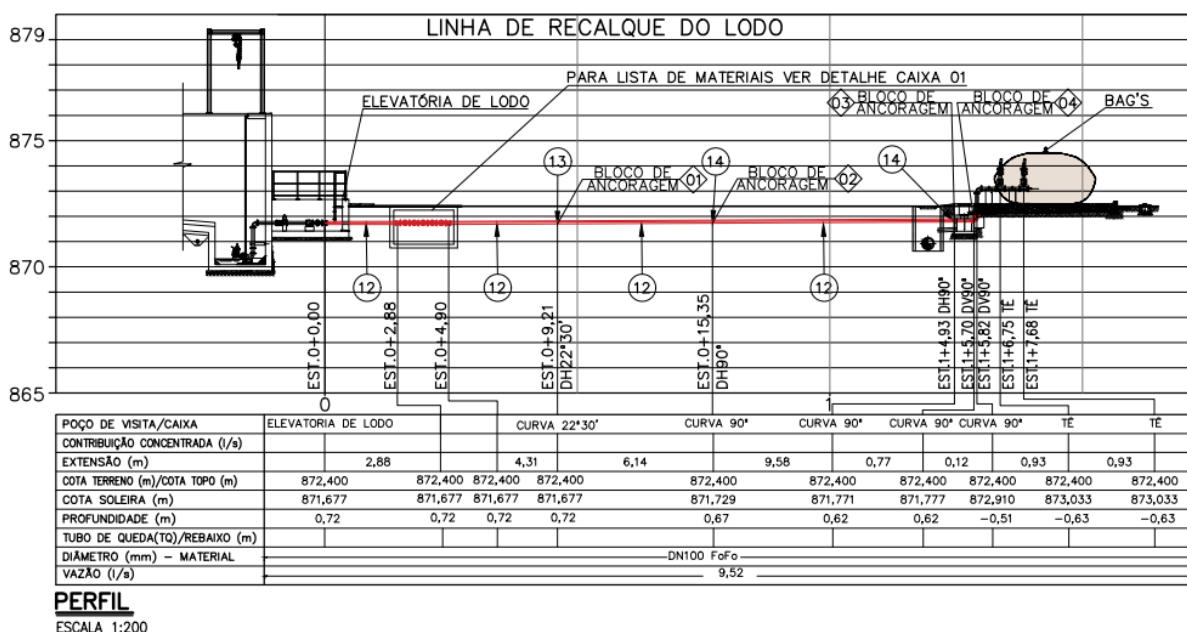
Fonte: COPASA (2019).

3.4.3 Pátio de Deságue, recirculação e redes de interligação

O lodo gerado nos tanques de sedimentação foi projetado de forma a ser conduzido por meio da linha de recalque do lodo, composta por uma tubulação de ferro fundido de 100 mm instalada em cada saída das bombas da elevatória de lodo, para direcioná-lo ao pátio de deságue. Neste estava prevista a instalação de dois *bags* fabricados com material geotêxtil, com dimensões de 3,40 x 15,00 x 1,70m e capacidade volumétrica aproximada de 67,5m³ cada. A execução do pátio de deságue resumiu-se na terraplanagem, limpeza e nivelamento do terreno, assentamento de blocos de meio fio de concreto, aplicação de uma geomembrana geotêxtil e uma camada de 30cm de brita, sobre a qual estava prevista a instalação dos *bags*.

