

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos
Hídricos

Diego Augustus Senna Electo Queiroz

SANEAMENTO 5.0:
PROPOSTA DE SERIOUS GAME PARA A EDUCAÇÃO INCLUSIVA EM
ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO CONTEXTO DA SOCIEDADE 5.0

Belo Horizonte

2021

Diego Augustus Senna Electo Queiroz

**SANEAMENTO 5.0:
PROPOSTA DE SERIOUS GAME PARA A EDUCAÇÃO INCLUSIVA EM
ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO CONTEXTO DA SOCIEDADE 5.0**

Versão final.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento.

Linha de pesquisa: Políticas Públicas.

Orientadora: Profa. Dra. Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima.

Belo Horizonte

2021

Q3s

Queiroz, Diego Augustus Senna Electo.

Saneamento 5.0 [recurso eletrônico] : proposta de serious game para a educação inclusiva em esgotamento sanitário no contexto da Sociedade 5.0 / Diego Augustus Senna Electo Queiroz. – 2021. 1 recurso online (xi, 195 f.: il. color.) : pdf.

Orientadora: Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices e anexos: 157-195.

Bibliografia: f. 146-156.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Saneamento - Teses.
3. Indústria - Teses. 4. Educação inclusiva - Teses. 5. Esgotos - Teses.
5. Políticas públicas - Saneamento - Teses. I. Rezende, Sonaly Cristina, 1972-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.
III. Título.

CDU: 628(043)

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Roseli Alves de Oliveira CRB/6 2121
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
[ESCOLA DE ENGENHARIA]
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO / PÓS-GRADUAÇÃO EM [SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS]

FOLHA DE APROVAÇÃO

["Saneamento 5.0: Proposta de Serious Game para a
Educação Inclusiva em Esgotamento Sanitário no Contexto da Sociedade 5.0 "]

SENNA ELECTO QUEIROZ]

[DIEGO AUGUSTUS

Dissertação de Mestrado] defendida e aprovada, no dia [09 de julho de 2021], pela Banca Examinadora designada pelo [Colegiado do Programa de Pós-Graduação **EM SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**] da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

[Profa. Dr. Jurema Suely de Araújo Nery Ribeiro] - **Membro Externo**

[PUC MINAS]

[Prof. Marcos Von Sperling] - **Membro Interno**

[UFMG]

[Profa. Profa. Dra. Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima - **Orientadora**]

[UFMG]

APROVADA PELO COLEGIADO DO PPG SMARH

Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima - Coordenadora

Horizonte, 09 de julho de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Jurema Suely de Araújo Nery Ribeiro, Usuário Externo**, em 10/02/2022, às 23:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Von Sperling, Professor do Magistério Superior**, em 18/02/2022, às 10:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 23/02/2022, às 14:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1244691** e o código CRC **564A5FF7**.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Criador, por minha existência e pela permissão de estar nesta dimensão, neste tempo, neste espaço geográfico e no convívio com pessoas tão especiais...

À sociedade brasileira, por minha posição circunstancial entre tantos desiguais...

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de pesquisador científico, que promove melhores condições para a formação de mestres e doutores...

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) que, juntamente com a CAPES, forneceram recursos para o desenvolvimento de nosso software. Também à Fundação Christiano Ottoni (FCO), que atuou como apoiadora...

À Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), *alma mater*, por ter-me acolhido como um de seus filhos...

À Escola de Engenharia (EE-UFMG), aos Mestres, aos colegas e a todos os colaboradores, enfim, à Comunidade Acadêmica, que validaram minha oportunidade de usufruir da excelência do ensino...

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgotos (INCT ETEs Sustentáveis), pelo apoio na concepção, no projeto e no conteúdo teórico do software...

Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) e ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPG-SMARH), que desde 1972 oferecem o curso de Mestrado, referência na preparação de pesquisadores, na formação de docentes e no desenvolvimento das pesquisas científica e tecnológica, do qual tive a honra de participar...

À Professora Doutora Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima, Coordenadora do PPG-SMARH, minha Orientadora, exemplo de dedicação, ética e humanidade, pela inspiração e imprescindível apoio na idealização, concepção, orientação e concretização deste projeto...

À Equipe do INCT ETEs Sustentáveis, especialmente ao seu Coordenador, Professor Doutor Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, à Izabel Cristina Chiodi de Freitas e à Lívia Cristina Silva Lobato, Coordenadoras da Equipe Executiva...

Aos colaboradores e amigos Luiz Philippe Pereira Amaral, aluno do curso de Ciência da Computação, do Instituto de Ciências Exatas (ICEEx) da UFMG, que atuou como desenvolvedor e programador na construção do aplicativo, e Guilherme Araujo de Vasconcelos e Almeida, colega engenheiro civil, formado pela UFMG, que atuou na etapa de pesquisa qualitativa...

A todos os participantes das entrevistas e grupos focais, cujos nomes é imperioso omitir, por determinação de normas acadêmicas, por suas contribuições essenciais na construção deste projeto...

À minha Família, aos meus pais e à minha irmã, meu círculo mais reservado, pelo apoio incondicional à expansão de meu universo...

Finalmente, nem por isso menos importante, sou muitíssimo grato a todos os que não foi possível nominar nesta seção, mas que merecem sentir-se aqui representados, que, com apoio, atenção, confiança, incentivo, motivação e paciência, contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho, elevando minha resiliência, bússola em mares revoltos e terras bravias, fazendo-me crescer e entender que pela conquista de conhecimentos é possível almejar sabedoria.

“O homem científico não pretende alcançar um resultado imediato. Ele não espera que suas ideias avançadas sejam imediatamente aceitas. Seus trabalhos são como sementes para o futuro. Seu dever é lançar as bases para aqueles que estão por vir e apontar o caminho.”

Nikola Tesla

Humanista, Inventor, Engenheiro Eletrotécnico e Engenheiro Mecânico Sérvio

Áustria, 10/7/1856 – Nova Iorque, 7/1/1943.

RESUMO

Serviços de saneamento são imprescindíveis mecanismos promotores da qualidade de vida. Dependem, necessariamente, de duas categorias de elementos indissociáveis e igualmente importantes: os estruturais, relacionados à provisão de infraestrutura, e os estruturantes, voltados à gestão para a continuidade e a correta utilização das soluções. A adoção de ações estruturantes pouco efetivas – ou mesmo sua ausência – traduz-se em fragilidade que pode resultar em prejuízos, ineficiência ou insustentabilidade. A educação dos usuários, visando à apropriada utilização das estruturas sanitárias, é essencial. O uso inadequado de sistemas de esgotamento sanitário – que ocorre por descarte de resíduos em aparelhos sanitários e redes coletoras, resultando em transtornos para a coleta e o tratamento de esgotos – é reflexo da falta de suficiente orientação da população. Novas metodologias de aprendizado, envolventes e inclusivas, são necessárias para promover a sensibilização. A resposta pode estar no contexto socioeconômico, decorrente da Indústria 4.0, que tem provocado extensas mudanças culturais em direção à transformação digital: a Sociedade 5.0, que promove a utilização de tecnologias como suporte à prosperidade social. Nesse cenário, formulações como “gamificação” e “*serious games*”, apoiadas por aprendizagem móvel, têm despertado cada vez mais interesse, tendo em vista que constituem poderosas ferramentas para a transmissão de conhecimento. Este trabalho encontra-se inserido em duas temáticas de pesquisa do INCT ETEs Sustentáveis e busca: i) caracterizar a composição dos esgotos e as consequências da má utilização dos aparelhos sanitários e redes de coleta, considerando as perspectivas de gestores de estações de tratamento de esgotos (ETEs) e de usuários dos sistemas; e ii) modelar, desenvolver e validar uma plataforma educacional em formato de *serious game*. Para analisar as perspectivas dos trabalhadores de ETEs, foram realizadas entrevistas semiestruturadas e análises de dados quantitativos relativos às operações. Para analisar as perspectivas dos usuários – com foco em jovens de 18 a 34 anos, público central do aplicativo –, foram conduzidos grupos focais. O software, “The Flush!”, foi desenvolvido por meio da plataforma Unity para computadores e smartphones e baseia-se em um modelo de coleta de resíduos descartados na rede, contendo também minijogo de quiz. Aborda, além do problema central, aspectos técnicos, gerenciais e de sustentabilidade. A recepção do projeto, mostrado nos grupos focais, foi positiva. Espera-se contribuir para a construção do “Saneamento 5.0”.

Palavras-chave: Saneamento 5.0. Sociedade 5.0. Indústria 4.0. Serious games. Esgotamento sanitário.

ABSTRACT

Sanitation services are indispensable mechanisms that promote quality of life. They depend, necessarily, on two categories of inseparable and equally important elements: structural, related to the provision of infrastructure, and structuring, directed to the management for continuity and correct use of solutions. The adoption of ineffective structuring actions – or even their absence – translates into a fragility that can result in losses, inefficiency or unsustainability. The education of users, aiming at the appropriate use of sanitary structures, is essential. The inadequate use of sewage systems – which occurs due to the disposal of residues in sanitary devices and sewer networks, resulting in problems for collection and treatment of sewage – is a reflection of the lack of sufficient orientation of the population. New learning methodologies, engaging and inclusive, are needed to promote awareness. The answer may lie in the socio-economic context, a result of Industry 4.0, which has provided extensive cultural changes towards digital transformation: Society 5.0, which promotes the use of technologies to support social prosperity. In this scenario, formulations such as “gamification” and “serious games”, supported by mobile learning, have aroused more interest, considering their potential as powerful tools for the transmission of knowledge. This work is inserted in two research themes of INCT ETEs Sustentáveis and seeks: i) to characterize the composition of sewage and the consequences of the misuse of sanitary devices and sewer networks, considering the perspectives of managers of sewage treatment plants and system users; and ii) model, develop and validate an educational platform based on a serious game. To analyze the perspectives of plant workers, semi-structured interviews and analysis of quantitative data relative to operations were carried out. Focus groups – addressing people aged 18 to 34, the central audience of the application – were conducted to analyze the users’ perspectives. The software, “The Flush!”, was developed through the Unity platform for computers and smartphones and is based on a model of collecting residues discarded in the network, also containing a quiz minigame. It addresses, in addition to the central problem, technical, managerial and sustainability aspects. The reception of the project, shown during the focus groups, was positive. It is expected to contribute to the construction of a “Sanitation 5.0”.

Keywords: Sanitation 5.0. Society 5.0. Industry 4.0. Serious games. Sewage system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Interface principal do jogo “Darfur is Dying”.....	49
Figura 2: Interface de uma das etapas do jogo “FloodSim”.....	50
Figura 3: Jogo sobre conservantes.....	51
Figura 4: Jogo sobre reciclagem.....	51
Figura 5: Resumo esquemático da metodologia.....	52
Figura 6: Problemas causados por águas pluviais e detritos.....	64
Figura 7: Jogo “Plants vs Zombies”.....	109
Figura 8: Jogo “Perguntados”.....	111
Figura 9: Jogo "Candy Crush Saga".....	112
Figura 10: Jogo “Bloons TD 6”.....	115
Figura 11: Jogo “Guitar Hero III – Legends of Rock”.....	121
Figura 12: Jogo "Timberman".....	122
Figura 13: Primeiro modelo conceitual do aplicativo.....	122
Figura 14: Primeiro protótipo do aplicativo.....	124
Figura 15: Primeiro projeto CAD da interface do aplicativo.....	124
Figura 16: Segundo projeto CAD da interface do aplicativo.....	125
Figura 17: Versão final do projeto CAD da interface do aplicativo.....	126
Figura 18: Arte final da interface do aplicativo.....	128
Figura 19: Aplicativo em funcionamento.....	128
Figura 20: Menu de abertura do aplicativo.....	129
Figura 21: Menu intermediário do aplicativo, mostrado entre níveis.....	130
Figura 22: Interface da loja de itens do aplicativo.....	130
Figura 23: Descrição de itens na loja do aplicativo.....	131
Figura 24: Minijogo de quiz do aplicativo.....	133
Figura 25: Menu de “Wiki da ETE” do aplicativo.....	133
Figura 26: Descrição de itens no menu de "Wiki da ETE" do aplicativo.....	134
Figura 27: Menu de “Wiki dos Resíduos” do aplicativo.....	134
Figura 28: Descrição de itens no menu de "Wiki dos Resíduos" do aplicativo.....	135
Figura 29: Sistemas de ranking e mensagens do aplicativo.....	136
Figura 30: Créditos do aplicativo.....	138
Figura 31: QR Code – Smartphone.....	139
Figura 32: QR Code – Navegador.....	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Heurísticas recomendadas para o desenvolvimento de <i>serious games</i>	48
Quadro 2: Identificação das entrevistas realizadas.....	56
Quadro 3: Descrição dos participantes dos grupos focais.....	60
Quadro 4: Roteiro para a condução de grupos focais.....	61
Quadro 5: Simbologia adotada para as transcrições.....	65
Quadro 6: Etapas de desenvolvimento do software.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Atendimento por redes de AA e ES considerando as cinco macrorregiões.....	24
Tabela 2: Proporção de detritos coletados no gradeamento de três ETEs francesas.....	31
Tabela 3: Volumes de areia retidos em desarenadores segundo referências da literatura.....	34
Tabela 4: Acesso à Internet e posse de telefones celulares no Brasil para o ano de 2019.....	42
Tabela 5: Uso de telefones celulares e Internet no Brasil, em 2019, por faixas etárias.....	43
Tabela 6: Dados mensais de operação do tratamento preliminar na ETE A.....	73
Tabela 7: Dados mensais de operação do tratamento preliminar na ETE B.....	74
Tabela 8: Análise estratificada de resíduos e areia no tratamento preliminar da ETE A.....	76
Tabela 9: Caçambas do tratamento preliminar da ETE A transportadas para o aterro.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AA	Abastecimento de Água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Análise de Conteúdo
AD	Análise do Discurso
APK	Android Package
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CAD	Computer Aided Design
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CESB	Companhia Estadual de Saneamento Básico
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNS	Conselho Nacional de Saúde
COEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPS	Cyber Physical Systems
CSJ	Companhia de Saneamento de Jundiaí
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio (medida após período de 5 dias)
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
DHAES	Direito Humano à Água e ao Esgotamento Sanitário
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EA	Enterprise Architecture
EE	Escola de Engenharia
EI	Enterprise Integration
ES	Esgotamento Sanitário
ESA	Entertainment Software Association
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FCO	Fundação Christiano Ottoni
FOG	Fat, Oil and Grease
GF	Grupo Focal

GWAP	Games With a Purpose
HCI	Human-Computer Interaction
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICT	Information and Communication Technologies
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
IoT	Internet of Things
ISBSG	International Software Benchmarking Standards Group
LDNSB	Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico
MAP	Manejo de Águas Pluviais
MO	Matéria Orgânica
MRS	Manejo de Resíduos Sólidos
O&G	Óleos & Graxas
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração ao Crescimento
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
PUC Minas	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
PV	Poço de Visita
RI	Revolução Industrial
SISNEP	Sistema Nacional de Informações sobre Ética em Pesquisa
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNA	Centro Universitário Una
UNESP	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	21
3.1 SANEAMENTO EM PERSPECTIVA: POR QUE HÁ FALTA DE ENGAJAMENTO?.....	21
3.2 COMPOSIÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO: MATERIAIS, IMPACTOS E POSSIBILIDADES DE RECUPERAÇÃO. .	29
3.3 “SANEAMENTO 5.0”: EMBASAMENTO E OPORTUNIDADES.....	37
3.4 EDUCAÇÃO PARA O “SANEAMENTO 5.0”: APRENDIZAGEM MÓVEL, GAMIFICAÇÃO E SERIOUS GAMES. .	41
4 METODOLOGIA.....	52
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LANÇAMENTO DE MATERIAIS E SEUS IMPACTOS.....	53
4.1.1 <i>Coleta de informações sob as perspectivas de trabalhadores de ETEs.....</i>	<i>55</i>
4.1.2 <i>Coleta de informações sob as perspectivas do público de interesse.....</i>	<i>58</i>
4.1.3 <i>Identificação de lacunas de compreensão e pontos relevantes.....</i>	<i>65</i>
4.2 MODELAGEM, DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO SOFTWARE.....	69
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LANÇAMENTO DE MATERIAIS E SEUS IMPACTOS.....	73
5.1.1 <i>Análises quantitativas de dados relativos às operações das ETEs.....</i>	<i>73</i>
5.1.2 <i>Caracterização dos esgotos sob as perspectivas de trabalhadores de ETEs.....</i>	<i>78</i>
5.1.3 <i>Caracterização dos esgotos sob as perspectivas do público de interesse.....</i>	<i>95</i>
5.1.4 <i>Identificação de lacunas de compreensão e pontos relevantes.....</i>	<i>116</i>
5.2 APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE.....	120
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	140
7 RECOMENDAÇÕES.....	143
REFERÊNCIAS.....	146
APÊNDICE A – ROTEIRO SEMIESTRUTURADO PARA ENTREVISTAS EM ETES.....	158
APÊNDICE B – CARTA DE ANUÊNCIA ENVIADA PARA A DIRETORIA DAS ETES.....	159
APÊNDICE C – TCLE PARA PARTICIPAÇÃO EM ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA.....	161
APÊNDICE D – CONVITE PARA PARTICIPAÇÃO EM GRUPO FOCAL.....	163
APÊNDICE E – ROTEIRO PARA CONDUÇÃO DE GRUPOS FOCALIS.....	165
APÊNDICE F – TCLE PARA PARTICIPAÇÃO EM GRUPO FOCAL.....	166
APÊNDICE G – PROGRESSÃO DA INTERFACE DO APLICATIVO.....	168
APÊNDICE H – DESCRIÇÃO DOS ITENS DE GESTÃO E EDUCAÇÃO DO APLICATIVO.....	174
APÊNDICE I – MECANISMOS DE POWER-UP DO APLICATIVO.....	175
APÊNDICE J – DETRITOS E SUBSTÂNCIAS CONSIDERADOS NO APLICATIVO.....	176
APÊNDICE K – QUESTÕES DO QUIZ DO APLICATIVO.....	180
APÊNDICE L – COMPLEMENTO DO MATERIAL TEXTUAL DO APLICATIVO.....	189
ANEXO A – COMPROVANTE DE ENVIO DA ÚLTIMA VERSÃO DO PROJETO.....	195

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou, em 2010, o Direito Humano à Água e ao Esgotamento Sanitário (DHAES). Na ocasião, foram definidas relevantes diretrizes para a implementação de políticas públicas de saneamento¹ em diversos países, principalmente aqueles em desenvolvimento, onde o alcance e a manutenção de soluções tendem a ser dificultados (ONU, 2010). Trata-se de grande marco para o setor, uma vez que há o reconhecimento de sua importância como imprescindível mecanismo promotor da qualidade de vida e da dignidade humana.

O DHAES aponta cinco princípios básicos para a provisão de serviços de saneamento, principalmente o abastecimento de água: I) suficiência, garantindo escala de atendimento adequada ao tamanho e à distribuição da população no território, atendendo a todos os indivíduos; II) segurança, oferecendo qualidade apropriada aos usos a que se destinam, sem prejuízo à saúde por contato com microrganismos ou substâncias nocivas; III) aceitabilidade, em padrão compatível com a cultura existente, considerando especificidades de gênero, idade e privacidade; IV) acessibilidade física, evitando que as distâncias para acesso às soluções sejam demasiadamente grandes; e V) acessibilidade econômica, definindo tarifas proporcionais à capacidade de pagamento de todos os usuários (ONU, 2010). Ao definir modelos para a implantação e operação de soluções sanitárias, o DHAES estabeleceu parâmetros para identificar situações de violação de direitos.

A aprovação do DHAES sinaliza um contexto de crescente destaque internacional direcionado a questões ligadas ao saneamento, objetivando-se firmar diálogo mais construtivo entre a sociedade civil, a academia, os governos e os prestadores de serviços. Ao reconhecer serviços de saneamento como base fundamental necessária para viabilizar outros direitos humanos, ocorre maior incentivo à promoção de ações – embora entenda-se que algumas medidas, como a redução da desigualdade de acesso, dependam de maiores esforços e monitoramento. É fato que a falta de saneamento adequado influencia negativamente na saúde e na produtividade dos indivíduos e, conseqüentemente, no desenvolvimento do país (HELLER *et al.*, 2020).

1 Em trabalhos elaborados em Língua Inglesa ou Espanhola, as palavras “sanitation” e “saneamiento” podem ser entendidas como esgotamento sanitário (RUBINGER, 2008). Neste trabalho, a utilização da palavra refere-se ao “saneamento” como um todo, considerando-se os componentes abastecimento de água (AA), esgotamento sanitário (ES), manejo de resíduos sólidos (MRS) e manejo de águas pluviais (MAP).

A estreita relação entre saneamento e saúde não é uma descoberta recente, embora tenha sido muitas vezes desprezada. Em 1854, Londres era atingida por um surto de cólera. Na ocasião, o Dr. John Snow, ao identificar a água como veículo de transmissão da enfermidade, estabeleceu importante conexão entre a falta de saneamento adequado e a propagação de doenças, teoria que foi muito criticada pelos médicos da época. Posteriormente, com o avanço científico, não apenas o abastecimento de água (AA) e a higiene foram apontados como fatores centrais para a prevenção de doenças, mas o esgotamento sanitário (ES) alcançou importância crescente, a ponto de ser percebido, na comunidade científica internacional, como um dos maiores avanços em saúde pública do último século (CAIRNCROSS *et al.*, 2010).

Diante da conexão entre os dois setores, são válidos para o saneamento princípios definidos desde 1986, quando, na I Conferência Internacional sobre a Promoção da Saúde, em Ottawa, foi apontado o protagonismo de variáveis sociais, culturais e educacionais, dentre outras, na promoção da saúde, sendo destacada a necessidade da participação do usuário como agente ativo. O DHAES reforça a obrigação do Estado em fornecer serviços de saneamento adequados, propiciar meios transparentes de comunicação e incentivar a participação social (NEVES-SILVA; HELLER, 2016).

A ausência de participação adequada dos usuários pode prejudicar a eficiência imediata de serviços de saneamento, bem como sua continuidade ao longo do tempo, ocorrendo prejuízos operacionais incessantes. O uso inadequado de aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos pela população, que resulta em grandes transtornos para o transporte e o tratamento do material, é um dos resultados da falta de suficiente orientação. Segundo a Companhia de Saneamento de Jundiaí – CSJ (2020), diversos materiais danosos são incorretamente direcionados aos esgotos, implicando em problemas como perda de eficiência do tratamento, entupimento de tubulações e avarias em infraestruturas.

Inferese-se que o referido problema possa derivar de lacunas de aprendizado – falta de sensibilização em torno de boas práticas sanitárias – que, por sua vez, têm relação com a escassez de diálogo adequado entre as instituições e a sociedade, muitas vezes realizado através de meios pouco atrativos e que falham em se comunicar com o saber popular. A questão encontra-se inserida em contexto histórico e político mais amplo, como apontado por Rubinger (2008): a interação da população com a solução implementada nem sempre é

devidamente considerada nas políticas públicas, ocorrendo divergências entre os saberes populares e a visão técnica dominante.

Justifica-se, portanto, a necessidade de serem desenvolvidas alternativas educativas mais atrativas e acessíveis, capazes de fomentar naturalmente a apropriação de conhecimento. A busca por respostas inicia-se ao considerar o atual cenário de ruptura de paradigmas impulsionado pela Quarta Revolução Industrial. Em 2013, durante o Hannover Messe – uma das maiores feiras de negócios do mundo, que ocorre anualmente na cidade de Hanôver –, o governo alemão lançou a “*Plattform Industrie 4.0*”, anunciada em 2011. O Programa – que pode ser caracterizado como um conjunto de políticas públicas – busca delinear novo modelo industrial, habilitado através da união de tecnologias provenientes da digitalização. Nesse contexto, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) prevalecem como pilar fundamental (KAGERMANN *et al.*, 2016). A rápida disseminação das TICs afeta a sociedade como um todo, pois promove a circulação de grande fluxo de informações – entre milhões de dispositivos móveis conectados à Internet – para além do ambiente industrial.

Levanta-se, pois, a questão: como garantir que os profundos impactos da digitalização sejam benéficos para a sociedade? A Sociedade 5.0, concebida pela Federação Empresarial do Japão (Keidanren), em 2016, busca fornecer respostas. Esse conceito se opõe às “fábricas inteligentes” da Indústria 4.0, regidas principalmente pelo impacto tecnológico nas cadeias de valor, e propõe “sociedades inteligentes”, guiadas pelo propósito de utilizar as tecnologias a serviço da qualidade de vida, da sustentabilidade ambiental e da redução das desigualdades. Pode-se considerar, portanto, que a Sociedade 5.0 engloba e expande a Indústria 4.0, utilizando-a como base para um propósito maior de prosperidade social (POLAT; ERKOLLAR, 2020).

Diante do arcabouço tecnológico da Indústria 4.0 e dos pressupostos da Sociedade 5.0², formulações como “*gamification*”, “*serious games*” e “*games with a purpose*” (GWAP) têm despertado cada vez mais interesse. Como aponta Deterding (2011), a ideia de utilizar jogos eletrônicos e elementos associados como motivação para fins educacionais não é inteiramente nova, mas o amadurecimento das tecnologias e do campo de estudo vêm promovendo o surgimento de inovadoras experiências. Este trabalho propõe uma delas. A investigação dos

2 Uma breve revisão histórica sobre as revoluções industriais e os níveis de sociedade será apresentada na seção 3.3.

fatores que condicionam o comportamento dos usuários de serviços de esgotamento sanitário e a construção de uma plataforma educacional baseada em *serious games* são importantes passos rumo à formação do indivíduo como agente ativo de saneamento. Define-se, portanto, um novo termo: “Saneamento 5.0”³. Trata-se da aplicação de conceitos apoiados por tecnologias da revolução digital no setor de saneamento, sob a luz dos princípios norteadores da ONU, do DHAES, e da Sociedade 5.0, visando colocá-los a serviço da sociedade.

Neste projeto foram relacionadas duas temáticas de pesquisa do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgotos (INCT ETEs Sustentáveis), que foi criado com o intuito de se tornar centro de referência nacional e internacional para questões relacionadas ao tratamento de esgoto sanitário, notadamente para países em desenvolvimento, de forma a contribuir para a promoção de mudanças estruturais e estruturantes nos serviços (INCT ETES SUSTENTÁVEIS, 2020). O trabalho foi desenvolvido em parceria com o Instituto e apoiado pela Fundação Christiano Ottoni (FCO), com recursos advindos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

A primeira temática trata da caracterização qualiquantitativa dos efluentes, visando investigar quais materiais alcançam as ETEs além daquele esperado para o esgoto doméstico, o que poderia explicar tal fato e quais são as consequências para a coleta e o tratamento. A segunda corresponde à transmissão de informações para a sociedade, visando superar o gargalo educacional para a utilização das peças sanitárias e redes coletoras de esgoto através do desenvolvimento de novas abordagens de aprendizado. Busca-se, portanto, estudar formas desafiadoras e recompensadoras de aprender, capazes de promover a reflexão através do desafio.

3 Espera-se que o termo “Saneamento 5.0”, cunhado pelo Autor, possa estimular reflexões sobre a importância do contexto da Sociedade 5.0 para o desenvolvimento de ações voltadas ao saneamento. Ressalta-se novamente que o termo “saneamento” está sendo utilizado considerando todos os serviços componentes, e não apenas o esgotamento sanitário.

1 OBJETIVOS

Foram definidos um objetivo geral e dois objetivos específicos.

1.1 *Objetivo geral*

Desenvolver e validar um aplicativo, em formato de *serious game*, para a sensibilização da população em torno da temática do descarte de detritos⁴, substâncias indesejáveis⁵ e águas pluviais em equipamentos sanitários e redes de coleta de esgotos.

1.2 *Objetivos específicos*

Foram descritos da seguinte forma:

- 1) Caracterizar a composição dos esgotos – com relação a detritos, substâncias indesejáveis e águas pluviais – e as consequências da má utilização dos aparelhos sanitários e redes de coleta, bem como identificar lacunas de compreensão dos usuários associadas à ocorrência do problema;
- 2) Modelar, desenvolver e validar a plataforma educacional para o incentivo às boas práticas sanitárias, tendo como base a revisão de literatura e os resultados do objetivo anterior.

4 Detritos correspondem a partículas grosseiras de areia, pequenos cascalhos, fragmentos reduzidos de material mineral, grãos, sementes, plásticos, fibras e materiais sólidos diversos de origem não mineral (BERZIN, 1983). Neste trabalho, também se enquadram nessa categoria, por exemplo, absorventes, algodões, canudinhos, cotonetes, eletrônicos, embalagens de iogurte e creme dental, fraldas, jornais, lenços, pedaços de cigarro, preservativos, sacolas e garrafas plásticas.

5 São consideradas como substâncias indesejáveis descartadas no esgoto, neste trabalho, os óleos e despejos gordurosos, os detergentes (quando em excesso), os medicamentos e os produtos contaminantes em geral (como tintas, vernizes e solventes).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção encontra-se dividida em quatro blocos. Primeiramente, apresenta-se, na subseção 3.1, breve histórico sobre os serviços de saneamento no Brasil, com ênfase para o setor de esgotamento sanitário, visando investigar motivos que poderiam condicionar a falta de engajamento dos usuários. Na subseção 3.2, a composição do esgoto doméstico é analisada com foco em lançamentos irregulares, impactos provocados e possibilidades de recuperação. Na subseção 3.3, os conceitos de Indústria 4.0, Educação 4.0, Sociedade 5.0 e “Saneamento 5.0” são descritos. Na subseção 3.4, aprendizagem móvel, gamificação e *serious games* são detalhados de forma a descrever oportunidades para a construção de um “Saneamento 5.0”.

2.1 Saneamento em perspectiva: por que há falta de engajamento?

Ações de saneamento podem ser descritas por metas de caráter coletivo, que determinam papéis a serem executados pelo indivíduo, pela sociedade e pelo Estado. São serviços essenciais, nos quais se justifica a presença de um monopólio natural, essencial e regido pelo Estado (BRASIL, 2004). O setor de saneamento brasileiro é, contudo, marcado por complexa trajetória histórica, cercada de desafios, e opera em condições ainda desfavoráveis, havendo certa confusão com relação aos papéis dos múltiplos atores envolvidos. Milhões de pessoas – especialmente aquelas que vivem em periferias urbanas e áreas rurais – não têm acesso a um ou mais serviços de saneamento, e, mesmo quando as soluções existem, podem estar associadas a profundos desafios culturais, econômicos, educacionais, gerenciais ou operacionais que afetam a apropriação das tecnologias e sua sustentabilidade. A falta de engajamento resulta de uma combinação de fatores. Nesta revisão, são descritos três.

O **primeiro fator** é o histórico. Rezende, Heller e Queiroz (2009) examinaram a perspectiva do saneamento brasileiro, considerando interseções com a saúde, ao longo de quatro períodos. O primeiro compreende do século XVI ao final do século XIX e é marcado pela precariedade: diante da omissão do governo Português, as raras soluções eram implementadas pelos próprios indivíduos com base em hábitos enraizados na cultura. Com a chegada da família real, a descoberta do ouro e a abertura comercial, houve o agravamento de epidemias, e investimentos pontuais e ineficientes foram realizados conforme os interesses das elites e comerciantes. O Estado assumiria alguma responsabilidade apenas entre os séculos XIX e XX, mas entregando a prestação dos serviços a empresas privadas britânicas.

Os interesses comerciais das companhias privadas se mostraram incompatíveis com a demanda de saneamento. Entre o final do século XIX e a primeira metade do século XX, a população do País crescia em ritmo acelerado e o avanço da economia clamava por investimentos nos setores de saúde e, conseqüentemente, saneamento, tendo em vista que as doenças prejudicavam o potencial produtivo dos trabalhadores. Esse segundo período foi marcado por avanços – embora os interesses econômicos fossem claros, existindo ampliação das desigualdades e ações autoritárias –, uma vez que o Estado transferiu a responsabilidade pelos serviços da iniciativa privada para os municípios. Contudo, enquanto o abastecimento de água avançava, o esgotamento sanitário apresentava progresso muito mais lento e excludente (REZENDE; HELLER; QUEIROZ, 2009).

A partir do início da segunda metade do século XX, a urbanização progredia rapidamente, e a saúde, direcionada pelo setor privado, distanciava-se do saneamento, que se desenvolveu com a atuação do setor público e das autarquias. Nesse terceiro período foi elaborado o Plano Nacional de Saneamento – PLANASA, que transferia a responsabilidade dos municípios para as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs). Com a recessão econômica e o esvaziamento dos recursos, o PLANASA não atingiu o resultado esperado e ainda existia grande distância entre AA e ES. Diante de uma visão empresarial, investimentos foram concentrados nas regiões mais economicamente desenvolvidas, a intersectorialidade era inexpressiva, a população não participava das decisões e as desigualdades eram cada vez mais ampliadas (REZENDE; HELLER; QUEIROZ, 2009).

O quarto e último período iniciou-se no século XXI, após a mudança de governo, em 2003. A criação do Ministério das Cidades, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, do Conselho Nacional das Cidades e do Comitê Técnico de Saneamento Ambiental marcou a retomada da visão do saneamento como direito humano. Contudo, a predominância das CESBs permaneceu, o que poderia dificultar a universalização dos serviços (REZENDE; HELLER; QUEIROZ, 2009). Em busca de soluções, a Lei nº 11.445, de 2007 – Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB) – definiu orientações para promover o acesso da população de baixa renda, reforçou a importância da participação popular e reafirmou a obrigação do Estado em fornecer os serviços (BRASIL, 2007).

Em setembro de 2000, o Brasil comprometeu-se a seguir as Metas do Milênio propostas pela ONU. Conseqüentemente, considerando-se o período de 1990 a 2015, definiu-se que a parcela

da população sem acesso ao AA e ao ES deveria ser reduzida pela metade. Em 2007, a apresentação do Programa de Aceleração ao Crescimento (PAC) – que previa reforço nos investimentos em infraestrutura urbana – e a aprovação da Lei nº 11.445 sinalizavam para tendência de expansão dos serviços. O País ainda apresentava, contudo, grande passivo a ser superado no setor de saneamento, especialmente para o ES: em 2008, apenas 44% dos domicílios possuíam sistemas de coleta por rede e somente 28,5% dos municípios realizavam algum tratamento⁶ do esgoto coletado (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2010).

Braadbaart (2013) ressaltou que o desenvolvimento do saneamento em países do Sul Global seguiu uma tendência comum – promovida por especialistas locais que residiam em lugares privilegiados – de importação de soluções provenientes de países do Norte Global, sucedida por contexto em que “governantes locais se encarregaram do esforço em prol da saúde urbana, em parte por razões egoístas, em parte com propósitos de construção nacional” (BRAADBAART, 2013, p. 129). Apesar de serviços de saneamento serem fundamentais para a qualidade de vida da população, a atenção dos governantes brasileiros ao longo da história foi orientada principalmente por ações corretivas, por vezes relacionadas ao aparecimento de epidemias e demandas ligadas ao setor de saúde, pois “o que coloca um tema na agenda governamental não é sua natureza objetiva, mas o fato dele se tornar um problema político” (MENICUCCI; D’ALBUQUERQUE, 2018, p. 44, KINGDON, 1985).

O setor de saneamento está submetido, também, a um contexto onde “duas construções simbólicas se opõem na agenda pública: saneamento como um direito humano – portanto, obrigação do Estado de provê-lo de forma universal – ou saneamento como mercadoria – um bem que se adquire no mercado” (MENICUCCI; D’ALBUQUERQUE, 2018, p. 44). Esse conflito foi marcante e contribuiu para o baixo índice de coleta e tratamento de esgotos frente à maior disponibilidade do AA, especialmente durante o PLANASA, pois, conforme apontado por Costa e Ribeiro (2013), houve priorização de áreas que poderiam amortizar investimentos por meio do pagamento de tarifas. Na visão mercantilista, sistemas de AA são altamente lucrativos, o que não ocorre no ES. Além disso, macrorregiões mais economicamente avançadas tendem a concentrar serviços melhor estruturados e com melhores condições de atendimento da população, conforme apresentado na Tabela 1.

6 A presença de tratamento não significa, necessariamente, que o processo é executado de maneira adequada ou que alcança todos os domicílios presentes no território municipal (IBGE, 2010).

Tabela 1: Atendimento por redes de AA e ES considerando as cinco macrorregiões

Região	SE (%)	CO (%)	S (%)	NE (%)	N (%)	Brasil (%)
Domicílios com acesso à rede de AA	87,5	82,0	84,2	68,3	45,3	78,6
Domicílios com acesso à rede de ES	69,8	33,7	30,2	22,4	3,8	44,0
Municípios com tratamento de ES	48,4	25,3	24,1	19,0	7,6	28,5

Fonte: IBGE, 2010 (adaptado).

Em suma, a Tabela 1 reforça que a história do saneamento no Brasil é marcada por influência de pressões de mercado. Ao analisar os condicionantes da presença de redes de AA e ES nos domicílios brasileiros, Rezende *et al.* (2007) detectaram desigualdades socioeconômicas e espaciais como as variáveis mais influentes, o que corrobora esta análise. Conclui-se, para este primeiro fator prejudicial ao engajamento, que o esgotamento sanitário e a sensibilização da população para a correta utilização das soluções não são considerados economicamente atrativos e tampouco contribuem para a amortização dos investimentos.