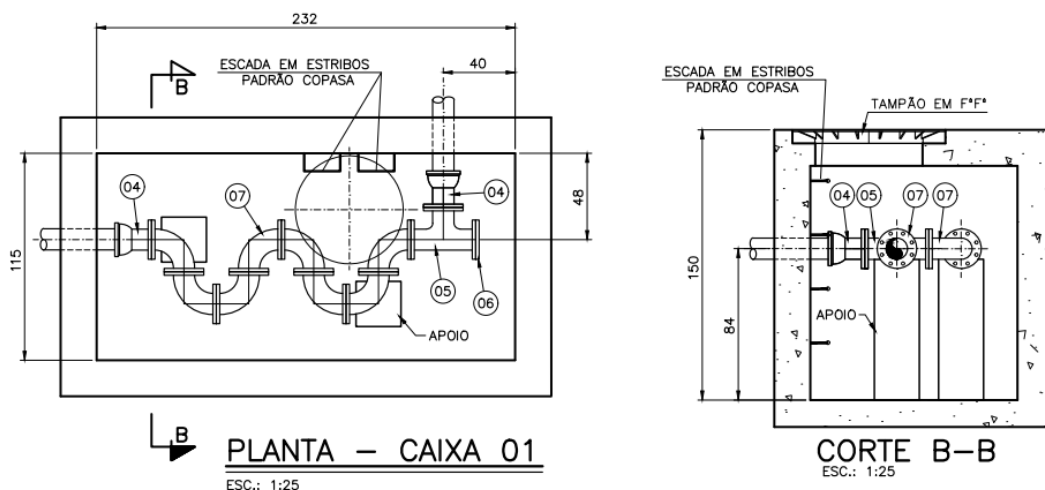
Antes do lodo ser direcionado diretamente para os *bags*, a tubulação da linha de recalque (Figura 21) passa por uma caixa (CX-01) onde é feita a adição do polímero produzido na sala de dosagem e preparo de polímeros, edificação projetada de forma a abrigar as sacas de polímero, os tanques de preparo e as bombas dosadoras. O polímero é aplicado para que o processo de desidratação dos resíduos sólidos dissolvidos seja feito de forma mais rápida e eficaz. A mistura da solução de polímero é feita no interior da caixa, por meio de uma chicana feita com curvas de 90°, conforme mostrado na Figura 22.

Figura 21- Linha de Recalque do Lodo.



Fonte: COPASA (2019).

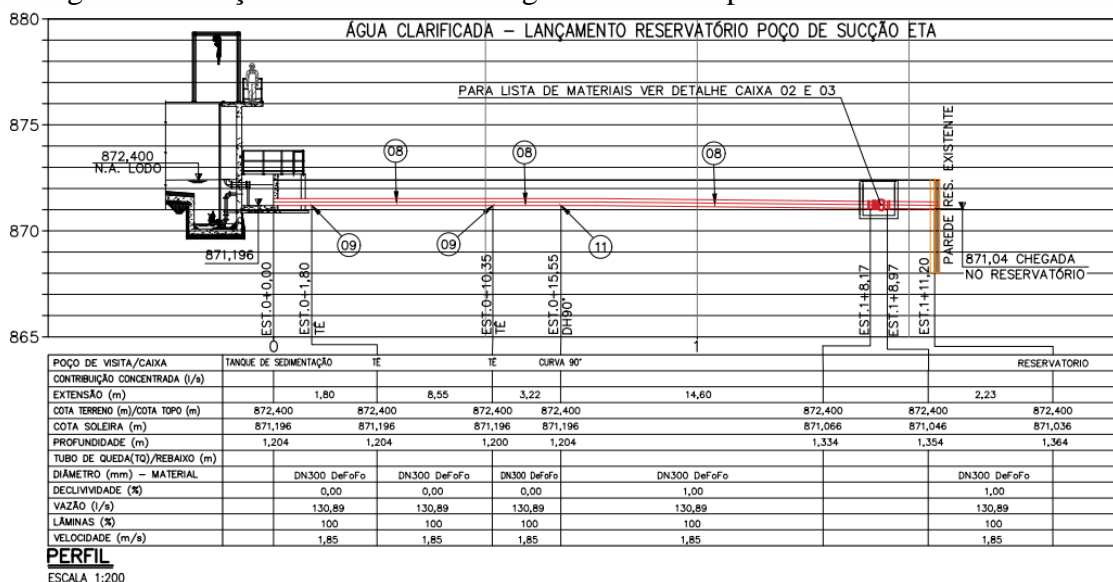
Figura 22- Caixa 01.



Fonte: COPASA (2019).