Diante dessas reflexões, embasadas pelos trabalhos supracitados, infere-se que, no Brasil, há pouca participação da população no saneamento porque: i) serviços não são universalizados e as pessoas que menos têm acesso também tendem a ser excluídas das decisões; ii) a forte relação entre o saneamento e os Direitos Humanos nem sempre está clara para a sociedade; e iii) o envolvimento dos usuários, salvo exceções, não foi objetivado ao longo do tempo, uma vez que não houve incentivos políticos que mantivessem o tema nas agendas governamentais.

Swyngedouw (2004) argumentou que existe uma tendência global de mercantilização dos serviços de saneamento considerados rentáveis, sendo os impostos consequentemente utilizados para fornecer subsídios para serviços não lucrativos, geralmente associados às parcelas mais vulneráveis da população. Há, então, abertura para a participação do setor privado, que pode atuar de forma incompatível com a ideia de universalização dos serviços, conforme reforçado por diversos estudos envolvendo comunidades de menor renda, como o de Senna *et al.* (2021). A aprovação da Lei nº 14.026, de 2020 (BRASIL, 2020b), que modifica, dentre outras, a Lei nº 11.445, de 2007, sinaliza para o aumento da participação de companhias privadas na prestação dos serviços de saneamento. Entende-se, portanto, que serão importantes os esforços da sociedade civil e da academia para evitar ruptura entre o saneamento, a saúde e o modelo de gestão pública, de forma a minimizar o risco de formação de um contexto, conforme definido por Allen, D Dávila e Hofmann (2006), em que os mais vulneráveis são considerados ora consumidores, ora cidadãos.

O **segundo fator** prejudicial ao engajamento é o técnico. Sistemas de saneamento são – ou deveriam ser –, em essência, sociotécnicos, já que dependem da adequada interação entre tecnologias e pessoas. A sustentabilidade de um sistema sociotécnico pode ser definida através da criação de objetivos sustentáveis e meios de alcançá-los, envolvendo, necessariamente, elementos ambientais, econômicos e sociais em um contexto de recursos limitados (ELKINGTON; ROWLANDS, 1999).

Carter, Tyrrel e Howsam (1999) apontaram que seis motivos contribuem para a insustentabilidade de programas de saneamento em países em desenvolvimento: i) as comunidades podem receber soluções que não desejam e não utilizarão, uma vez que nunca foram contatadas pelo Estado para que fossem ouvidas as suas demandas; ii) as soluções podem implicar em custos operacionais e de manutenção que as pessoas não têm condições de pagar; iii) as comunidades podem não sentir que são proprietárias da infraestrutura e, conseqüentemente, não desejam investir em sua manutenção, dependendo inteiramente do governo; iv) os benefícios prometidos não são alcançados; v) a educação dos usuários para utilizar a solução, esperando-se mudança de comportamento, demora muito a ocorrer ou termina sem resultados; e vi) mesmo se a participação popular for planejada desde o começo, o contato com especialistas e lideranças comunitárias locais não se mantém após a implantação da solução.

Os governantes muitas vezes consideram como premissas que, se a comunidade for envolvida durante o processo de elaboração e construção da solução, manterá seu interesse para utilizá-la da maneira esperada, e que comitês locais irão operar em caráter voluntário. A realidade, contudo, acumula experiências bem diferentes. O envolvimento inicial pode ser alcançado por um estado de entusiasmo – relacionado à instalação da solução – que se encerra após algum tempo diante da ausência de incentivos (BAGAMUHUNDA; KIMANZI, 1998). A falta de iniciativas do poder público conduz ao distanciamento dos usuários, impedindo que seja estabelecida relação colaborativa entre comunidade e Estado, tão necessária quanto a própria infraestrutura (KASRI; MOERSIDIK, 2018).

Ações voltadas ao saneamento podem ser classificadas em dois grandes grupos: estruturais e estruturantes. Tomando como base conceitos definidos no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), as estruturais envolvem investimentos em obras, tecnologias e infraestrutura, ou seja, aspectos relativos à instalação física das soluções. As estruturantes, por

outro lado, contêm medidas que visam fornecer o suporte necessário para a sustentabilidade instantânea e duradoura dos serviços, o que envolve aspectos políticos, gerenciais, de qualificação dos usuários para exercer o controle social, educação popular e permanente e também o desenvolvimento científico e tecnológico, buscando o melhoramento da estrutura física (BRASIL, 2019).

Britto *et al.* (2012) apontaram que o setor de saneamento brasileiro – e também de diversos outros países – é marcado por uma visão tecnocêntrica da Engenharia Sanitária, que tende a priorizar ações estruturais sem ponderar variáveis estruturantes, que por sua natureza multidimensional demandam visão muito mais ampla. Os autores argumentam que, conseqüentemente, soluções acabam, com frequência, não sendo apropriadas pela população, tendo em vista as práticas educacionais e culturais intrínsecas às diversas realidades, incompatíveis com o uso das novas técnicas que pouco ou nada abarcam as questões de saúde, sendo incapazes de amenizar a ocorrência de enfermidades. Percebe-se, portanto, que os pontos de fragilidade enumerados por Carter, Tyrrel e Howsam (1999) apresentam forte relação com o problema da visão tecnocêntrica, uma vez que essas situações possivelmente "ocorreriam com menor intensidade se o poder público tivesse a capacidade de visualizar a dimensão transversal dos problemas do saneamento e contasse com visões interdisciplinares para entendê-los e para pensar suas soluções" (BRITTO *et al.*, 2012, p. 66).

O fator técnico dialoga com o fator histórico ao considerar que, principalmente em países do Sul Global, houve a transferência direta de modelos tecnológicos e administrativos originados em países colonizadores, do Norte Global, sem que especificidades físico-geográficas, climáticas, urbanas, sociais e culturais fossem adequadamente consideradas no processo, o que resultou em grande fragmentação. Ciências humanas, sociais e da saúde têm pouca interferência nas decisões e são comuns as intervenções incompatíveis com realidades locais (BRAADBAART, 2013, BRITTO *et al.*, 2012). Falta uma identidade de saneamento nacional construída por meio do fomento à pesquisa, considerando tanto as tecnologias como outros campos do conhecimento (HELLER; NASCIMENTO, 2005).

Diante da visão hegemônica da Engenharia Sanitária, as políticas de saneamento acabam conduzidas por uma abordagem “*top down*” – as soluções são definidas pelos tomadores de decisões e cascadeadas até chegarem ao ambiente, que deve ser adaptado para recebê-las, e à população, que deve aprender a utilizá-las por conta própria – e não por uma abordagem

“*bottom up*” – a população estabelece a demanda, participa e tem controle sobre a construção e a operação das soluções. Pode-se dizer que “o saneamento urbano⁷ se apresenta muitas vezes como algo estritamente político, sem amarração ao meio físico e à participação popular” (CALDEIRA; GARCIA, 2015, p. 128). Há, pois, a reprodução de uma hierarquização que posiciona usuários como meros clientes, e não como agentes ativos.

A participação da comunidade de forma alguma diminuiria a importância do trabalho técnico, como se poderia pensar, mas o complementaria e fortaleceria (BRASIL, 2006). Iniciativas derivadas da Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), como o PLANSAB (BRASIL, 2013) e o Programa Nacional de Saneamento Rural – PNSR (BRASIL, 2019) delinearão importantes passos rumo à valorização da atuação popular, mas ainda há longo caminho para que essa visão seja incorporada às práticas governamentais. Conclui-se, para o segundo fator, que o interesse dos usuários não é considerado relevante do ponto de vista técnico.

O **terceiro fator** prejudicial ao engajamento é o cultural. Avvannavar e Mani (2007) determinaram que diversos fatores psicológicos, sociais e econômicos interferem diretamente na relação das pessoas com o esgotamento sanitário, podendo agrupá-los em quatro categorias: assentamento humano, meio ambiente, religião e cultura e sociedade. Destacam-se os seguintes elementos:

1. Assentamento humano: a densidade populacional e as características do local de residência interferem na facilidade de se utilizar infraestruturas e no comportamento individual, considerando a relação com a privacidade;
2. Meio ambiente: há duas perspectivas para elementos como excretas: parte do ciclo natural do ambiente – podendo ser reaproveitados em atividades como a agricultura – ou algo repulsivo e potencialmente contaminado, sendo necessário manter distância física, olfativa ou mesmo visual;
3. Religião e cultura: comportamentos podem ser considerados adequados ou inadequados diante das visões predominantes entre os indivíduos de uma comunidade. O local de defecação, por exemplo, pode ser considerado contaminado, devendo ser mantido distante do local de residência. O cheiro e a aparência das excretas podem ser relacionados com doenças;

⁷ Esse problema, naturalmente, também ocorre no ambiente rural, embora existam diferenças em comparação com o ambiente urbano (BRASIL, 2019).

4. Sociedade: o comportamento do grupo é comumente originado do comportamento dos indivíduos, ou seja, a difusão generalizada de uma conduta individual tende a alterar a cultura do todo. Contudo, alterações em nível do todo podem também, ao longo do tempo, alterar as partes. Saúde, riqueza, tecnologia, gênero e segurança pessoal são fatores influentes. As tecnologias, em especial, avançam em ritmo acelerado com a ideia de distanciar pessoas de seus próprios atos que são, em suma, necessidades fisiológicas básicas.

Douglas (1991) apontou que noções de higiene interferem nas relações sociais e que a cultura ocidental é historicamente influenciada pela ideia de promover a eliminação, o afastamento e o isolamento de ameaças que poderiam prejudicar o corpo. Estabelecendo um paralelo com os fatores determinados por Avvannavar e Mani (2007), pode-se inferir que prevaleceria, portanto, uma visão que considera as excretas como algo repulsivo, relacionado a doenças, e que deve ser mantido distante do local de convívio, sendo o ato da necessidade básica “amenizado” por avanços tecnológicos. Resíduos – como fraldas, preservativos e restos de cigarro – e substâncias podem, assim como as fezes, desencadear reações de repulsividade e receio. Pode-se deduzir, portanto, que estariam presentes as mesmas visões focadas no afastamento.

Thomas *et al.* (2003) realizaram pesquisa qualitativa em Londres para explorar motivos que dificultam a difusão da reciclagem, determinando que a falta de engajamento geralmente não tem relação com a ausência de consciência ambiental, mas com uma lacuna de noção sobre o que ocorre com os materiais após a coleta, ou seja, o afastamento. Os autores concluíram que a reciclagem muitas vezes não se apresenta como uma questão urgente para a rotina das pessoas, e sim uma tarefa inconveniente e não cultural, tendo em vista que não visualizam os benefícios diretos depois que o problema – o resíduo – é transportado para um local distante. Admite-se, para concluir esta análise, que o mesmo contexto se aplica ao descarte de materiais em aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos. Entende-se que, para considerável parcela da população, não há conhecimento do trajeto do material e de todos os procedimentos necessários para o alcance de uma destinação final ambientalmente correta, o que condiciona o uso das estruturas apenas como meio de disposição, sem que sejam ponderadas consequências.

Cavalcante (2014), ao realizar pesquisa qualitativa sobre o lançamento de detritos em aparelhos sanitários na cidade de Salvador, indicou forte tendência de descarte (eventual ou não) de algum material na bacia sanitária. Apontou, ainda, que alguns participantes alegaram não saber que esses materiais poderiam causar problemas de entupimento ou outras consequências, enquanto simultaneamente afirmaram se preocupar com impactos ambientais. Segundo a autora, todos os entrevistados se mostraram receosos quanto a problemas de inundações causados por descarte irregular de resíduos sólidos no município. Evidencia-se, portanto, que podem existir inconsistências entre o comportamento das pessoas e a consciência ambiental que afirmam ter, o que remete à falta de instrução inadequada, corroborando as observações de Thomas *et al.* (2003).

2.2 Composição do esgoto doméstico: materiais, impactos e possibilidades de recuperação

O esgoto doméstico apresenta proporção aproximada de 99,9% de água. A presença das demais substâncias é condicionada por usos da água, clima e fatores culturais, econômicos, educacionais e sociais. A depender dos hábitos da população, cargas não previstas podem ser lançadas, afetando o transporte do material ao longo das tubulações e as operações nas estações de tratamento de esgotos (ETEs). Portanto, é importante que sejam compreendidas características da bacia hidrográfica e da comunidade atendida (VON SPERLING, 2014).

Redes⁸ de coleta de esgotos podem ser unitárias, separadoras parciais ou separadoras absolutas. As unitárias – ou conjugadas – coletam, além de esgotos, águas pluviais, sendo necessárias tubulações de grandes diâmetros. As separadoras parciais recebem esgotos e parte das águas pluviais, referente a telhados, sacadas e outros ambientes, sem que sejam destinadas as águas de pátios, quintais e vias públicas, o que permite a redução dos diâmetros das tubulações, embora ainda exista grande variação sazonal da vazão. Por fim, em redes separadoras absolutas, as tubulações de coleta de esgotos e águas pluviais são separadas e independentes, possibilitando que sejam usados, para os esgotos, menores diâmetros, reduzindo os custos e facilitando a implementação. Além disso, galerias não precisam ser construídas em todos os logradouros (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

8 Neste trabalho, o foco da análise – e do aplicativo desenvolvido – é voltado aos sistemas de coleta coletivos e baseados em redes, mais comuns no ambiente urbano. Contudo, outras soluções também são importantes e espera-se que sejam abordadas em trabalhos futuros, especialmente ao considerar o ambiente rural.

No Brasil e em diversos outros países, prioriza-se a utilização do sistema separador absoluto, que fornece vantagens também para as ETEs, uma vez que reduz o volume de esgoto a ser tratado e sua diluição. Um dos principais problemas no cenário nacional, contudo, consiste no excessivo número de ligações irregulares de tubulações coletoras de águas pluviais nas redes de esgoto. Devido ao descontrole, que deriva da falta de sensibilização dos usuários e da ausência de fiscalização, sistemas que deveriam ser separadores absolutos acabam operando como separadores parciais ou mesmo unitários. Consequentemente, as ETEs recebem excessiva carga de efluentes durante períodos chuvosos, superando a própria capacidade de operação (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999). Além disso, conforme apontado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA (2021), as tubulações de imóveis e vias públicas, sobrecarregadas, podem sofrer refluxos, extravasamentos ou mesmo rompimentos. Berzin (1983) apontou que águas pluviais chegam ao esgoto também por tampões, falhas nas juntas de tubulações e aberturas em poços de visita (PVs).

O tratamento preliminar é fundamental para o funcionamento das ETEs, sendo responsável principalmente pela remoção de sólidos grosseiros, areia e, em algumas instalações, óleos e gorduras. Consiste em processos de gradeamento, peneiramento, sedimentação, retenção e flotação (VON SPERLING, 2014). Detritos são coletados em volume considerável durante tais processos. Contudo, sua composição e seu potencial de aproveitamento ainda não são profundamente explorados na literatura (BORGES; CAMPOS; FERREIRA, 2017). Existe, na comunidade científica, reduzido interesse em pesquisas voltadas ao tratamento preliminar (PRADO, 2006). Sidwick (1991) anunciou que isto deriva do reduzido volume de detritos diante do grande volume de lodo, o que poderia sugerir menor importância ao considerar o potencial de impacto. Essa tendência, infelizmente, parece ter se mantido.

Segundo a CSJ (2020), os materiais mais danosos para a coleta e o tratamento de esgotos são: i) óleos, que se prendem com facilidade às tubulações e provocam entupimentos; ii) pelos e fios de cabelo, que obstruem as redes; iii) cotonetes, algodões, restos de cigarros e cinzas, que não se dissolvem e podem aderir às gorduras presentes; iv) absorventes e preservativos, que além de dificultarem a passagem do esgoto também podem transmitir doenças; v) tintas, vernizes e solventes, que promovem a contaminação do meio ambiente por substâncias químicas perigosas; vi) e farinha, borra de café e outros produtos similares, que liberam óleos e se juntam às demais gorduras.

No contexto brasileiro, onde já existe limitação financeira – ou falta de efetiva aplicação de recursos – para o saneamento, as consequências da presença desses materiais em redes de coleta de esgotos são ainda mais severas, uma vez que provocam vazamentos, resultando em insalubridade para comunidades inteiras, e danos à infraestrutura que geram custos adicionais, desperdiçando capital que poderia ser aplicado em políticas públicas. Trata-se de importante questão de saúde geral, que vai muito além da preservação do sistema de esgotamento sanitário, já que interfere diretamente na qualidade de vida (CSJ, 2020).

A maioria das 140 pessoas entrevistadas por Cavalcante (2014) na cidade de Salvador – 102 participantes, ou 72,9% – afirmaram descartar resíduos sólidos – “lixo” – em bacias sanitárias residenciais. Da totalidade de entrevistados, 98 (70,0%) revelaram a ocorrência de algum tipo de entupimento de tubulações de esgoto em seus domicílios. Com relação ao tipo de material descartado, aparelhos de barbear apareceram em primeiro lugar, seguidos por preservativos, pedaços de algodão, absorventes, cabelos e, por último, roupas.

Le Hyaric *et al.* (2009) analisaram a presença de detritos na etapa de gradeamento de três ETEs de médio porte – com capacidade entre 30.000 e 100.000 habitantes e esgoto predominantemente doméstico – na região de Ródano-Alpes, na França, e obtiveram massa úmida anual per capita de material que varia de 0,53 kg a 3,49 kg. Os elementos encontrados pelos autores, assim como sua proporção, estão apresentados na Tabela 2 (a massa foi mensurada após secagem).

Tabela 2: Proporção de detritos coletados no gradeamento de três ETEs francesas

Resíduos	Descrição	Kg per capita	% Massa
Têxteis sanitários	Absorventes, toalhas sanitárias, lenços	0,399 ~ 1,692	67,7 ~ 76,1
Fração fina	Cinzas, areia, vidro quebrado, resíduos vegetais e outros resíduos finos (< 20 mm)	0,082 ~ 0,380	13,0 ~ 19,0
Vegetais	Gramma, ervas, flores, galhos, troncos, folhas	0,005 ~ 0,024	0,2 ~ 4,4
Papel e papelão	Jornais, embalagens, papelão marrom corrugado, rolos de papel, papel de escritório	0,007 ~ 0,327	1,3 ~ 13,1
Plásticos	Sacolas, filmes, embalagens, tubos, canetas, escovas de dente, tubos de creme dental, preservativos	0,014 ~ 0,028	1,1 ~ 3,3
Têxteis	Fibras naturais (algodão, lã, seda, etc.) e sintéticas (calças, mochilas esportivas, etc.)	0,002 ~ 0,007	0,2 ~ 0,9
Metal e alumínio	Latas, chaves, ferramentas e materiais ferrosos e não ferrosos	0,001 ~ 0,002	0 ~ 0,4
Compostos	Embalagens de materiais mistos (papel, plástico, alumínio), não separáveis	0,001 ~ 0,004	0,2 ~ 0,4
Combustíveis	Caixotes, madeira, couro (sapatos, mochilas, etc.), borracha	0,002 ~ 0,050	0,3 ~ 2,0
Não combustíveis	Vidro, minerais, cerâmica, porcelana, tijolos, gesso, etc.	0 ~ 0,007	0 ~ 0,3
Total	-	0,530 ~ 2,500	100,0

Fonte: Le Hyaric *et al.*, 2009 (adaptado).