A recirculação da água clarificada será realizada por gravidade, através de uma rede de PVC com diâmetro DN 300 mm, sendo direcionada para o reservatório do poço de sucção da captação e assim recalçada de volta para o início do tratamento (Figura 23). O efluente líquido proveniente do tanque de sedimentação pode também ser descartado diretamente para o Ribeirão Água Limpa, através de uma manobra na caixa de válvulas (CX-03).

Figura 23- Lançamento da Linha de água Clarificada para o reservatório existente



Fonte: COPASA (2019).

A segunda opção (Figura 24) não é a mais usual, porém pode ser necessária caso o nível do reservatório esteja alto, ou haja a necessidade de alguma manutenção no

3.5 Parâmetros e critérios do projeto

Para o dimensionamento dos componentes básicos do sistema de tratamento de resíduos, foram necessários estabelecer alguns critérios básicos, de acordo com os dados acerca do funcionamento operacional da ETA, disponibilizados pela COPASA, conforme Tabela 5.

Tabela 5- Parâmetros e critérios de projeto.

Parâmetro	Unidade do sistema	Valores	Unidade de medida
Capacidade nominal	ETA	345,00	L/s
Concentração média de sólidos totais	ETA	25,00	g/m ³
Teor de sólidos	Decantadores	1,00	%
Produção do lodo gerado	Decantadores	90,00	%
Vazão de lodo extraída pelo removedor (por metro de largura)	Decantadores	60,00	L/min
Densidade do lodo	-	1002,00	Kg/m ³
Teor de sólidos	Filtros	0,05	%
Lavagens	Filtros	3,00	Unid./dia
Intervalo entre lavagens	Filtros	65,00	Horas
Produção do lodo gerado	Filtros	10,00	%
Quantidade	Filtros	8,00	Unidades
Área	Filtros	14,44	m ²
Velocidade de lavagem	Filtros	1,00	m/min
Tempo de lavagem	Filtros	8,00	Minutos

Fonte: Adaptado de COPASA (2019).

Os dados apresentados na Tabela 5 mostram uma análise dimensional das unidades da ETA que são responsáveis pelo descarte dos resíduos produzidos no tratamento. Esta análise foi levada em conta tanto para o dimensionamento das unidades da UTR, como para chegar em uma estimativa da quantidade de água utilizada e da quantidade de lodo produzido neste processo.

O volume de água utilizado na lavagem dos filtros foi determinado levando em consideração a área de cada filtro, a velocidade e o tempo de limpeza, chegando-se assim à quantidade gasta em m³ para limpeza de cada filtro, conforme mostrado na Equação 1.

$$V = A \times v \times t \quad (1)$$

$$V = 14,44 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m/min} \times 8 \text{ minutos} = 115,52 \text{ m}^3$$

Onde:

V – Volume de água de lavagem em cada filtro;

A – Área de cada filtro;

v – Velocidade de lavagem;

t – Tempo de lavagem.

Ao comparar os dados da Tabela 5 com o valor encontrado na Equação 1, pode-se observar que o volume médio gasto para lavagem dos filtros, considerando a limpeza de três filtros por dia, é de aproximadamente 345 m³, ou seja, um pouco mais de 1%, conforme afirmado por Fontana (2004).

A partir da vazão nominal da ETA (345 L/s), determinou-se o volume total de água produzido diariamente, para que seja avaliada a produção de sólidos a ser retirada dos decantadores e filtros, conforme mostrado na Tabela 6. Por tratar-se de dados gerais do tratamento, definiu-se que 90% dos resíduos sólidos gerados no tratamento são produzidos nos decantadores e o restante gerado na limpeza dos filtros.

Tabela 6- Valores relativos à produção de lodo da ETA Lavras

Parâmetro	Obtenção	Valor	Unidade
Vazão da ETA	(parâmetro)	345,00	L/s
Volume horário	= 345 L/s x 3.600 s/h =	1.242.000	L/h
Volume diário	= (1.242.000 L/hora x 24 horas/dia ¹) /1000 L/m ³ =	29.808	m ³ /dia
Concentração média de sólidos totais	(parâmetro)	25	g/m ³
Massa total de sólidos produzida por dia	= 0,0025 kg/m ³ x 29.808 m ³ /dia =	745,2	kg/dia

Fonte: Adaptado de COPASA (2019).