Percebe-se, a partir da análise da Tabela 2, que os materiais mais frequentes são os têxteis sanitários, que chegaram a representar 67,7% a 76,1% da amostra, e a fração fina, que alcançou 13,0% a 19,0%. Le Hyaric *et al.* (2009) atribuíram a elevada parcela de têxteis sanitários à tendência de crescimento de uso de lenços descartáveis – seja para o cuidado com o corpo, seja para a limpeza de superfícies –, combinada com a falta de informação dos consumidores, que frequentemente descartam o material em bacias sanitárias, enquanto este deveria ser recolhido e transportado como lixo doméstico. De acordo com Brochado (2018), existe, na Europa, a denominação “Do Not Flush” para indicar o que não pode ser descartado na bacia sanitária.

Segundo Le Hyaric *et al.* (2009), a retenção de detritos na ETE é afetada por diversos parâmetros, destacando-se a abertura mínima entre as barras, a compactação dos materiais e o regime de chuvas. Os autores notaram que, nos únicos dois dias chuvosos da campanha de amostragem, o volume de material coletado por metro cúbico aumentou entre 50% e 100%. Cabe ressaltar que uma das ETEs estudadas recebe a carga afluyente de um sistema de coleta unitário, enquanto as outras duas recebem de sistemas separadores parciais. Compreende-se, portanto, que o referido aumento deveu-se ao arraste de resíduos incorretamente dispostos nas vias públicas e edificações através da drenagem pluvial, algo típico do início do período chuvoso, após longo período de seca, conforme argumentado por Clay *et al.* (1996).

Clay *et al.* (1996) apontaram a falta de dados como uma das maiores dificuldades para estudos voltados ao tratamento preliminar. Ao analisarem uma das entradas conectadas ao gradeamento de uma ETE inglesa, os autores encontraram a seguinte proporção de detritos no esgoto: papel (20% a 50%), tecidos (15% a 30%), plásticos (5% a 20%), borracha (0% a 5%), matéria vegetal (0% a 5%) e matéria fecal (0% a 5%). Segundo os autores, pequena parte do material era incinerada com o lodo, enquanto a maior parte era direcionada a aterros, o que gerava um problema: devido à origem sanitária, estes resíduos, considerados materiais de cuidado especial e difícil disposição final, exigiam ensacamento, elevando drasticamente o valor final. Além disso, a ETE precisava atender a limites mínimos de proporção de sólidos para que o material fosse aceito.

Os dados apresentados por Clay *et al.* (1996) apontaram papel como o material mais frequente. Os autores, contudo, não descreveram especificamente a composição encontrada. Questiona-se, portanto, o lançamento do papel higiênico em vasos sanitários, dado que este

precisa se desintegrar durante o trajeto até a ETE para que seja permitido o descarte junto ao esgoto. Brochado (2018) analisou amostras de sete marcas de papel higiênico comuns no Brasil e não obteve desintegração adequada em simulações, enquanto marcas estrangeiras, provenientes da Europa e de outros países da América do Sul, apresentaram resultados mais promissores. O autor identificou uma relação direta entre o descarte do material no vaso e o nível de renda e ressaltou a importância de adequada regulamentação – sem que a responsabilidade seja repassada ao consumidor – para a proteção de aparelhos sanitários, redes de coleta e ETEs. Ressalta-se que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017) indica que o material deve se desintegrar ao entrar em contato com a água.

Silva e Carvalho (2007) estudaram o tratamento preliminar da ETE Goiânia buscando identificar a origem de problemas operacionais: havia flotação de detritos nos decantadores e excesso de areia e fiapos no lodo, resultando em desgaste acelerado e constante necessidade de manutenção de equipamentos, especialmente centrífugas. Os autores obtiveram média de 6,0 L de detritos e 13,4 L de areia retidos para cada 1.000 m³ de esgoto tratado⁹. Embora os valores não superassem a média esperada no projeto operacional da ETE – 20,0 L de detritos e 40,0 L de areia para cada 1.000 m³ de esgoto tratado –, falhas no sistema preliminar condicionavam a passagem de grande quantidade de material para fases subsequentes do tratamento. Além disso, embora o sistema de coleta fosse supostamente separador absoluto, houve sensível aumento no volume de detritos durante os meses chuvosos, o que indica a contribuição por águas pluviais, corroborando Alem Sobrinho e Tsutiya (1999).

A presença de areia no esgoto é ponto de especial atenção, tendo em vista que a operação dos desarenadores, acrescida da retirada e do transporte do material, pode alcançar um terço do custo total de funcionamento de uma ETE. A redução da proporção de partículas arenosas presentes no lodo, por sua vez, também resulta em elevada redução nos custos relativos ao seu transporte (PRADO, 2006). Destaca-se, ainda, que a areia exerce efeito abrasivo ao circular pelos equipamentos da ETE, reduz o tempo entre retiradas de lodo em reatores biológicos e pode provocar o assoreamento de corpos hídricos caso esteja presente em grande quantidade no efluente tratado. As ETEs costumam ter pelo menos dois desarenadores, de forma a evitar a parada do tratamento preliminar para limpeza (BORGES, 2014).

9 As características de cada bacia hidrográfica interferem na tipologia e na quantidade de detritos retidos no tratamento preliminar. Relações de volume de sólidos por unidades de vazão são de difícil determinação e representatividade (BORGES, 2014). Neste trabalho, valores são apresentados apenas como referência, sem a intenção de estabelecer critérios de comparação precisos.

Jordão e Pessôa (2005) apontaram lavagens de pátios e despejos industriais como fontes responsáveis pela presença de areia no esgoto, além das ligações clandestinas e infiltrações, mais impactantes. Os autores elaboraram a Tabela 3, contendo valores referenciais de volume conforme diversas referências da literatura. Observa-se que existe grande variação, possivelmente relacionada à influência de diferentes sistemas de coleta, dentre outras variáveis. Os valores médios para o cenário brasileiro se aproximam daquele obtido em experimentação por Silva e Carvalho (2007).

Tabela 3: Volumes de areia retidos em desarenadores segundo referências da literatura

Referência	Países dos Autores	Intervalo (L/1.000 m ³)	Média (L/1.000 m ³)
Mara, D.	Reino Unido (Escócia)	0 ~ 170	50 ~ 100
Metcalf & Eddy	Estados Unidos	0,3 ~ 180	-
Imhoff, K ¹	Alemanha	68 ~ 160	-
Degrémont ¹	França	0 ~ 160	-
Azevedo & Hess	Brasil	13 ~ 40	15 ~ 29
ETE Pinheiros ²	Brasil	3 ~ 73	41
ETE V. Leopoldina ²	Brasil	0 ~ 22	12

(1) Valores transformados com base em 200 L/hab.d.

(2) Valores reais medidos, pelos autores, entre janeiro de 1976 e março de 1977.

Fonte: Jordão e Pêsoa, 2005 (adaptado).

Despejos gordurosos, também identificados na literatura como “Óleos & Graxas” (O&G) ou “*Fat, Oil and Grease*” (FOG), são o terceiro componente mais abundante do esgoto doméstico – atrás apenas dos sólidos e da matéria orgânica – e resultam principalmente do preparo e consumo de alimentos – o óleo de cozinha é o poluente mais comum da classe dos ésteres graxos –, sendo sua disposição em pias uma atividade frequentemente realizada por grande parte da população. Devido à notável estabilidade química, são muito prejudiciais à coleta e ao tratamento de esgotos, uma vez que tendem a ficar depositados ao longo das tubulações, endurecer e, conseqüentemente, provocar problemas de redução da seção disponível, elevação da lâmina líquida e, naturalmente, entupimentos. A instalação de caixas de gordura nos domicílios é essencial para minimizar o problema (GNIPPER, 2008).

O&G podem, na rede coletora, juntar-se a detritos, especialmente os fibrosos – como absorventes, cotonetes e lenços, descartados principalmente em aparelhos sanitários – e formar “*fatbergs*”, grandes massas responsáveis por transbordamentos frequentes (WALLACE *et al.*, 2017). Trata-se de risco para a saúde pública, pois há aumento da chance de retorno do efluente, facilitando o contato de pessoas e animais com substâncias nocivas, vetores de doenças e microrganismos patogênicos, além de existir desconforto associado a

maus odores. A manutenção das redes torna-se, também, muito mais custosa, demandando o deslocamento de equipamentos e funcionários e causando perturbações urbanas.

Despejos gordurosos são altamente indesejáveis em ETEs, uma vez que sua estabilidade química implica em dificuldade de decomposição por bactérias. No tratamento convencional, se esses compostos estiverem presentes em elevada concentração, podem provocar problemas tanto na etapa biológica – secundária – quanto na primária. Sua presença resulta em redução do oxigênio dissolvido (OD) e simultânea elevação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) e da demanda química de oxigênio (DQO), ocorrendo alteração das condições ambientais ideais para a atividade microbiana. Em digestores, formam densa camada de gordura superficial (ORSSATTO; HERMES; VILAS BOAS, 2010). As propriedades elétricas desses poluentes também promovem a atração e agregação dos sólidos em suspensão, podendo provocar mau cheiro e entupir equipamentos da ETE (SEMIONATO *et al.*, 2005).

O&G são retirados, nas ETEs, como parte da espuma. Esse procedimento pode ser problemático caso estejam presentes em elevada concentração. Em reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), pode ser necessária a raspagem do material, a montante, nos desarenadores (BORGES, 2014). Se O&G permanecerem em grande quantidade no efluente tratado, o lançamento pode ocasionar a impermeabilização de leitos e terrenos (LOPES; BALDIN, 2009). A Resolução nº 430, de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece que efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários devem ter concentração máxima de 100 mg/L de óleos e graxas (BRASIL, 2011). No esgoto afluente, Metcalf & Eddy (2003) apontam que a concentração é muito variável e pode alcançar valores de 40 mg/L a 170 mg/L. Von Sperling (2014)¹⁰ sugere 20 mg/L a 110 mg/L. Guimarães *et al.* (2002) indicaram que concentrações afluentes acima de 65 mg/L já são suficientes para prejudicar sistemas de tratamento.

Produtos de utilização cotidiana são fabricados com diversos compostos químicos orgânicos. Destacam-se sabonetes, detergentes e, principalmente, medicamentos. Os fármacos alcançam as ETEs através da disposição em aparelhos sanitários e das próprias excretas, uma vez que residuais não aproveitados pelo organismo humano são naturalmente eliminados. Preferencialmente, podem sofrer degradação biológica ou serem adsorvidos no lodo. Contudo,

¹⁰ Os valores de referência para lançamentos gordurosos foram indicados por Von Sperling (2014) com base em sua própria experiência e referências da literatura. Segundo o autor, não há a pretensão de representar todas as situações, uma vez que inúmeras variáveis interferem na formação dos efluentes.

quando permanecem nos efluentes tratados, contaminam o meio ambiente e podem acumular-se na cadeia alimentar, causando distúrbios hormonais e doenças (BORRELY *et al.*, 2012). Outra consequência da presença dos fármacos – principalmente antibióticos – é a seleção de microrganismos resistentes. O Decreto nº 10.888, de 2020, é importante instrumento para combate ao problema, já que define a obrigatoriedade da logística reversa de medicamentos e atribui responsabilidades (BRASIL, 2020a).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2010 (BRASIL, 2010), já ressaltava a importância de serem adotados comportamentos preventivos e logística reversa para evitar danos ambientais relacionados a resíduos. Iniciativas anteriores, como a Lei nº 7.802, de 1989 (BRASIL, 1989) – agrotóxicos –, e a Resolução CONAMA nº 401, de 2008 (BRASIL, 2008) – pilhas e baterias –, também abordaram o tema. A prática, contudo, ainda permanece distante do ideal (FERREIRA; MELO; PADILHA, 2021).

No contexto brasileiro, prevalece a disposição dos detritos provenientes do tratamento preliminar no próprio terreno da ETE ou o transporte para aterros improvisados – “lixões” – e aterros sanitários. Há pouco foco na redução ou reaproveitamento do material, o que poderia resultar em benefícios ambientais, sociais e econômicos, visando ao desenvolvimento sustentável. Resíduos sólidos podem ser incinerados, gerando energia, e a areia pode ser utilizada pelo setor de Construção Civil como agregado não-estrutural. Óleos e gorduras podem ser aplicados na geração de biocombustíveis, sendo também possível a sua degradação para a produção de biogás. Ressalta-se, contudo, a necessidade da realização de estudos para que seja determinada a viabilidade do investimento em cada caso (BORGES, 2014). O&G também podem ser empregados na fabricação de sabão (LOPES; BALDIN, 2009).

A maneira mais prática de reaproveitamento do lodo de esgoto consiste em higienização para a produção de fertilizante. Em centros urbanos, onde não há considerável demanda para a agricultura, existe a alternativa de utilizá-lo como material de construção, principalmente para a fabricação de blocos, o que apresenta resultados promissores (GASPARIM, 2013). O esgoto tratado pode ser aplicado na fertirrigação e na delimitação de áreas de recreação, desde que sejam atendidos os critérios estabelecidos pelo CONAMA para o lançamento de efluentes (BRASIL, 2011). Por fim, o biogás pode ser tratado e utilizado para gerar calor, eletricidade e gás de cozinha. Ressalta-se que pode haver resistência da comunidade quanto às aplicações domiciliares, conforme apontado por Avvannavar e Mani (2007).

2.3 “Saneamento 5.0”: embasamento e oportunidades

As “Revoluções Industriais” (RIs) podem ser definidas como momentos disruptivos influenciados por saltos tecnológicos. A 1ª RI foi caracterizada pela mecanização, conduzida principalmente por motores a vapor, enquanto a 2ª RI desenvolveu-se diante do avanço da energia elétrica, alcançando seu ápice nas linhas de montagem da Ford, e a 3ª RI foi marcada pela popularização da digitalização, associada ao desenvolvimento de controladores lógicos programáveis. Ao contrário das três primeiras RIs, delineadas pelos historiadores, ao longo do tempo, por meio da observação de momentos de ruptura e transformação, a Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, assumiu caráter mais planejado. A 4ª RI pode ser descrita através do avanço ainda mais acelerado da digitalização, combinado com tecnologias de Internet e bases tecnológicas orientadas para o futuro, focadas em comunicação e objetos “inteligentes”. A Indústria 4.0 difere das anteriores também por ter assumido papel de política pública, quando o termo foi cunhado, pela primeira vez, pelo governo alemão (DRATH; HORCH, 2014, LASI *et al.*, 2014).

Segundo Lasi *et al.* (2014), a Indústria 4.0 consiste em um projeto futuro que se encontra puxado por aplicações e empurrado por tecnologias¹¹. Os autores apontaram estímulos sociais, econômicos e políticos como gatilhos de aplicações. Dentre eles, destacam-se o reduzido tempo disponível para o desenvolvimento de inovações, que devem surgir rapidamente, e a procura por eficiência econômica e ecológica, diante de um mundo com recursos cada vez mais limitados, preços elevados e mudanças sociais que exigem maior sustentabilidade. Com relação aos fatores tecnológicos, cabe destacar o aumento da automação e a circulação acelerada de dados entre atores e sensores. Os autores salientaram, como um dos conceitos da 4ª RI, a adaptação às necessidades humanas, ou seja, os sistemas de manufatura devem ser projetados para atender às demandas dos envolvidos, e não o caminho inverso. Nesse sentido, Kagermann *et al.* (2016) indicaram que o contexto da Quarta Revolução Industrial tem potencial para melhorar as condições de vida e de trabalho, além de promover crescimento econômico estável, abrir caminho para novas oportunidades considerando a transição demográfica e incentivar a sustentabilidade de inúmeros negócios.

11 A Indústria 4.0 é ainda muito recente e, em diversos locais, pouco difundida. Na literatura, alguns estudos já propõem o conceito de “Indústria 5.0”. Contudo, o termo, além de abordar um contexto não consolidado, apresenta significado variável. Nahavandi (2019), por exemplo, propôs uma visão centrada no ser humano e na interação do cérebro com robôs. Özdemir e Hekim (2018), por sua vez, focaram na coprodução de conhecimento a partir do *Big Data* (termo utilizado para se referir a grandes bases de dados ou à ciência de coletar, armazenar, filtrar, transformar e analisar amplas quantidades de dados).

Lu (2017) identificou forte relação entre a Indústria 4.0 e os conceitos de Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), Sistemas Cyber Físicos (*Cyber Physical Systems – CPS*), tecnologias de informação e comunicação (*information and communication technologies – ICT*), Arquitetura Empresarial (*Enterprise Architecture – EA*) e Integração Empresarial (*Enterprise Integration – EI*). Segundo o autor, a 4ª RI, que tem despertado crescente interesse na comunidade científica internacional, é responsável por conectar o tempo, as pessoas, os serviços e as máquinas em ambiente regido pelos princípios de acessibilidade, multilinguismo, segurança, software de código aberto e soluções multilaterais. Frank, Dalenogare e Ayala (2019) elaboraram um modelo que divide o contexto tecnológico da 4ª RI em quatro dimensões protagonistas “inteligentes” (*smart*) – manufatura, produtos, cadeia de suprimentos e fluxo de trabalho – e quatro tecnologias fundamentais de base, sobre as quais as dimensões estão apoiadas – IoT, serviços em nuvem, *Big Data* e ciência de dados.

A transformação digital, diante da Indústria 4.0, ocorre em ritmo sem precedentes, sendo falhas de implementação geralmente associadas a estruturas organizacionais rígidas, onde existe uma cultura conservadora que atrapalha o avanço de iniciativas direcionadas à alteração do fluxo de realização das tarefas (SCHUH *et al.*, 2017). De fato, diante desse cenário, os setores acadêmico e manufatureiro, em especial, vêm buscando alternativas de aprendizado capazes de impulsionar a apropriação de conceitos e tecnologias associados à 4ª RI, impactando diretamente na Gestão do Conhecimento, que assumiu papel muito mais volátil. Novas competências também passaram a ser exigidas pelo mercado. Meios tradicionais de transmissão de informações, conseqüentemente, tornam-se defasados, e novas metodologias, mais eficientes para a fixação do interesse, são buscadas (ABELE *et al.*, 2015, SENNA; RIBEIRO, 2020).