¹ Considerando funcionamento intermitente para majoração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico da implantação da UTR Lavras

Durante a execução do projeto, muitas etapas previstas em projeto se mostraram mais complexas, de acordo com a situação encontrada em campo. Além disso, algumas alterações tornam-se necessárias à medida que os serviços vão sendo desenvolvidos, devido a imprevistos que só podem ser constatados durante o acompanhamento da obra. No caso da UTR Lavras, pode-se dizer que a implantação ocorreu conforme projeto, não sendo necessárias alterações consideráveis em relação à locação das estruturas dentro da unidade, conforme segue.

4.1.1 Tanque de Sedimentação

O primeiro imprevisto encontrado na implantação do projeto foi constatado após a etapa de terraplenagem. Este foi o nível d'água do lençol freático da área de implantação do TQS e a proximidade do local em relação à elevatória Água Limpa, sendo esta a principal estrutura a ser construída, em termos de dimensões e também de complexidade.

Estavam previstas estacas metálicas para contenção da área escavada, para escorar os taludes formados na escavação da área em que estava localizada a caixa de manobras do tanque e proteger a estrutura existente dos tremores causados pelos serviços executados, conforme mostrado na Figura 26. Porém, devido à proximidade dos mananciais, o nível d'água estava muito alto, de forma a inundar o local, sendo necessário o esgotamento contínuo de água durante todas as etapas executadas abaixo do nível do terreno.

Figura 26- Estacas metálicas instaladas na área escavada.



Fonte: Do autor (2022).

Após a etapa de terraplenagem, estava prevista a execução das fundações do tanque por meio da cravação de estacas pré-moldadas. Este procedimento representou uma das maiores dificuldades de execução, devido à dinâmica do processo de cravação das estacas, caracterizado pela utilização do bate-estaca, um maquinário específico para este serviço. Os principais problemas encontrados nesta etapa estiveram relacionados diretamente ao funcionamento do bate-estaca, uma vez que este só se movimenta de forma unidirecional (para frente ou para trás).

Desta forma, devido à existência de uma rede de alta tensão que cruzava a área de locação do tanque e alimentava a elevatória existente, não foi possível criar uma passagem lateral para entrada do bate-estaca. Além disso, a localização do padrão de energia também não possibilitava a entrada do bate-estaca pela parte de trás, ou seja, pelo caminho utilizado pelas retroescavadeiras e escavadeiras hidráulicas para acessar a área, conforme mostrado na Figura 27. A solução encontrada foi contratar um poliguindaste para içar o bate-estaca para dentro da área escavada, conforme mostrado na Figura 28.

Figura 27- Caminho de entrada de máquinas e sentido da rede de alta tensão.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 28- Poliguindaste içando bate-estaca.

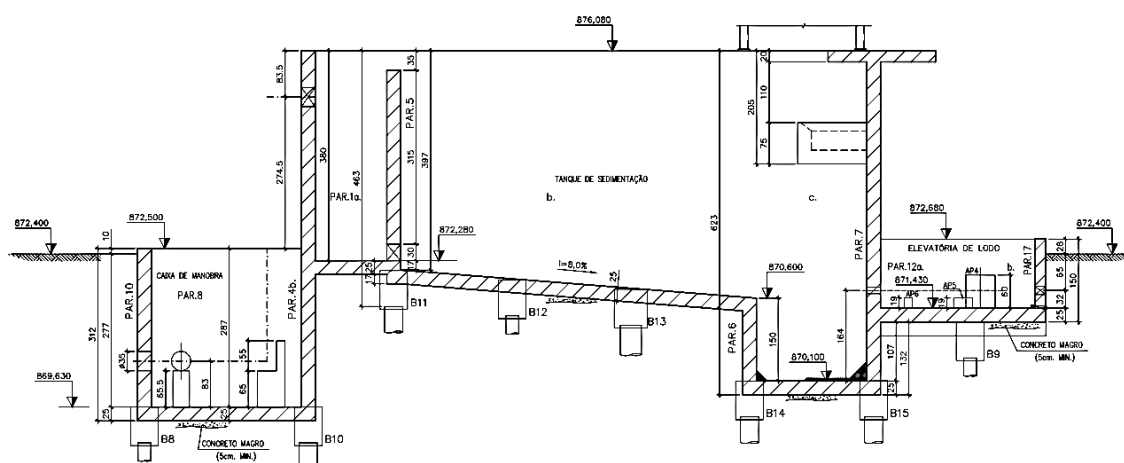


Fonte: Do autor (2022).