Sistemas de educação podem ser classificados em quatro diferentes estágios. O processo pode ser interpretado como evolutivo, embora não tenha alcançado todos os países com a mesma velocidade¹². Na Educação 1.0, aulas são conduzidas, em edifícios escolares, de forma autoritária. A utilização de tecnologias é proibida e o estudante é considerado mero receptáculo passivo de informações. Na Educação 2.0, o professor é visto como técnico experiente, e estudantes passam a se dedicar principalmente à memorização de informações e

12 Os estágios da educação não estão diretamente conectados com as revoluções industriais (ou seja, a Educação 2.0, por exemplo, não tem relação direta com as práticas fordistas da 2ª RI). Além disso, como apresentado por Makrides (2020), diferentes estágios podem coexistir atualmente dentro de um mesmo país, variando conforme decisões das autoridades locais e práticas das instituições.

à realização de provas para comprovar seus conhecimentos. Tecnologias são aceitas com moderação e a escola ultrapassa a barreira do edifício físico, estando presente também na Internet. Na Educação 3.0, ocorre notável ruptura: o estudante torna-se o foco de atenção, e há incentivo à exploração de novas ideias e questões. O professor passa, então, a ser um facilitador do processo de ensino, contribuindo através do diálogo e da cooperação. Tecnologias estão fortemente presentes e são usadas com planejamento, enquanto o aprendizado ocorre em qualquer lugar (MAKRIDES, 2020).

Na Educação 4.0¹³, há foco em cocriação, criatividade, inovação e desenvolvimento de novas habilidades. O estudante é visto como a chave para o futuro e o professor toma a posição de “treinador” (*coach*), assumindo papel coparticipativo. Tecnologias são ainda mais acessíveis – muitas vezes de forma gratuita – e escolas podem estar totalmente presentes na nuvem (*cloud computing*) ou associadas a novas tecnologias que ainda irão surgir (MAKRIDES, 2020). A Educação 4.0 pode também ser interpretada como o novo modelo educacional que busca atender às necessidades e explorar as oportunidades da Quarta Revolução Industrial. É fortemente baseada no princípio do aprendizado por experiência – preferido pelos estudantes dessa nova geração – e, portanto, único para cada indivíduo. Consequentemente, não basta que professores e tutores tenham domínio sobre o conteúdo, como também sobre as maneiras de assimilação pelo público (ALMEIDA; SIMOES, 2019). Diante do impacto generalizado da Indústria 4.0 e do potencial das novas ferramentas, não surpreende que estas tenham alcançado setores muito além do ambiente industrial, para o qual foram desenvolvidas.

Apesar de autores como Kagermann *et al.* (2016) e Lasi *et al.* (2014) indicarem a existência de interfaces da Indústria 4.0 com aspectos sociais e sustentáveis – que, em essência, existem, ao considerar o contexto de política pública –, há críticas na literatura quanto ao foco muito direcionado ao setor industrial e ao aumento da produtividade. Para ressaltar a interdependência entre o desenvolvimento tecnológico e a necessidade de serem estabelecidas abordagens multidisciplinares na sociedade, a Federação Empresarial do Japão (Keidanren) construiu o conceito de Sociedade 5.0, ressaltando a importância de que “tecnologias digitais e dados sejam utilizados para criar uma sociedade onde as pessoas liderem diversos estilos de vida e busquem a felicidade de suas próprias maneiras” (FEDERAÇÃO EMPRESARIAL DO

13 Existem algumas referências na literatura abordando o conceito de “Educação 5.0” (LANTADA, 2020). Contudo, assim como o conceito de “Saneamento 5.0”, introduzido neste trabalho, trata-se de algo novo e ainda não consolidado.

JAPÃO, 2017, p. 8, tradução do Autor). A Sociedade 5.0 busca equilibrar a Indústria 4.0, o desenvolvimento econômico responsável e a resolução de problemas sociais, visando propiciar ambiente alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela ONU (POTOCAN; MULEJ; NEDELKO, 2020).

As primeiras comunidades humanas se desenvolveram em torno da necessidade da caça. Tratava-se da Sociedade 1.0, ou Sociedade da Caça. A partir de aproximadamente 13000 anos antes de Cristo, com a evolução promovida através da agricultura, surgiu a Sociedade 2.0, também denominada Sociedade Agrária. A Sociedade 3.0, ou Sociedade Industrial, estabeleceu-se apenas no final do século XVIII, apoiando-se sobre as inovações da 1ª e da 2ª Revoluções Industriais. Com a 3ª RI, ao final do século XX, surgiu a Sociedade 4.0, ou Sociedade da Informação, diretamente relacionada à computação. Por fim, está sendo estabelecida uma nova era, a da Sociedade Criativa, ou Sociedade 5.0, apoiada diretamente sobre a 4ª RI e sua transformação digital. A nova sociedade será guiada por conceitos de resolução de problemas, criação de valor, diversidade, descentralização, resiliência e sustentabilidade e harmonia ambientais (FEDERAÇÃO EMPRESARIAL DO JAPÃO, 2017).

Percebe-se que, ao longo do tempo, o intervalo entre os diferentes níveis de sociedade tornou-se cada vez mais curto, algo decorrente do progressivo e acelerado avanço tecnológico. Destaca-se, portanto, a importância de serem desenvolvidas novas e recorrentes pesquisas para acompanhar as rápidas mudanças e aproveitar, da melhor forma possível, seu potencial.

Quatro períodos podem ser definidos para o saneamento – no sentido da Língua Inglesa, ou seja, referindo-se ao esgotamento sanitário –, sem que exista conexão direta às revoluções industriais ou aos níveis de sociedade. O Saneamento 1.0, “convencional”, foi caracterizado por visão reducionista e mecânica, sendo o foco direcionado a tecnologias de “final de tubo”, ou seja, ao usuário final, sem considerar a recuperação de subprodutos. O Saneamento 2.0, “ecológico”, ainda mantinha visão reducionista, mas destacando recursos, ecologia e separação das excretas, de forma a tentar aproximação com a agricultura. As maiores dificuldades eram as barreiras culturais e os custos. O Saneamento 3.0, “sustentável”, passou a valorizar aspectos sociais, ambientais e econômicos. Adotou como princípios a proteção à saúde, a acessibilidade econômica, a sustentabilidade ambiental e a adequação institucional, tomando como base definições genéricas do desenvolvimento sustentável. Foi, contudo, criticado por apresentar tendência a simplificar demasiadamente problemas complexos. O

Saneamento 4.0, “regenerativo”, por sua vez, representa quebra de paradigmas, uma vez que ressalta visões holísticas, integradas e transdisciplinares. Tem foco na revitalização de sistemas para melhorar serviços, expandir o acesso, propagar benefícios e proteger o meio ambiente (KOOTTATEP; COOKEY; POLPRASERT, 2019).

Ao serem buscados novos meios de aprendizado visando facilitar o acesso à informação pela população, em um cenário de coletivização do conhecimento diante da popularização das TICs, pode-se dizer que estão sendo utilizados os conceitos: i) de Indústria 4.0, uma vez que esta fornece a base tecnológica necessária; ii) de Educação 4.0, tendo em vista que há preocupação com as formas de assimilação do conhecimento; iii) de “Saneamento” 4.0, considerando visão transdisciplinar; e iii) de Sociedade 5.0, já que existe o princípio norteador de construção social. Seria estabelecida, então, uma Educação 5.0? E quais oportunidades poderiam ser apropriadas, pelo setor de saneamento, para criar um “Saneamento 5.0”?

Define-se, pois, que “Saneamento 5.0” constitui a aplicação de conceitos apoiados por tecnologias da revolução digital no setor de saneamento, sob a luz dos princípios norteadores da ONU, do DHAES, e da Sociedade 5.0, visando colocá-los a serviço da sociedade.

2.4 Educação para o “Saneamento 5.0”: aprendizagem móvel, gamificação e serious games

Ações estruturantes em saneamento devem ser balizadas por uma visão sistêmica, que valorize a importância do usuário como agente de soluções permanentes de educação e participação popular (HELLER; REZENDE, 2013). A ação sanitária deve ser considerada como conjunto de tarefas interligadas, indissociáveis. Deve incluir o usuário e programas educacionais como elementos-chave já previstos desde a fase de projeto, elevando-se a chance de sucesso da solução (BRICEÑO-LEÓN, 2000). Ao considerar que mais de um terço da população mundial está online, em constante contato com outras pessoas e instituições, as possibilidades para os setores de saneamento e saúde são ilimitadas. Há transição, a partir de um modelo hierárquico, para outro, centrado no usuário, que permite estabelecer contato mais ágil e efetivo com a sociedade, empoderando as pessoas e democratizando o conhecimento (GOMEZ-GALVEZ; MEJÍAZ; FERNANDEZ-LUQUE, 2015). Ou seja, o caminho para a formação permanente de agentes de saneamento, no contexto da Sociedade 5.0, passa por plataformas digitais móveis, muito populares.

Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD¹⁴, do IBGE (2021a), indicaram que, no ano de 2019, em 99,5% dos domicílios brasileiros conectados à Internet, telefones celulares¹⁵ foram utilizados para navegar¹⁶, enquanto em 45,1% foram utilizados computadores. Televisores e tablets foram menos populares, com porcentagens de 31,7% e 12,0%, respectivamente. Naquele ano, a rede era utilizada em 82,7% dos domicílios do País. Entre 2018 e 2019 houve redução da utilização de computadores e tablets, enquanto telefones celulares mantiveram percentual estável. Alguns dados sobre o acesso, considerando as cinco macrorregiões, estão apresentados na Tabela 4. Para as variáveis que envolvem diretamente a população, foi considerado somente o público acima de 10 anos de idade.

Tabela 4: Acesso à Internet e posse de telefones celulares no Brasil para o ano de 2019

Região	SE (%)	CO (%)	S (%)	NE (%)	N (%)	Brasil (%)
Domicílios que utilizaram Internet - Urbano	88,8	88,9	87,5	81,3	86,5	86,7
Domicílios que utilizaram Internet – Rural	64,6	62,1	67,2	51,9	38,4	55,6
Pessoas que utilizaram a Internet	83,8	84,6	81,8	68,6	69,2	78,3
Pessoas com telefone celular - Urbano	86,7	88,3	88,1	78,7	77,1	92,3
Pessoas com telefone celular - Rural	70,9	77,4	73,8	53,0	43,7	79,0

Fonte: IBGE, 2021a (adaptado).

Os dados da Tabela 4 indicam grande distanciamento no acesso à Internet entre áreas urbanas e rurais¹⁷, o que se repete para a posse do telefone celular. Existe também evidente desigualdade entre as macrorregiões, sendo Nordeste e Norte menos favorecidas: admite-se que diferenças socioeconômicas exercem influência, mas é importante ressaltar que o reduzido poder de compra do indivíduo e a falta de infraestrutura nem sempre condicionam a ausência do equipamento ou do acesso à rede, uma vez que as pessoas podem não aderir às tecnologias por motivos culturais ou pessoais (IBGE, 2021a). É marcante, contudo, o enorme potencial de alcance de aplicativos voltados a dispositivos móveis, tendo em vista a média

14 A PNAD Contínua tem o objetivo de produzir informações básicas sobre o desenvolvimento socioeconômico do País. É realizada a partir de uma amostra probabilística de domicílios, extraída da amostra mestra de setores censitários do Censo de 2010, visando garantir maior representatividade dos resultados para diversos níveis geográficos (IBGE, 2021b).

15 O termo “telefones celulares”, utilizado pelo IBGE, é pouco preciso, pois pode incluir telefones tradicionais e smartphones. Telefones tradicionais são centrados em duas funções principais: realizar e receber ligações e mensagens SMS. Smartphones são equipamentos muito mais complexos, com múltiplas funções, sendo uma delas o acesso à Internet por meio de navegadores móveis, experiência nem sempre possível ou completa em telefones comuns.

16 O estudo conduzido pelo IBGE questionou quais atividades as pessoas realizavam em seus dispositivos. Contudo, não indicava jogos eletrônicos como opção.

17 A classificação de setores censitários utilizada pelo IBGE para categorizar ambientes urbanos e rurais tem sido questionada por apresentar grau de abstração intrínseco à sua metodologia. Durante a elaboração do PNSR, estimou-se que 21,03% da população brasileira residia, em 2010, em setores censitários rurais, valor substancialmente maior que o aferido pelo IBGE, de 15,57% (BRASIL, 2019, RIGOTTI; HADAD, 2021).

nacional de 81,0% da população com posse de telefone celular e 78,3% de pessoas que efetivamente acessam a Internet. Os percentuais de acesso considerando as múltiplas faixas etárias estão consolidados na Tabela 5.

Tabela 5: Uso de telefones celulares e Internet no Brasil, em 2019, por faixas etárias

Faixa etária (anos)	Possuem telefone celular (%)	Utilizam a Internet (%)
10 a 13	47,2	77,7
14 a 19	78,5	90,2
20 a 24	-	92,7
25 a 29	91,0 (25 a 39 anos)	92,6
30 a 39	91,0 (25 a 39 anos)	90,4
40 a 49	-	84,6
50 a 59	84,7	74,2
60 ou mais	67,0	45,0

Fonte: IBGE, 2021a (adaptado).

Ao analisar a Tabela 5, percebe-se que a porcentagem de pessoas com acesso a telefones celulares é mínima para o público de 10 a 13 anos, crescendo gradualmente até alcançar o ápice de 91,0%, para o público de 25 a 39 anos, e reduzir nas faixas seguintes. Os dados de acesso à Internet constituem uma curva de formato semelhante, sendo a utilização entre os 14 e 39 anos superior a 90%. Percebe-se que, para a faixa mais jovem, especialmente 10 a 13 anos, o acesso à Internet supera a posse de telefones celulares, uma vez que crianças apresentam menor tendência a possuírem telefones próprios, mas não deixam de acessar a rede utilizando outros equipamentos. Os valores se aproximam para as faixas médias, enquanto demonstram relação oposta aos 50 anos ou mais: pessoas com idade mais avançada não têm interesse na utilização da Internet ou a consideram complexa, muitas vezes comprando telefones apenas para a realização de tarefas mais básicas.

Ozdamli e Cavus (2011) apontaram que smartphones apresentam importância muito maior na vida dos jovens e são utilizados principalmente por essa faixa etária, corroborando os dados do IBGE (2021a). Segundo as autoras, o conceito de aprendizagem móvel – que possibilita o acesso a materiais e informações, em qualquer lugar e a qualquer momento, utilizando equipamentos móveis conectados à Internet, como smartphones e laptops – permite a interação entre os vários elementos do aprendizado de forma combinada, eficiente e otimizada. Para a construção de plataformas, indicaram modelo composto por cinco elementos:

1. Usuário: pessoa em torno da qual os demais elementos devem ser modelados, servindo a seus interesses e às suas necessidades;
2. Tutor: educador responsável por determinar os materiais a serem apresentados e as maneiras de fazê-lo, identificando interesses e definindo objetivos;
3. Conteúdo: material a ser estudado, que deve ser acessível e pode ser apoiado em jogos e elementos multimídia;
4. Ambiente: local de acesso à informação, projetado para fornecer experiências positivas, sendo preferencialmente capaz de suportar a interação entre distintas plataformas e usuários;
5. Avaliação: métodos desenvolvidos para que o próprio usuário analise seu desempenho e o tutor receba feedback, avaliando pontos positivos e negativos na transmissão de conhecimento. Sistemas bem projetados habilitam feedback instantâneo. A avaliação deve ser criteriosa o suficiente para que o usuário compreenda sua evolução e se sinta interessado, mas leve o suficiente para não incitar o sentimento de pouca evolução, promovendo o desinteresse.

No contexto da educação para a Indústria 4.0, conceitos como gamificação e *serious games* são reconhecidos como influentes e eficientes ferramentas, de uso cada vez mais frequente (ALMEIDA; SIMOES, 2019). Plataformas móveis de aprendizado podem ser desenvolvidas em torno desses conceitos para criar poderosos instrumentos para a sensibilização popular, capazes de fixar a atenção do usuário enquanto simultaneamente o acompanham, independentemente do local. Essa abordagem tem sido aplicada com sucesso em inúmeros setores para além da educação – e suas várias vertentes, como as ciências da História, da Linguística, da Literatura e da Química –, como a antropologia – com destaque para o combate ao racismo –, o esporte, o planejamento urbano, a produção musical, a saúde – envolvendo estabilidade mental, nutrição, simulações cirúrgicas, tratamento de doenças graves, treinamento médico, etc. – e a segurança pública (MA; OIKONOMOU, 2017).

Dados da pesquisa de 2020 da Entertainment Software Association (ESA, 2020)¹⁸, tomando como referência os Estados Unidos – maior mercado do mundo para o setor de jogos eletrônicos –, indicaram que em 75% dos domicílios havia pelo menos uma pessoa que joga

¹⁸ Os resultados publicados foram obtidos a partir da expansão de uma amostra de 4.000 lares estadunidenses (ESA, 2020).

videogames. A idade média do jogador situou-se entre 35 e 44 anos, sendo 21% dos jogadores menores de 18 anos, 38% situados na faixa dos 18 aos 34 anos, 26% entre 35 e 54 anos, 9% entre 55 e 64 anos e 6% acima dos 65 anos. Do total de crianças, 70% jogavam videogames, enquanto, para os adultos, esse percentual correspondeu a 64%. Os dispositivos mais usados pelos jogadores foram smartphones, mencionados por 61% do público, seguidos por consoles de videogame (52%) e computadores pessoais (49%). Apesar das diferenças entre os países, a prevalência de smartphones e a faixa de idade na qual os videogames são mais populares coincidem com os dados do IBGE (2021a).

Muito se discute sobre a definição da palavra “*gamification*” na literatura. Segundo Deterding *et al.* (2011), a gamificação acaba sendo utilizada sumariamente como um termo – criado em 2008 e popularizado a partir de 2010 – que conecta inúmeros conceitos distintos e associados a softwares inspirados por videogames, no contexto de *human-computer interaction* – HCI (interação humano-computador), como *serious games* (jogos sérios¹⁹), *pervasive games* (jogos pervasivos), *alternate reality games* (jogos de realidade alternativa), *games with a purpose* (jogos com um propósito) e novas categorias que surgem continuamente. Essa conexão, contudo, não é clara. Buscando estabelecer um conceito padronizado, os autores definiram gamificação como “o uso de elementos de design de jogos fora do contexto de jogos” (DETERDING *et al.*, 2011, p. 1, tradução do Autor), convenção que se tornou referência. Contudo, ressalta-se que mesmo as fronteiras do que seria um “contexto de jogos” são de difícil definição e, portanto, a utilização do termo permanece ampla e incerta.

No campo da ciência de estudo de jogos, a gamificação pode ser entendida como a aplicação e a extensão de elementos de jogos para além dos típicos fins de entretenimento residencial. Jogos sérios, por sua vez, são softwares interativos para um ou mais jogadores que incluem, em seu desenvolvimento, objetivos adicionais que extrapolam as fronteiras do simples entretenimento. Jogos pervasivos adicionam características espaciais, temporais ou sociais para criar um ambiente mais envolvente, levando a jogabilidade, por exemplo, para o espaço real público. Jogos de realidade alternativa inserem camadas de narrativas em contextos do mundo real, criando novos significados e formas de interação. Por fim, jogos com um propósito resolvem problemas e tarefas da realidade enquanto são executados (DETERDING

19 Buscando evitar a utilização de termos estrangeiros, são fornecidas traduções para os diversos conceitos relacionados. Contudo, essas traduções podem não representar, de maneira precisa, o conjunto de ideias envolvidas na concepção das expressões originais.

et al., 2011). Essas distintas vertentes apontam para a ocorrência de uma “ludificação da cultura” das novas gerações, onde:

“Os videogames se tornaram um meio cultural e uma fonte de experiências formativas no mesmo nível da literatura, do cinema ou da televisão nas gerações anteriores. Tecnologias, tropos, referências, metáforas, mentalidades e práticas decorrentes dos jogos influenciam cada vez mais a sociedade e a vida cotidiana, principalmente nas identidades lúdicas e nas práticas midiáticas lúdicas” (DETERGING *et al.*, 2011, p. 10, tradução do Autor).

Os participantes da pesquisa da ESA (2020) associaram os seguintes benefícios com o ato de jogar videogames: i) 80% afirmaram que promovem estímulo mental; ii) 79% disseram que propiciam relaxamento diante do estresse; iii) 63% indicaram que ajudam com a resolução de problemas; iv) 57% sugeriram que trazem felicidade; v) 55% anunciaram que auxiliam a fazer e manter amizades; e vi) 50% declararam que incentivam os membros da família a passarem mais tempo juntos (ESA, 2020). Entende-se, pois, que as pessoas geralmente procuram jogos digitais para obter estímulos positivos. McGonigal (2011) indicou que a distância entre jogadores e não-jogadores está ficando cada vez mais reduzida, existindo popularização acelerada e inevitável desses softwares. Na visão da autora, este fato está associado ao papel cada vez mais crucial dos videogames para a sociedade, tendo em vista que são capazes de preencher dimensões que a realidade não é capaz de alcançar. No contexto da educação, jogos podem oferecer níveis de interação com o conhecimento que dificilmente seriam obtidos por metodologias tradicionais:

“Na sociedade de hoje, jogos de computador e videogame são necessidades humanas genuínas que o mundo real não é capaz de satisfazer. Os jogos oferecem recompensas que a realidade não oferece. Eles estão nos ensinando, inspirando e envolvendo de maneiras que a realidade não consegue. Eles estão nos unindo de maneiras que a realidade não está” (MCGONIGAL, 2011, p. 4, tradução do Autor).

Freire (1981) apontou que processos educativos, visando à construção de cidadãos conscientes, dependem simultaneamente do contexto de vivência do indivíduo e de sua capacidade de refletir criticamente sobre ele (vocação ontológica). Infere-se que uma educação popular apoiada por jogos seria capaz de promover a identificação, pelo indivíduo, de seu contexto local diante de um cenário geral, o que estimularia o pensamento crítico e a construção de relações entre ações cotidianas e suas consequências diretas.

Gohn (2006) definiu que a construção do conhecimento está associada a três tipos de processos, que ocorrem de forma simultânea: i) os formais, que compreendem a educação estruturada e normativa realizada nas escolas; ii) os não formais, compostos por inúmeros processos de aprendizagem coletiva e autoaprendizagem, caracterizados por maior difusão; e iii) os informais, baseados no convívio cotidiano entre pessoas de uma comunidade. Ferramentas baseadas em jogos podem estar presentes nas três dimensões, uma vez que: i) seu uso pode ser incentivado em ambientes escolares; ii) favorecem a autoaprendizagem por meio da prática da jogabilidade, além de poderem estar presentes em organizações diversas; e iii) estimulam o compartilhamento do conhecimento no ambiente familiar e entre amigos.

Ao considerar a perspectiva da Gestão do Conhecimento, podem ser pontuadas as dimensões tácita e explícita. Conhecimento tácito é aquele incorporado ao indivíduo, muitas vezes fortemente valorizado por este, e dependente de processos de verbalização e observação para ser compartilhado, o que nem sempre ocorre facilmente. Conhecimentos explícitos são mais facilmente estruturados e podem estar descritos em materiais informativos, como livros e programas de computador (SORDI; NAKAYAMA; BINOTTO, 2018). A construção de uma cultura sanitária a partir de aplicativos educativos, portanto, utilizaria elementos explícitos para a transmissão de conteúdo teórico, mas, ao mesmo tempo, os disponibilizaria de forma interativa e divertida, estimulando a absorção tácita e o compartilhamento através do diálogo.

O aplicativo proposto neste trabalho é classificado como *serious game*, uma vez que constitui solução completa – um jogo propriamente dito – que visa sensibilizar enquanto diverte, promovendo o entusiasmo para o alcance de objetivos relacionados à causa de interesse, de forma a construir motivação permanente. Para isso, podem ser utilizados elementos como competições, conquistas, gráficos, imaginação, objetivos, narrativas, níveis, rankings, recompensas, regras e sistemas de pontuação (KLAASSEN *et al.*, 2018). Jogos sérios buscam incentivar alguma mudança no jogador, podendo esta ser relacionada à atitude, ao conhecimento, ao estado mental, à habilidade cognitiva, à habilidade física ou à saúde (MCCALLUM, 2012). Estudos apontam que essas iniciativas são capazes de melhorar o desempenho de papéis e a disposição em realizar ações corretas e ajudar outros indivíduos, algo que não pode ser alcançado com a mesma intensidade por simples leitura de textos (PENG; LEE; HEETER, 2010). Dentre as formas de incentivar a fixação de conteúdo teórico, destaca-se a possibilidade de inserção de quizzes (PEREIRA; DINIZ; GOUVEIA, 2020).

No tocante ao processo de criação de jogos sérios, Wilson *et al.* (2017) recomendam atenção para as heurísticas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Heurísticas recomendadas para o desenvolvimento de *serious games*

Categoria	Item
Interface de jogo	1. Controles devem ser customizáveis 2. A interface do usuário deve ser customizável 3. Devem existir mecanismos apropriados, visuais e de áudio, para entregar feedback ao jogador 4. A visão do mundo do jogo pelo jogador deve ser limpa e sem obstruções 5. O jogador deve ser sempre capaz de identificar sua pontuação e seu status
Mecânicas do jogo	6. A curva de aprendizado não deve ser muito íngreme 7. O jogo deve ser responsivo para as necessidades particulares do jogador 8. O feedback ao jogador deve fazer sentido
Jogabilidade	9. A inteligência artificial deve ser funcional 10. O jogador deve ser capaz de navegar facilmente pelo mundo do jogo 11. Objetivos devem ser claros e compostos por duas categorias: de curto prazo (logo no início do jogo) e de longo prazo (aqueles considerados primordiais) 12. Desafios, estratégia e ritmo devem estar em equilíbrio 13. O jogo deve ser acessível no sentido do aprendizado 14. O jogo deve ser montado de forma a poder ser repetido

Fonte: Wilson *et al.*, 2017 (adaptado).

Pesquisas nas bases de dados científicas Scopus e Web of Science demonstram que, embora a gamificação e os jogos sérios sejam populares na educação, na saúde e em outros setores, poucas aplicações interagem com elementos de saneamento. Um dos exemplos mais antigos de *serious game*, referenciado por múltiplos trabalhos, é “Darfur is Dying”. Lançado em 2006 – portanto, antes da popularização dos conceitos, ocorrida a partir de 2010 –, é baseado em Flash e busca sensibilizar os usuários ao demonstrar a situação de vida dos refugiados na região de Darfur, no Sudão, que sofreram durante um conflito armado iniciado em 2003. O jogador seleciona um personagem que precisa buscar água para sustentar sua família, e aprende que a chance de sucesso é predeterminada por fatores como sexo e idade. É necessário evitar as milícias locais e tomar atitudes para a administração do campo. O jogo estimula ações reais como o envio de cartas para o governo estadunidense e a assinatura de petições para apoiar os refugiados, demonstrando a importância dessas atividades para a melhoria das condições de vida. Ativistas com experiência no local participaram do desenvolvimento. O software pode ser acessado no portal “Games for Change” – plataforma criada com o objetivo de popularizar jogos de impacto social –, dependendo da instalação de um browser específico, já que o suporte ao Flash foi encerrado pela Adobe (GAMES FOR CHANGE, 2006, WILSON *et al.*, 2017). A Figura 1 apresenta a interface principal do jogo.



Figura 1: Interface principal do jogo “Darfur is Dying”

Fonte: Super Interessante, 2011.

No campo do manejo de águas pluviais, destaca-se o jogo “FloodSim”. O software objetiva chamar a atenção da população para o crescente risco de inundações no Reino Unido. O jogador fica a cargo da administração das políticas públicas contra alagamentos durante três anos, sendo necessário decidir quais métodos de defesa adquirir, quanto dinheiro investir, como manter a população informada e onde construir edificações. É necessário realizar a difícil escolha de priorização de regiões diante dos limitados recursos financeiros disponíveis e do impacto potencial para a economia local e a população residente. O jogo objetiva demonstrar as pressões a que estão submetidos os tomadores de decisões, ressaltando a complexidade do tema. A jogabilidade ocorre através de turnos, sendo a estratégia essencial para a vitória. Ao final de cada rodada, um jornal fictício apresenta resultados das decisões, fornecendo feedback ao jogador. O propósito final é motivar ações por parte da população. O software pode ser encontrado no portal “Games 4 Sustainability”, que busca apoiar jogos e simuladores capazes de transmitir mensagens sobre sustentabilidade. É baseado em Flash,

dependendo de browser específico (GAMES 4 SUSTAINABILITY, REBOLLEDO-MENDEZ *et al.*, 2008). A interface de uma das etapas do jogo está demonstrada na Figura 2.



Figura 2: Interface de uma das etapas do jogo “FloodSim”

Fonte: Rebolledo-Mendez *et al.*, 2011.

Dentre as iniciativas direcionadas ao manejo de resíduos sólidos, pode-se citar o sistema de realidade aumentada introduzido pela Tetra Pak nas embalagens de produtos (Ad On Pack), em acordo estabelecido com fabricantes de alimentos (TETRA PAK, 2019). Através da leitura de um código QR – tecnologia que Lorenzi *et al.* (2014) apontaram como alternativa barata, fácil e segura para transmitir informações no contexto de plataformas móveis –, o consumidor consegue acessar, no smartphone ou tablet, jogos interativos relacionados à saúde e à sustentabilidade. Um desses códigos, apresentado na Figura 3, redireciona para o link <https://l.ead.me/bbU4ej> e abre um quiz animado que trata da problemática da inserção de conservantes nos alimentos.

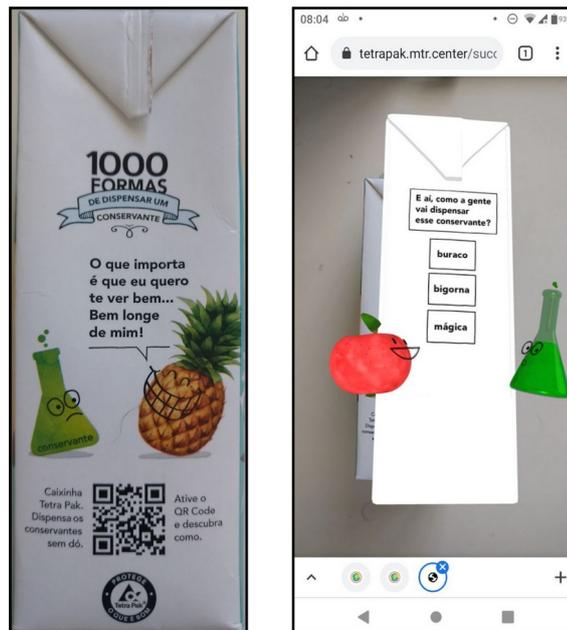


Figura 3: Jogo sobre conservantes

Fonte: Autor (2021).

Outro, referente ao link <https://lead.me/bbTXNJ> e apresentado na Figura 4, trata da reciclagem. Uma cesta de basquete é projetada na caixa e o jogador precisa pressionar o botão no tempo correto para determinar a força do arremesso. Mensagens sobre tipos de resíduos recicláveis são mostradas e há incentivos para repetir o comportamento no mundo real.



Figura 4: Jogo sobre reciclagem

Fonte: Autor (2021).

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi inicialmente delineado em duas etapas sequenciais, coincidentes com os objetivos específicos. Primeiramente, utilizando-se metodologia quali-quantitativa, seriam exploradas lacunas de compreensão que poderiam contribuir para a utilização inadequada dos aparelhos sanitários e das redes coletoras de esgotos, sendo também identificadas e analisadas as consequências para os sistemas de coleta e tratamento. Posteriormente, as informações adquiridas seriam utilizadas como base teórica para o desenvolvimento do *serious game*. Em virtude do surgimento da pandemia de Coronavírus (COVID-19) e das medidas de isolamento social, adotadas durante o ano de 2020, a metodologia proposta, apresentada na Figura 5 – em termos de passos considerados, atores envolvidos e produtos esperados –, precisou ser reformulada, uma vez que envolveria interação presencial entre colaboradores e participantes.

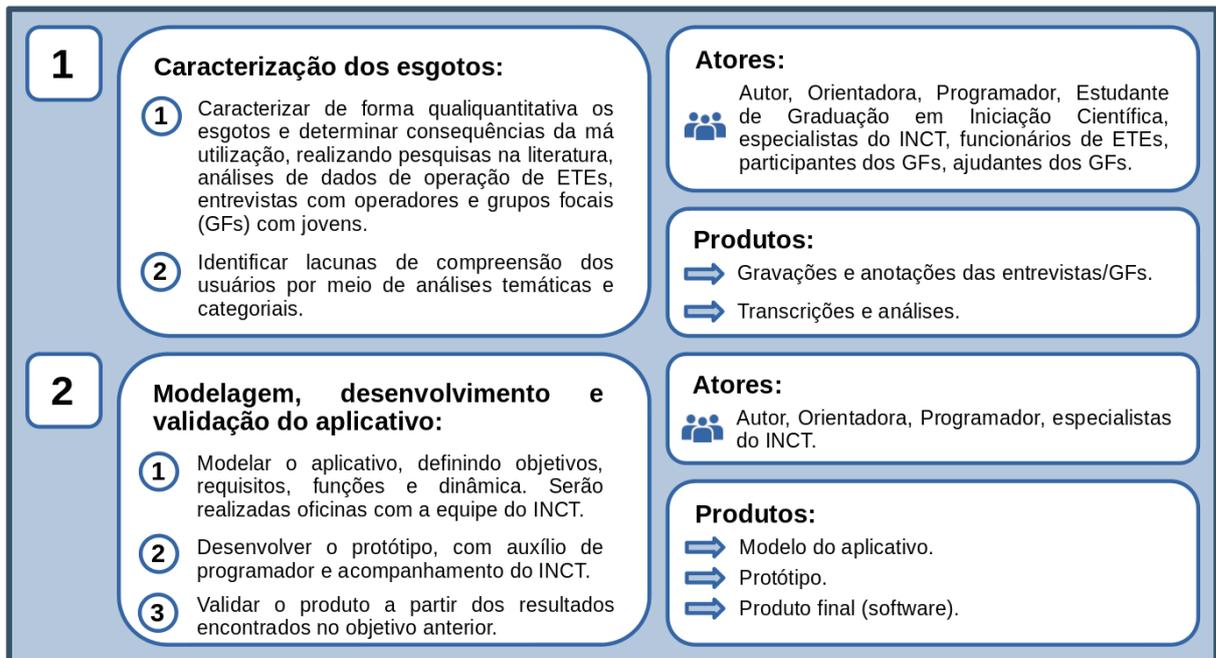


Figura 5: Resumo esquemático da metodologia

Fonte: Autor (2021).

Visando evitar prejuízo ao cronograma de trabalho, optou-se, primeiramente, pela inversão das etapas, sendo adiantados a modelagem e o desenvolvimento do software. A literatura científica sobre o problema do lançamento de detritos, substâncias e águas pluviais em aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos – complementada por experiências do Autor, da Orientadora e de especialistas do INCT ETEs Sustentáveis – foi utilizada como base

teórica. Logo que as condições sanitárias se tornassem favoráveis, as etapas de pesquisa qualitativa seriam realizadas, atuando, portanto, como mecanismos de validação. Contudo, a situação permaneceu grave durante todo o período de elaboração do projeto, sendo o contato presencial fortemente desaconselhado. Como forma de garantir a segurança dos pesquisadores e participantes, visitas técnicas planejadas para ETEs foram canceladas e interações com todos os participantes foram realizadas por meios digitais. Embora os passos referentes aos dois objetivos sejam apresentados sequencialmente, os procedimentos foram realizados de forma simultânea.

3.1 Caracterização do lançamento de materiais e seus impactos

A caracterização quali-quantitativa dos esgotos, considerando a temática do lançamento de materiais e águas pluviais, foi realizada em duas frentes: coleta de informações referentes às perspectivas de trabalhadores de ETEs (item 3.1.1), por meio de análises de dados relativos às operações de tratamento e entrevistas semiestruturadas; e referentes às perspectivas do público de interesse (item 3.1.2), por meio de análises de discussões em grupos focais (GFs). A Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde – CNS (BRASIL, 2012), estabelece que pesquisas que envolvam seres humanos devem ser submetidas a um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) para análise. Portanto, a documentação necessária foi elaborada e submetida à verificação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG, 2006).

Foram encaminhados ao COEP-UFMG, além do projeto de pesquisa, a folha de rosto, assinada pela Orientadora e pelo Diretor da Escola de Engenharia da UFMG (EE-UFMG), o parecer consubstanciado referente à análise pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), assinado pelo Professor Parecerista, e o ofício de aprovação do projeto, assinado pelo Chefe do Departamento. Foram também enviados outros documentos, associados aos procedimentos metodológicos adotados: para a coleta de dados com operadores de ETEs, o roteiro semiestruturado para a condução das entrevistas (Apêndice A), a carta de anuência para a diretoria das ETEs (Apêndice B²⁰) e o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) para os entrevistados (Apêndice C); para a coleta de dados com a população, o convite para participação em grupos focais (Apêndice D), o roteiro para sua

20 Para adequar o formato de todos os documentos à Dissertação, os campos para assinaturas foram removidos, visando à preservação do aspecto formal e à redução do número de páginas. Contudo, as versões finais enviadas às ETEs e aos participantes continham esses campos.

condução (Apêndice E), e o TCLE para os participantes (Apêndice F). Uma ficha de caracterização dos participantes foi também enviada, mas não foi utilizada, uma vez que as informações que seriam coletadas foram posteriormente consideradas pouco relevantes.