Outro fator em relação ao funcionamento do bate-estaca que acarretou em dificuldades de execução foi o fato do mesmo não ser capaz de cravar estacas em níveis diferentes (abaixo ou acima do nível do maquinário), sendo que cada estaca do tanque tinha a sua respectiva cota de apoio de acordo com o nível da etapa que estava sendo construída, conforme mostrado na Figura 29.

A solução encontrada foi dividir a execução da fundação por etapas, iniciando pelas estacas de menor cota de apoio (mais profundas) da caixa de manobra, executando as lajes de fundo e paredes por completo. Posteriormente, deu-se sequência na execução das estacas, blocos e lajes de níveis acima, na área das câmaras do TQS. A partir da Figura 29 pode-se observar a execução da caixa de manobra por completo e as outras estacas já cravadas e aterradas, seguindo o nivelamento proposto pelo projeto.

Figura 29- Indicação das estacas na planta de fôrmas do TQS.



Fonte: Copasa (2019).

Figura 30- Execução da Caixa de Manobra e estacas de fundação do TQS.



Fonte: Do autor.

Pode-se observar que as dificuldades encontradas durante a execução da estrutura do TQS se resumiram nos imprevistos decorrentes do andamento do serviço, principalmente em relação à locação do mesmo, quando observada a logística de execução.

4.1.2 Rede de Descarga

A execução da rede de descarga dos decantadores e filtros foi considerada desde o início como o maior desafio em relação aos serviços previstos no projeto. Desta forma, os imprevistos já eram esperados por se tratar de um encaminhamento por uma das principais avenidas de acesso à cidade (acesso à rodoviária) e da execução da travessia sob a Rodovia BR-265. Durante as fases preliminares, no início da obra, foram realizados estudos de campo para buscar alternativas em relação ao encaminhamento da rede, de modo a evitar as dificuldades previstas.

A execução da travessia sob a BR-265 foi o principal foco dos estudos. Por tratar-se de um trecho de pista única e intenso tráfego de veículos (principalmente caminhões), foram levantadas hipóteses para desviar a travessia daquele trecho específico, por meio de visitas de campo nas proximidades daquela região. Durante este processo, foi encontrada a galeria em que passava a adutora de água bruta da captação Água Limpa, como mostrado na Figura 31.

Figura 31- Galeria encontrada para passagem das redes.



Fonte: Do autor (2022).

A solução encontrada possibilitou a mudança no encaminhamento da rede da melhor maneira possível, evitando quaisquer intervenções nas proximidades da rodovia,

como pode ser observado na Figura 32. Após a travessia, o encaminhamento seguiria o previsto no projeto, até a entrada da unidade.

Desta forma, pode-se dizer que as principais estruturas do sistema da UTR apresentaram poucas dificuldades expressivas durante a execução dos serviços, diante do previsto em projeto, possibilitando o desenvolvimento das etapas sem maiores problemas. O resumo das dificuldades e alterações necessárias é mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Resumo das dificuldades e alterações necessárias durante a execução.

Unidade	Dificuldades Encontradas	Previsão em Projeto	Solução encontrada em obra
TQS	Nível do lençol freático acima do previsto	N.A. abaixo do nível de execução da fundação do TQS	Esgotamento contínuo de água com bomba
	Falta de espaço para acesso do bate estaca na área do tanque	Acesso direto pelas laterais	Guindaste para içar o bate estaca
	Operação do bate estaca na execução da fundação do tanque	Cravação das estacas em níveis diferentes	Execução por etapas completas, iniciando pela Caixa de Manobras
Rede de descarga	Encaminhamento da rede, da ETA à UTR	Passagem pela avenida principal de acesso e às margens da rodovia	Mudança de encaminhamento, por dentro do bairro
	Travessia sob rodovia	Execução pelo método não-destrutível	Passagem pela galeria existente

Fonte: Do autor (2022).