O projeto, registrado no Sistema Nacional de Informações sobre Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (SISNEP) sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) 32821720.7.0000.5149, foi aprovado em 14 de setembro de 2020. Emenda foi submetida para adequação da carta de anuência, sendo o parecer final de aprovação liberado em 7 de novembro de 2020. O comprovante de envio da última versão está apresentado no Anexo A. Os procedimentos de coleta de dados foram realizados após a autorização.

Na elaboração dos procedimentos metodológicos e de sua respectiva documentação, aspectos éticos inerentes ao tipo de pesquisa foram levados em consideração. Portanto, objetivou-se, desde o princípio: a adesão voluntária, obtida por meio de convites diretos que explicitavam a ausência de qualquer tipo de recompensa; a clareza, alcançada ao descrever detalhadamente, tanto para o COEP-UFMG quanto para os participantes, a metodologia adotada; a preservação das identidades dos envolvidos, garantida por meio de anonimato, sendo os resultados expressos como referentes ao grupo ou categoria, com remoção de aspectos que poderiam sugerir identidades, e os participantes identificados por meio de códigos; e a mitigação de desconfortos, afirmada pela total liberdade dos participantes em deixarem de responder à qualquer questão ou retirarem seu consentimento, sem penalização, estando o moderador sempre presente para fornecer apoio e reorientar a discussão.

A natureza da pesquisa envolveu, necessariamente, a gravação de áudio para a identificação dos participantes e a realização de transcrições. Além do envio dos TCLEs, foi solicitada anuência oral antes do início de todas as reuniões. Como forma de propiciar maior conforto – elemento de grande importância, principalmente ao considerar o contexto de pandemia e a realização de encontros à distância –, promover maior sensação de liberdade para que os encontros ocorressem de forma natural e reforçar a garantia do anonimato, não houve armazenamento de vídeo. Os áudios, as cartas e os TCLEs foram armazenados de forma segura pelo Pesquisador, em formato digital, utilizando criptografia. O material será mantido por até cinco anos, caso necessário, para a utilização em pesquisas acadêmicas, sendo posteriormente eliminado. Todas essas considerações foram apresentadas na documentação enviada aos participantes.

3.1.1 Coleta de informações sob as perspectivas de trabalhadores de ETEs

Entrevistas semiestruturadas foram realizadas com gestores locais em duas ETEs. Nesse modelo, as perguntas dispostas em um roteiro atuam como mecanismos de orientação da discussão, sendo o entrevistado livre para dissertar. A depender do aprofundamento de cada resposta, o entrevistador pode realizar novas indagações, o que possibilita a definição de um retrato mais amplo e representativo do entendimento pessoal do entrevistado, algo que não seria obtido a partir de questionários fechados (FLICK, 2013). O roteiro de questões foi elaborado com base na revisão de literatura, mas considerando que as entrevistas poderiam revelar novas perspectivas anteriormente não encontradas.

As etapas de elaboração do roteiro, coleta de dados e transcrição foram realizadas em conjunto com o Engenheiro Guilherme Araujo de Vasconcelos e Almeida, então aluno do curso de Bacharelado em Engenharia Civil da EE-UFMG, que desenvolveu o trabalho de conclusão de curso (TCC) intitulado "Consequências do uso inadequado de equipamentos sanitários sobre duas estações de tratamento de esgotos em Minas Gerais" (ALMEIDA, 2020). A construção do roteiro foi iniciada por meio da definição, pelos Pesquisadores, de cinco blocos temáticos:

- I. Chegada de materiais à ETE: determinar, segundo os entrevistados, quais itens são geralmente encontrados, como o sistema preliminar responde ao problema, se há entupimentos na tubulação ao longo do percurso e como as ligações irregulares de águas pluviais influenciam nas operações;
- II. Consequências para a operação e a limpeza: compreender como é a rotina de limpeza do sistema preliminar, se há riscos para os operadores e como o problema do lançamento de materiais no esgoto afeta seu trabalho;
- III. Consequências para o tratamento: averiguar se há impacto direto dos materiais em equipamentos e no resultado final do processo, considerando também períodos reservados para limpeza e ensaios de laboratório para determinar eficiências de remoção de contaminantes;
- IV. Destinação final do material coletado: definir a estimativa do volume de material retirado por dia, as preparações necessárias para o transporte e o destino final, levando-se em consideração a possibilidade de contaminação por fármacos;

- V. Medidas para sensibilização e educação continuada: analisar se a ETE desenvolveu ações educativas com a população, se há cursos de capacitação continuada para os operadores e se há sensibilização de pessoas próximas sobre a importância da questão.

Posteriormente, foram atribuídas, aos blocos definidos, questões consideradas relevantes, com embasamento nas referências apresentadas na seção 2.2. O material foi submetido à análise da Orientadora e, após reunião com os Pesquisadores, foram excluídas perguntas abrangentes e fora do escopo desejado. O documento final foi composto por 21 questões. Diante da natureza dinâmica das entrevistas, cada fala dos entrevistados poderia responder, simultaneamente, a mais de uma questão, e os pontos levantados foram utilizados apenas como referência do conteúdo desejado, sem que houvesse restrição sequencial, possibilidade descrita por Flick (2013). As questões, no formato enviado ao COEP-UFMG, encontram-se no Apêndice A.

As ETEs foram selecionadas por sua disponibilidade e por apresentarem porte, sistema de administração e metodologia de tratamento contrastantes, possibilitando que fossem obtidos dados de diferentes perspectivas. ETE A, localizada em metrópole de grande porte, tem rede de coleta muito extensa e utiliza sistema de tratamento convencional por lodos ativados, com elevado grau de automatização. ETE B está situada em município de grande porte – acima de 100.000 habitantes, conforme a classificação do IBGE (2011) –, mas ainda distante das proporções da metrópole A, e utiliza sistema de tratamento por reatores UASB. Com relação ao perfil dos entrevistados, foram selecionados funcionários em cargo de gestão técnica local, tendo em vista que acompanham diariamente os processos de tratamento e possuem ampla visão das operações. Foram realizadas três entrevistas, sendo duas correspondentes à ETE A – em uma delas estiveram presentes dois gestores – e uma referente à ETE B, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Identificação das entrevistas realizadas

ID da Entrevista	ETE de Origem	Entrevistados	Data de Realização
A1	ETE A	EA1	18/09/2020
A2	ETE A	EA2, EA3	09/10/2020
B	ETE B	EB	22/09/2020

Fonte: Autor (2020).

Como requisito para a realização das entrevistas, cartas de anuência – conforme a demonstrada no Apêndice B – foram enviadas para a diretoria de cada ETE, em conjunto com

o roteiro de questões proposto (Apêndice A), buscando-se a aprovação. Os e-mails de contato foram obtidos por meio de ligações telefônicas e diálogo com funcionários. Objetivou-se apresentar a importância da pesquisa e seus objetivos, bem como os procedimentos adotados e preceitos éticos para a proteção das identidades, além de solicitar a indicação de potenciais participantes e meios de contato. Após aprovação, diálogo com os gestores foi estabelecido. No caso do participante EA1, o contato foi realizado sem a necessidade de indicação, uma vez que se tratava de aluno de doutorado da EE-UFMG, que havia cursado período de estágio na ETE A, supervisionando a operação da unidade.

O TCLE – apresentado no Apêndice C – foi enviado em contato prévio com os participantes, e solicitou-se que escolhessem a plataforma digital de comunicação. O termo objetivou informar, aos entrevistados, todas as considerações relevantes para a realização da pesquisa, bem como coletar seu consentimento, estando cientes da possibilidade de retirá-lo a qualquer momento. Ao iniciar as entrevistas, agendadas conforme a disponibilidade dos gestores, foi solicitada permissão para a gravação do áudio, seguida por explicação sobre o TCLE e pedido de autorização oral. As perguntas foram conduzidas por Guilherme Almeida, com intervenções do Autor, e ambos tomaram notas. O áudio foi gravado pelos dois Pesquisadores utilizando o software OBS Studio 26.0.2.

Ao final de cada entrevista, questionou-se a possibilidade de acesso a dados quantitativos relativos às operações, destacando-se o interesse na população atendida, nas vazões média, mínima e máxima, na massa do material coletado em cada unidade de pré-tratamento (como grades grossas, grades finas, desarenadores e peneiras), nas características dos detritos retidos, na massa e no teor de umidade do lodo desidratado, no número total de caminhões enviados ao aterro sanitário e nas condições gerais de tratamento (tipo e equipamentos mais importantes), considerando a elaboração de série histórica, principalmente a partir de 2017. O pedido para obtenção dessas informações constava também na carta de anuência. A partir dos dados coletados e daqueles disponibilizados na literatura – apresentados na seção 2.2 – foram estabelecidos indicadores para a realização de análises quantitativas. Obteve-se, para a ETE A, dados referentes apenas ao ano de 2017 – que já estavam disponíveis para os Pesquisadores, sendo solicitada apenas permissão para utilização – e, para a ETE B, referentes aos anos de 2015 a 2018. Correlações entre o lodo, os detritos do tratamento preliminar e a vazão foram exploradas e demonstradas na seção 4.1.1.

Visitas técnicas haviam sido consideradas, visando à realização de observação direta e não participante, com registros fotográficos. As entrevistas com os operadores ocorreriam nas próprias ETEs. Embora os entrevistados tenham convidado os Pesquisadores para que as visitas fossem efetuadas, optou-se por não realizá-las, considerando que as condições sanitárias em decorrência da pandemia de COVID-19 mantinham-se desfavoráveis, apresentando risco à saúde, e que também seria necessário processo burocrático.

3.1.2 Coleta de informações sob as perspectivas do público de interesse

Para a coleta de informações sob as perspectivas do público de interesse do aplicativo, foram realizados grupos focais. Em GFs, as mesmas perguntas são aplicadas simultaneamente a diversos participantes, previamente convidados conforme perfis de interesse para a pesquisa. A dinâmica de grupo exerce influência no comportamento dos envolvidos, que tendem a expressar seu ponto de vista mais ativamente em comparação com entrevistas individuais (FLICK, 2013). Ressalta-se que a pesquisa não busca – nem poderia – a interpretação de uma realidade abrangente. Objetiva-se não a generalização, mas a identificação, a partir do diálogo em pequenos grupos, de temas recorrentes, o que justifica a escolha do método para a determinação de um imaginário coletivo.

Embora o *serious game* tenha o objetivo de obter alcance generalizado, o principal público de interesse selecionado para a plataforma – e, portanto, também para os GFs – compreende jovens dos 18 aos 34 anos. A escolha justifica-se porque, segundo Ozdamli e Cavus (2011), smartphones são mais frequentes na vida dos jovens, algo confirmado pelas estatísticas do IBGE (2021a), e corroborado pela pesquisa da ESA (2020), que indica que se trata do público com maior interesse por jogos. Além disso, segundo Johnson, Blum e Giedd (2009) há, nessa faixa de idade, maior comprometimento e disponibilidade para atividades educacionais: até a metade da terceira década de vida, o planejamento e o controle de impulsos pelo cérebro ainda estão em desenvolvimento, sendo a mudança de hábitos mais natural, o que favorece a sensibilização com relação ao problema em estudo.

A busca por participantes foi realizada através de contatos telefônicos e por e-mail, sendo efetivada durante os processos de seleção e composição dos GFs. A comunicação foi estabelecida solicitando-se às redes de contato do Autor e de sua Orientadora que fornecessem nomes, telefones e endereços de e-mail de pessoas com o perfil requerido, sem adiantamento

de especificidades, mas apenas apresentação geral da questão de pesquisa – “o que as pessoas pensam sobre o esgotamento sanitário” –, preservando-se a espontaneidade esperada para a aplicação da metodologia. Tendo em vista que a temática não está diretamente associada a aspectos pessoais, considerou-se que não haveria prejuízo ao procedimento metodológico desde que os participantes não possuíssem vínculos familiares ou de grande proximidade com os Pesquisadores e não conhecessem previamente o conteúdo proposto para as discussões.

Um formulário de convite, apresentado no Apêndice D, foi enviado aos candidatos para conciliar a disponibilidade considerando datas, horários e plataformas de comunicação. Objetivou-se, além de coletar dados básicos para a consolidação dos grupos, apresentar aos participantes, de maneira breve e transparente, a metodologia proposta, bem como reforçar os princípios de participação voluntária, anonimato e liberdade para deixar a reunião ou retirar o consentimento a qualquer momento. Considerando o contexto de isolamento social e a realização de encontros à distância, o questionário foi adaptado para o formato digital, por meio da ferramenta Google Forms, sendo o acesso divulgado através de um link.

Foram solicitadas, no formulário, as seguintes informações: primeiro nome (ou apelido), idade, escolaridade, curso de graduação (se aplicável), onde estuda ou estudou a graduação (se aplicável), telefone e e-mail. O candidato poderia optar por não fornecer uma ou mais informações. Entre as plataformas digitais disponíveis, foram destacadas Discord, Google Hangouts (Meet), Microsoft Teams, Skype e Zoom, selecionadas por popularidade, facilidade de uso e possibilidade de conexão simultânea entre computadores e smartphones, evitando barreiras de acesso relacionadas aos dispositivos.

A faixa de idade do público selecionado tende a estar presente na academia. Acreditava-se que o ambiente educacional poderia contribuir para a formação de distintas visões sobre o saneamento e, por isso, objetivou-se obter participantes relacionados a múltiplas áreas de conhecimento. Dois grupos focais foram realizados e, dessa forma, pôde ser estabelecida base de comparação de conteúdo, de forma a investigar a aderência de cada fala ao imaginário coletivo e identificar eventuais discrepâncias. Os grupos foram dimensionados para 6 a 8 pessoas, com tempo de duração entre 30 minutos e 1 hora. No primeiro, estiveram presentes, além do Pesquisador, a Orientadora – que realizou anotações – e o Programador. No segundo, apenas o Pesquisador e a Orientadora participaram.

O detalhamento de participantes dos GFs, elaborado a partir das respostas no formulário de convite, está apresentado no Quadro 3. G1 foi realizado em 06/03/2021, enquanto G2 ocorreu em 27/03/2021. Para o primeiro grupo, havia a previsão de seis participantes. Contudo, devido a uma desistência de última hora, apenas cinco participaram, número inferior ao planejado. O nível de entusiasmo dos cinco participantes foi, porém, elevado, resultando em discussões aprofundadas que, conseqüentemente, levaram a um tempo total superior ao esperado, de uma hora. Diante do sucesso do primeiro GF e da necessidade de ser estabelecido limite de tempo, optou-se por dimensionar o segundo GF para cinco participantes, sendo a pessoa faltante do primeiro grupo direcionada ao próximo.

Quadro 3: Descrição dos participantes dos grupos focais

Grupo	ID	Idade	Sexo	Escolaridade	Curso de graduação	Onde estudou a graduação
G1	G1M1	24	M	Superior Completo	Engenharia Mecânica	PUC Minas
	G1M2	25	M	Superior Completo	Engenharia Biotecnológica	UNESP
	G1M3	25	M	Superior Incompleto	Publicidade e Propaganda	UNA
	G1M4	25	M	Pós-Graduação Incompleta	Medicina Veterinária	PUC Minas
	G1M5	25	M	Superior Incompleto	Jogos Digitais	PUC Minas
G2	G2M1	19	M	Superior Incompleto	Eng. de Controle e Automação	UFMG
	G2F2	19	F	Superior Incompleto	Eng. de Controle e Automação	UFMG
	G2M3	20	M	Superior Incompleto	Matemática Computacional	UFMG
	G2F4	22	F	Superior Incompleto	Arquitetura e Urbanismo	PUC Minas
	G2M5	25	M	Superior Completo	Física	UFMG

Fonte: Autor (2021).

Conforme apresentado no Quadro 3, a média de idade dos participantes do G1 (24,8 anos) foi ligeiramente superior à do G2 (21 anos). Todos estavam envolvidos com a vida acadêmica ou haviam se envolvido há pouco tempo. No G1, três participantes haviam concluído cursos de graduação e apenas um havia estudado em universidade pública. No G2, apenas um participante havia terminado a graduação e quatro tinham vínculo com universidade pública. As áreas de estudo, nos dois grupos, foram muito variáveis, sendo predominantes as ciências exatas. No G1, todos os participantes foram do sexo masculino. No G2, duas participantes foram do sexo feminino.

Como técnica de moderação dos GFs, adotou-se a “modernização substancial”. Nesse modelo, perguntas estimulantes e imagens de impacto são utilizadas para iniciar discussões abertas sobre cada tema, incentivando a reflexão, conforme descrito por Flick (2013). Etapas,

descrições, questões e procedimentos de cada bloco encontram-se apresentados no Quadro 4. O roteiro enviado ao COEP está demonstrado no Apêndice E.

Quadro 4: Roteiro para a condução de grupos focais

Bloco	Temática	Questões abordadas
S	Introdução	Primeiramente será enviado, aos participantes, o TCLE. O documento será lido em voz alta pelo moderador e haverá tempo para a resolução de dúvidas. A autorização verbal será, então, solicitada.
B1	O que é jogado nos aparelhos sanitários?	Nesta seção, as perguntas iniciais buscam incitar conversas mais descontraídas, capazes de promover o entrosamento do grupo. O andamento da discussão poderá provocar alterações nos demais blocos. <ul style="list-style-type: none"> O que observam ser depositado em aparelhos sanitários (pias, vasos sanitários, tanques e outros)? E em “tampas de bueiro”? O que mais imaginam ser depositado?
B2	Quais problemas são provocados?	A pergunta inicial deste bloco será ampla, buscando captar, de forma livre, os pensamentos dos usuários. Dependendo das respostas, questionamentos referentes aos itens apontados no bloco anterior serão realizados para direcionar a discussão. <ul style="list-style-type: none"> Quais problemas e dificuldades são causados por esses lançamentos? Será fornecida breve explicação, com imagens, sobre os problemas condicionados por lançamentos inadequados em aparelhos sanitários e redes de coleta. Quais detritos (e impactos) mais chamaram a atenção de vocês? Entre os detritos “estranhos”, algum deixou vocês surpresos?
B3	Como o conhecimento poderia ser acessado?	Neste bloco, espera-se que os participantes identifiquem causas e apresentem soluções para o problema. <ul style="list-style-type: none"> Por que isso ocorre? Por que as pessoas jogam essas coisas no esgoto? Como podemos resolver isso? Posteriormente, questiona-se sobre a questão da sensibilização. <ul style="list-style-type: none"> Como o conhecimento sobre o assunto poderia ser acessado pela sociedade, facilitando o entendimento sobre a utilidade dos aparelhos sanitários e redes coletoras de esgoto?
B4	Como seria o aprendizado em plataforma digital?	Este bloco será iniciado pela primeira questão abaixo. Após discussão, será apresentada a plataforma gamificada, em vídeo, e então a segunda questão será proposta, buscando identificar reações e obter sugestões. <ul style="list-style-type: none"> E se houvesse uma plataforma digital para compartilhar esse conhecimento? Como seria? O que sugerem para o sucesso do projeto?