Figura 32- Novo encaminhamento da Rede de Descarga.



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2022).

4.2 Comparação com outras UTRs implantadas

A título de comparação, considerou-se também a execução das obras das UTRs de Varginha e Itajubá, também em Minas Gerais. Por isso, ambas seguiram o mesmo padrão de projeto, mas diferentemente do caso de Lavras, em ambas havia espaço suficiente para implantação da UTR dentro das respectivas ETAs. As diferenças encontradas nestes projetos estão basicamente relacionadas à adaptação das estruturas para que fossem agregadas ao processo de tratamento de água.

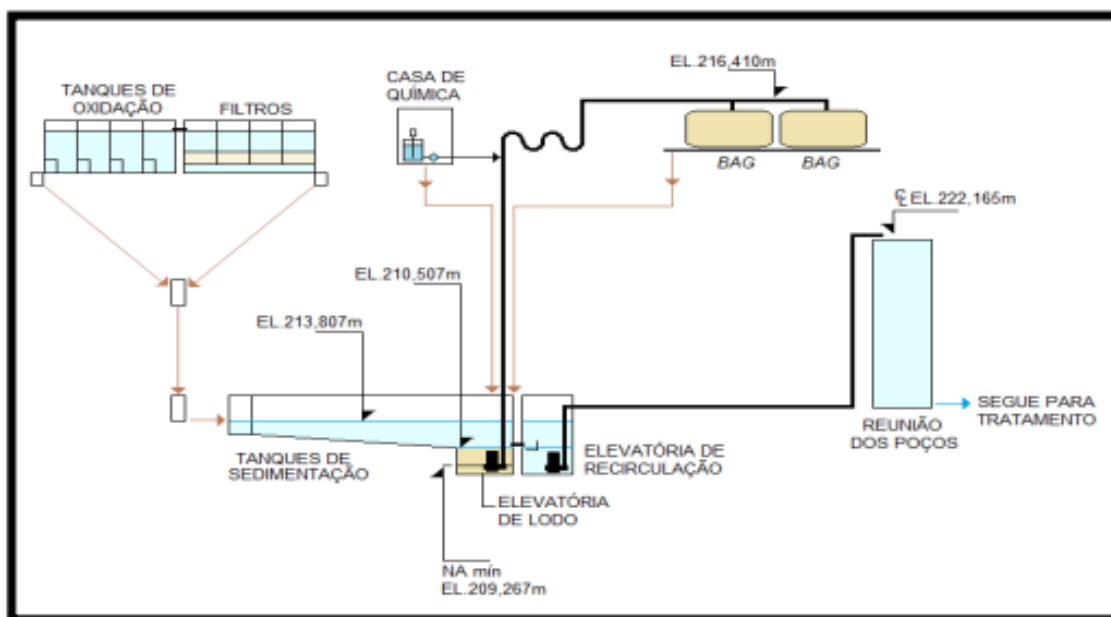
A UTR de Varginha contou com a execução de canaletas de fibra de vidro para encaminhar a água de lavagem dos filtros, dos decantadores para o tanque de sedimentação, composto por duas câmaras com capacidade para 200m³ cada. Além disso, estava prevista a instalação de removedores de lodo mecanizados submersos nos decantadores.

Já a UTR de Itajubá, considerou a utilização de duas unidades existentes e até então desativadas como TQS, após realização de obras de melhorias e adequação. Além destas alterações, ambos os projetos consideravam a construção de elevatória de lodo, casa de química, pátio de deságue de lodo com bags e elevatória de recirculação, com objetivo de encaminhar o sobrenadante dos TQS para os respectivos canais de chegada das ETAs.

Pereira (2018) propôs um projeto de intervenção para o tratamento de resíduos da ETA do Sistema Integrado Vale do Aço, localizada em Ipatinga, com o objetivo de melhorar a qualidade da água do Rio Piracicaba (em que eram despejados os resíduos do tratamento) e conseqüentemente do Rio Doce, uma referência dentre as principais bacias hidrográficas do Brasil. A estrutura da UTR contemplou a implantação de dois TQS com capacidade volumétrica para 406 m³, elevatórias de lodo e de recirculação de sobrenadante (água clarificada), pátio de desidratação composto por *bags* e leito de drenagem e também de dosador para aplicação de polímeros, conforme mostrado na Figura 33.

Pode-se observar que estas três outras UTRs (assim como a UTR Lavras) foram construídas seguindo a mesma concepção básica do sistema, com base no projeto padrão COPASA. Por este motivo, pode-se observar que foram utilizados os mesmos parâmetros para os procedimentos de cálculo para dimensionamento e funcionamento do projeto, conforme mostrado na Tabela 8.

Figura 33- Sistema proposto para a UTR do Sistema Integrado Vale do Aço.



Fonte: Pereira (2018)

Tabela 7- Comparação dos parâmetros das ETAs utilizados para as respectivas UTRs.

Parâmetros	UTR Lavras	UTR Varginha	UTR Itajubá	UTR Ipatinga
Tipo da ETA	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional
Capacidade nominal (L/s)	345,00	305,00	375,00	1150,00
Volume diário (m ³ /dia)	29808,00	26352,00	32400,00	99360,00
Concentração média de sólidos totais (g/m ³ /dia)	25,00	25,00	25,00	8,00
Massa de sólidos totais (kg/dia)	745,20	658,80	810,00	794,88
Quantidade de filtros (unid.)	8,00	8,00	6,00	8,00
Área dos filtros (m ²)	14,44	20,90	22,01	50,75
Velocidade de lavagem (m/min.)	1,00	1,00	1,00	1,00
Tempo de lavagem dos filtros (min.)	8,00	8,00	8,00	8,00
Volume de água gasto para lavagem (m ³ /unid.)	115,52	167,20	176,08	406,00

Fonte: Adaptado de COPASA (2019) e Pereira (2018).

Ao analisar a Tabela 7, pode-se observar que a UTR Rio Ipatinga apresenta valores de vazão e volume diário produzido que superam os valores das outras três UTRs juntas. Apesar disso, a concentração média dos sólidos adotada foi bem inferior às demais, devido às diferenças nos processos de tratamento, dimensões do sistema como um todo e diferenças nas características da água bruta captada. Desta forma, a massa de sólidos gerada permaneceu na média das UTRs de Lavras, Varginha e Itajubá, que por sua vez, possuem parâmetros de funcionamento muito semelhantes.

Conforme relatado por Pereira (2018), a determinação dos parâmetros de projeto foi realizada a partir do histórico das UTRs que se encontram em funcionamento, conforme acordo com o Setor de Projetos da COPASA. Os projetos padrões abordados no presente trabalho foram elaborados com base nas legislações vigentes e normatização técnica específica a serem seguidos, de forma a padronizar os parâmetros adotados.

Desta forma, pode-se observar que a análise não leva em consideração a individualidade de cada projeto, quando usados os mesmos parâmetros. Apesar da funcionalidade do projeto ser comprovada historicamente, pode-se observar que devido à padronização, algumas adaptações tornam-se necessárias com o passar do tempo, visando a melhoria do processo de acordo com as diferenças e especificidades no funcionamento de cada sistema, conforme relatado por Paiva e Parreira (2012).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as referências encontradas na literatura, pode-se observar que a metodologia de tratamento de resíduos de ETA é padronizada, de forma que a concepção das UTRs segue um modelo complementar ao ciclo completo de tratamento de água, sendo composta por unidades para adensamento (TQS), desidratação e deságue (dosagem de polímeros, leito de secagem, pátio de deságue) do lodo.

Porém, o local de implantação pode se tornar um problema na ausência de espaço para ampliação da ETA, como no caso da UTR Lavras. A partir deste trabalho, pode-se observar que a escolha do local de implantação da UTR pode considerar locais fora da área da ETA, desde que a concepção do projeto seja feita cuidadosamente, atendendo-se para os detalhes da execução e correto funcionamento do sistema.

Durante a elaboração do projeto, nota-se a importância das visitas preliminares em campo para estudos de viabilidade de execução, evitando-se ao máximo a ocorrência de imprevistos. Este fato pode ser observado ao avaliar a execução de fundações de tanques de sedimentação (principalmente as pré-moldadas) em que se faz necessária uma atenção especial nas formas de execução, na análise preliminar da etapa de elaboração do projeto, para que o maquinário tenha as condições necessárias para executar o serviço.

Além disso, ao tratar-se de UTRs em áreas fora das ETAs, deve ser dada uma atenção especial para o projeto de rede, devido às adversidades encontradas principalmente na execução deste tipo de serviço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C L; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, João Sérgio. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 115-122, 2013.

ANDREOLI, C. V. et al. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. **Rio de Janeiro: RiMa/ABES**, 2001.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (ARSAE – MG). Disponível em: <<http://www.arsae.mg.gov.br/>>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. **Rio de Janeiro**, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. **Rio de Janeiro**, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 12213/1992 - “**Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público**”.

BRASIL. (2020). **Lei 14026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal de Saneamento Básico. <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/875819060/lei-14026-20>.

BRASIL. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2011, Seção 1, do dia 26 seguinte, página 266.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357/2005**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui A Política Nacional De Resíduos Sólidos. **Brasília:** Diário Oficial da União, 03 ago. 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 mai. 2021, seção 1, ed.58, p. 127.

BRASIL. **Lei Federal No 6.938 de 31 de agosto de 1981** (Política Nacional do Meio Ambiente).

BRASIL. **Lei Nº. 9.605 de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BOTERO, W. G. et al. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Química nova**, v. 32, p. 2018-2022, 2009.

COELHO, R. V. et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 2, 2015.

MEMORIAIS COPASA – COPASA, 2019 – MEMORIAL DO CONTRATO – DISPONIVELM. Disponível em: <https://www2.copasa.com.br/PortalComprasPrd/#/pesquisaDetalhes/0264033800071EEB91A913E21FBCCFE4>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed., Vol. 2. São Carlos: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D.; VOLTAN, P.E.N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDiBe, 2012.

DA SILVA, C. A. et al. Classificação dos lodos formados durante o processo de coagulação/floculação da água com os coagulantes PAC e Moringa Oleífera. **Engevista**, v. 14, n. 3, 2012.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros – estudo de caso – ETA Cardoso**. 2004. 161 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

FUNDECC. Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural – FUNDECC. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: por FUNDECC. – Lavras, Minas Gerais: [s.n.], 2017.

GRANDIN, S. R; ALÉM SOBRINHO, P. **Desidratação dos lodos produzidos nas estações de tratamento de água**. 1992.

HELLER, L.; PÁDUA, VL de. Abastecimento de água para consumo humano. rev. e atual. **Belo Horizonte: Editora UFMG**, v. 1, 2010.

ISO – International Organization for Standardization. (2007c) ISO 24512. Activities relating to drinking water and wastewater services: guidelines for the management of drinking water utilities and for the assessment of drinking water services. **ISO TC 224**, 54 p.

LUSTOSA, J B. et al. Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. **Revista Dae**, v. 65, n. 206, p. 44-61, 2017.

MOTTA, Maurício Alves da et al. Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, p. 761-771, 2019.

PAIVA, W. M.; PARREIRA, Renato LuisTame. Resíduos das estações de tratamento de água (ETA). **Linguagem Acadêmica, Batatais**, v. 2, n. 2, p. 83-96, 2012.

PEREIRA, L. **Implantação de Unidade de Tratamento de Resíduos no Sistema Integrado Vale do Aço e Recirculação da Água para o Processo de Tratamento**. 2018.

RICHTER, C A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. Editora Blucher, 2001.