Fonte: Autor (2020).

Os três fatores de atenção destacados por Morgan (1997), para a condução de GFs, foram considerados. Com relação ao fator ético, as maiores preocupações estão relacionadas à invasão de privacidade e à dificuldade de diálogo que pode existir entre pessoas que não se conhecem e venham a demonstrar desconforto ao compartilhar suas opiniões com todos os ouvintes. Esses problemas foram mitigados por meio da não gravação de vídeo, conforme apresentado anteriormente, e pela elaboração de questão inicial ampla, objetivando-se incitar conversas mais descontraídas e que fossem capazes de promover o entrosamento. Com

relação ao fator financeiro, os GFs foram conduzidos em formato digital, pelos próprios Pesquisadores, e, portanto, não estiveram associados a custos diretos.

Morgan (1997) pontuou, como terceiro fator, que a viabilidade de um GF depende dos níveis de entusiasmo e facilidade de determinado segmento social para responder aos questionamentos. Sabe-se que a temática a ser discutida pode ser considerada um "tabu" e, por isso, o roteiro foi elaborado de forma a não culpabilizar as ações dos participantes, deixando-os mais confortáveis, incentivando a autonomia e favorecendo a liberdade nas discussões. Foram consideradas uma introdução – visando apresentar o projeto, explicar os procedimentos e conhecer os participantes – e dez questões abrangentes de senso comum e simples interpretação, divididas em quatro tempos sequenciais, que objetivaram:

- S – Introdução: descrever, aos participantes, os procedimentos da metodologia, reforçando as considerações dispostas no TCLE, apresentado no Apêndice F, principalmente no que se refere à liberdade de deixar de responder a qualquer questão ou retirar o consentimento e ao sigilo dos dados. O documento foi enviado antes da seção, sendo a autorização verbal solicitada ao iniciar. Salientou-se que a metodologia objetivava apenas conhecer a opinião de cada pessoa, sem que existissem respostas corretas ou incorretas.
- B1 – O que é jogado nos aparelhos sanitários: explorar o imaginário coletivo dos participantes por meio de duas perspectivas: real, questionando o que observam ser depositado em equipamentos sanitários e redes de coleta, e ficcional, buscando compreender o que imaginam ser depositado. Nesta etapa, o participante poderia sentir desconforto ao compartilhar suas próprias experiências com os demais e, portanto, poderia deixar de responder com naturalidade. A utilização da terceira pessoa, perguntando-se o que “observam” ser depositado e o que “imaginam” ser depositado, ajuda a mitigar eventual parcela de culpa e constrangimento, uma vez que o participante deixa de referenciar a si mesmo. Neste bloco, buscou-se também incentivar a descontração e o entrosamento entre as pessoas a partir das próprias respostas, criando-se ambiente mais agradável para a continuação da discussão.
- B2 – Quais problemas são provocados: captar, inicialmente, todas as consequências que os participantes conseguirem pontuar, questionando, posteriormente, sobre os materiais mencionados no bloco anterior, caso ainda não tenham sido caracterizados.

Essa estruturação foi definida para ampliar o imaginário observado, uma vez que os participantes teriam a oportunidade de desenvolver livremente a discussão antes de serem questionados sobre itens específicos. Após apresentação formal das consequências pelo Pesquisador, utilizando-se imagens, objetivou-se determinar quais materiais causam maior estranheza. Foram destacados os seguintes elementos e suas consequências, com base na revisão de literatura e nas entrevistas com gestores de ETEs: água de chuva, areia, óleos e gorduras, cabelos e pelos, “tocos” de cigarro, absorventes, preservativos, plásticos, tecidos e medicamentos. Como elementos pouco comuns, foram mencionados brinquedos, “pinos” de cocaína, fragmentos biológicos – humanos ou de animais –, fetos e uma geladeira.

- B3 – Como o conhecimento poderia ser acessado: explorar quais causas possivelmente relacionadas ao problema seriam identificadas pelos participantes e como a questão poderia ser resolvida, buscando determinar se haveria o reconhecimento de metodologias tradicionais ou inovadoras. Posteriormente, repetiu-se o questionamento diante do tema do conhecimento.
- B4 – Como seria o aprendizado em plataforma digital: demonstrar, aos participantes, o funcionamento da plataforma gamificada, por meio de vídeo, visando identificar reações e obter opiniões para a realização de ajustes.

A moderação dos GFs, bem como a transcrição de todo o material coletado, foram realizadas pelo próprio Autor. Dessa forma, relevantes custos associados ao projeto foram eliminados e o Pesquisador pôde ter maior controle dos procedimentos, cabendo ressaltar que sua participação direta facilitou os processos de transcrição e análise, tendo em vista que diversas informações sobre as discussões foram lembradas. A contratação de profissionais externos foi descartada porque, além de demandar tempo para o transcorrer de processos burocráticos, poderia inserir desvios na metodologia proposta, considerando que nem sempre o moderador contratado compreende adequadamente os objetivos do estudo e o que se deseja obter em cada sessão. Uma apresentação de slides foi utilizada como mecanismo de suporte para a organização das questões. As imagens utilizadas no bloco B2, para ilustrar os problemas, estão apresentadas na Figura 6.



Figura 6: Problemas causados por águas pluviais e detritos

Fontes: Borges, 2014 (imagem 5), ES Brasil, 2018 (imagens 3 e 4), G1, 2013 (imagem 6), G1, 2017 (imagem 2), O Globo, 2020 (imagem 1).

Conforme apresentado na Figura 6, as imagens 1 e 2 foram utilizadas para caracterizar o problema da abertura de poços de inspeção e visita, ocorrendo a entrada de água de chuva e detritos. As imagens 3 e 4, por sua vez, demonstram o acúmulo de detritos em uma estação de bombeamento de esgoto, o que demanda a retirada do material por operadores. Por fim, as imagens 5 e 6 retratam a retenção de elementos no sistema de gradeamento fino de ETEs.

A Orientadora registrou o início de cada fala – correlacionando códigos dos participantes e frases – uma vez que não haveria registro em vídeo. O áudio foi gravado, pelo Autor e sua Orientadora, por meio do software OBS Studio 26.0.2, sendo também capturado através de

smartphone, como backup. No primeiro GF, a interface do *serious game* foi apresentada apenas em seu aspecto final, sem considerar a evolução ao longo do jogo, o que resultou em dúvidas por parte dos participantes. Visando ao aprimoramento da metodologia, optou-se por acrescentar todos os estágios de progressão da interface do aplicativo, conforme descrito no Apêndice G, na apresentação mostrada durante o segundo grupo.

Considerando a organização necessária para a condução dos grupos, havia, tanto por parte do Pesquisador quanto de sua Orientadora, preocupação com relação ao risco de existir confusão no ordenamento das falas, uma vez que, no ambiente digital, sem gravação de vídeo, não haveria contato visual para nortear o debate. O problema, contudo, não se concretizou na prática, e os próprios participantes ordenaram suas falas de forma natural, com pouca interferência por parte do Pesquisador, que atuou como moderador. Infere-se que, para o perfil selecionado – jovens em idade acadêmica –, o elevado grau de utilização de plataformas digitais de comunicação, sobretudo no contexto da pandemia, em que esse tipo de atividade se tornou onipresente – seja para fins estudantis ou de entretenimento –, propiciou maior facilidade para a realização dos grupos focais.

3.1.3 Identificação de lacunas de compreensão e pontos relevantes

O processo de identificação de lacunas de compreensão iniciou-se pela transcrição de todo o material coletado durante as entrevistas semiestruturadas e GFs. A entrevista B foi transcrita por Guilherme Almeida, com supervisão do Autor, enquanto as entrevistas A1 e A2 foram transcritas em trabalho conjunto por ambos os Pesquisadores. Os GFs foram inteiramente transcritos pelo Autor. Adotou-se a simbologia apresentada no Quadro 5.

Quadro 5: Simbologia adotada para as transcrições

Símbolo	Significado
...	Pausa na fala, seja temporária ou decorrente de interrupção por outro participante.
(...)	Trecho suprimido por não apresentar relevância para o contexto apresentado.
(EDITADO)	Trecho removido por conter informações pessoais ou da ETE que poderiam promover a identificação.
[...]	Trecho inaudível ou incompreensível, mesmo após edição de áudio.
[EXPRESSÃO]	Retomada de expressão dita anteriormente, visando esclarecer o significado, ou inserção de comentário do Autor.

Fonte: Autor (2020).

Nas entrevistas semiestruturadas, os gestores foram identificados segundo a codificação apresentada no Quadro 2, enquanto falas do Autor foram registradas com a Letra “D” e falas de Guilherme Almeida foram anotadas com a letra “G”. Nos GFs, visando facilitar a identificação de cada pessoa e seu respectivo grupo, fornecendo simultaneamente indicação clara do número de participantes, adotou-se nomenclatura sequencial, seguindo o formato “GmSn”, conforme disposto no Quadro 3, onde “G” corresponde à categoria (grupo focal), “m” corresponde ao número do grupo, “S” corresponde ao sexo do participante (“M” ou “F”) e “n” corresponde ao número do participante, atribuído sequencialmente com base em idade e ordem alfabética.

No processo de transcrição das entrevistas, evidenciaram-se a importância da gravação de áudio por múltiplas fontes e as limitações associadas aos encontros digitais. Em alguns momentos, a conexão com a Internet se mostrou instável e, conseqüentemente, parte do áudio ficou comprometida. Contudo, considerando que as perdas muitas vezes não afetavam simultaneamente ambos os Pesquisadores, diversos trechos faltantes em uma das gravações puderam ser recuperados ao se ouvir também a outra. Apesar de haver aumento do tempo dedicado, a análise de múltiplos arquivos de áudio permitiu que falas importantes não fossem perdidas. Visando minimizar a ocorrência do problema, após a primeira entrevista, optou-se por priorizar a utilização de conexões de rede cabeadas, mas instabilidades que se originavam nas conexões dos participantes não puderam ser contornadas. Esse problema não ocorreu durante os GFs.

Outra limitação associada à realização de encontros à distância está relacionada aos equipamentos e softwares de comunicação. Tanto nas entrevistas quanto nos GFs, configurações incorretas nos dispositivos de alguns participantes precisaram ser resolvidas com instruções do Moderador, o que demandava tempo. Além disso, os microfones utilizados nem sempre propiciavam capturas de áudio de qualidade adequada, problema agravado pelo ruído ambiente muitas vezes presente e acentuado pelo isolamento social, uma vez que as pessoas estavam geralmente em casa e não podiam se deslocar para outros locais.

Problemas de áudio foram impactantes especialmente durante a entrevista A2, tendo em vista que o gestor EA3 estava em ambiente ruidoso e seu microfone apresentava falhas que tornaram parte da gravação incompreensível. Buscando contornar o problema, o arquivo foi tratado, pelo Autor, no software editor de áudio Audacity 2.4.2. Trechos sem falas, apenas

com o ruído do microfone, foram coletados e utilizados como amostra para a aplicação da ferramenta “Redução de Ruído”, que identifica e remove, por meio de Inteligência Artificial (IA), a interferência, com base nas características de frequência. Segmentos com baixo volume do microfone, por sua vez, foram manualmente selecionados e editados por meio da ferramenta “Amplificar”. A edição demandou intenso trabalho, uma vez que a elevação de volume necessária para cada fração era variável e dependia de testes, considerando que o aumento exagerado poderia gerar distorções. Contudo, a maior parte do material pôde ser recuperada. Esses mecanismos de edição foram aplicados aos demais áudios coletados para facilitar as transcrições.

Para a análise dos dados transcritos foram consideradas as perspectivas da Análise de Conteúdo (AC) e da Análise do Discurso (AD). Enquanto a AC é direcionada essencialmente ao conteúdo textual – tomando como unidade básica a palavra –, a AD, no tocante à escola francesa, adota abordagem mais aprofundada e baseada em Linguística, considerando os múltiplos sentidos que cada fala poderia representar dentro do contexto ao interpretar o funcionamento da língua e a interferência de variáveis, como as socioeconômicas, no discurso (BARDIN, 1988, CAREGNATO; MUTTI, 2006).

Diante do limitado tempo disponível e dos objetivos específicos da pesquisa qualitativa para este trabalho, optou-se pela abordagem da AC, embora fossem consideradas variáveis, como o curso de graduação, no estudo dos resultados. É importante ressaltar que, nesse tipo de análise, alguma subjetividade é previsível, considerando que o pesquisador atua como intérprete. Optou-se pela apresentação das falas, na seção de resultados, com correções de erros de pronúncia e concordância, preservando-se os aspectos formais do texto: embora esta aproximação seja questionada por alguns autores, melhora o conforto para a leitura e não representa prejuízo às ideias expostas, uma vez que não foi executada uma análise linguística.

A AC foi conduzida em três etapas, conforme apresentado por Bardin (1988):

1. Pré-análise: sistematização das ideias iniciais, organização da análise, escolha de documentos, formulação de objetivos e definição de indicadores para fundamentação da interpretação final;
2. Exploração do material: operações de classificação propriamente ditas;

3. Tratamento dos dados: processamento dos dados para transformá-los em informações significativas, possibilitando que sejam propostas inferências e interpretações.

A metodologia utilizada nesta etapa pode ser descrita como análise de conteúdo temática e categorial. Tema é uma unidade de significação isolada, recortada a partir do texto. Análises temáticas correspondem, portanto, à separação da comunicação em núcleos de sentido. A categorização, por sua vez, corresponde ao processo de fornecer representações simplificadas dos dados iniciais. Pode ser realizada por “caixas”, partindo-se de um sistema de categorias pré-determinado, no qual a organização do material decorre dos fundamentos da pesquisa, ou por “milha”, sendo a classificação progressiva, criando-se novas categorias durante o procedimento de análise (BARDIN, 1988).

As entrevistas e os grupos focais foram organizados conforme temas previamente delimitados. As discussões, contudo, não ocorreram necessariamente seguindo a ordem dos questionamentos. Portanto, durante a etapa de **pré-análise**, definiu-se que os documentos seriam analisados através do recorte dos textos considerando os cinco temas para as entrevistas e os quatro para os GFs (Quadro 4). Objetivou-se, na análise, determinar um imaginário coletivo e, portanto, apenas duas categorias foram consideradas, seguindo uma metodologia de “caixas”: informações convergentes e informações destoantes, de forma a identificar os principais pontos em comum levantados e os pontos de divergência entre os participantes.

A etapa de **exploração do material** foi realizada por meio do software LibreOffice Calc, sendo conduzida em duas planilhas, uma referente às entrevistas e outra referente aos GFs, onde foram registradas as ideias convergentes, para cada tema, considerando todas as sessões. Falas representativas, importantes ou destoantes foram destacadas. Durante a análise das entrevistas, percebeu-se que um novo tema – o tratamento preliminar como visto pela academia e pela sociedade – havia sido delineado e, portanto, este foi adicionado como um sexto bloco. Na etapa de **tratamento dos dados**, a base comparativa, evidenciando pontos de semelhanças e diferenças, subsidiou a construção de sínteses, apresentadas nas seções 4.1.2 e 4.1.3. Na seção 4.1.4, as sínteses foram comparadas.

3.2 Modelagem, desenvolvimento e validação do software

O desenvolvimento do software levou em consideração o modelo de cinco elementos da aprendizagem móvel de Ozdamli e Cavus (2011) e as recomendações para design de *serious games* de Wilson *et al.* (2017). O processo ocorreu ao longo de seis etapas sequenciais, com base no modelo proposto pelo International Software Benchmarking Standards Group – ISBSG (2018), conforme apresentado por Lenarduzzi, Morasca e Taibi (2014):

1. Planejamento: investigações preliminares, de viabilidade e de custo x benefício;
2. Especificações: análise de requisitos e seleção da arquitetura e das ferramentas;
3. Design: estudos de design da interface do usuário e definição das funções esperadas;
4. Construção: desenvolvimento do código e integração com a interface;
5. Testes: realizados para avaliar sistema, desempenho e aceitação;
6. Desdobramentos: preparação da documentação, ajustes e implementação.

A etapa de **planejamento** iniciou-se com a busca do referencial teórico sobre o problema do lançamento de materiais no esgoto e de exemplos de *serious games* para o saneamento. Alternativas para o modelo do aplicativo foram delineadas e sugeridas para a equipe do INCT ETEs Sustentáveis, que instituiu valor limite para o orçamento. Contato inicial foi, então, estabelecido com o Programador Luiz Philippe Pereira Amaral para determinar a viabilidade do projeto – definindo o tempo necessário e os custos – e selecionar, em fase preliminar, um modelo para o desenvolvimento.

Na fase de **especificações**, o Autor e o Programador realizaram múltiplas reuniões para investigar o funcionamento de jogos de sucesso. Foram definidos, como requisitos, que as mecânicas principais deveriam ser simples e, ao mesmo tempo, atrativas, principalmente para o público jovem, conforme indicado por Wilson *et al.* (2017). Estabeleceu-se, também, que minijogo de quiz seria incluído para reforçar a assimilação de conteúdo teórico, como sugerido por Pereira, Diniz e Gouveia (2020), e que um sistema de leitura de códigos QR estaria presente para direcionar ao aplicativo (Lorenzi *et al.*, 2014). Diante da necessidade de alcançar o público geral e do limitado tempo disponível para a programação, foram selecionadas, como plataformas para o desenvolvimento, smartphones – considerando sua já justificada popularidade –, o que inclui também tablets, e navegadores web, executados em

computadores e outros dispositivos. Foi necessário, portanto, adaptar estratégias – tanto em termos de mecânicas quanto posicionamento de itens na interface – que permitissem a execução simultânea, sem profundas alterações, em ambos os ambientes.

O sistema operacional Android está presente na maioria dos smartphones, desde os mais simples aos mais caros: estatísticas do StatCounter (2021a)²¹ sugerem que, no mercado brasileiro, o sistema está presente em mais de 86,5% desses aparelhos. Devido à popularidade – e como forma de minimizar a segregação por nível de renda –, o Android foi selecionado como sistema principal. Além disso, apresenta mecanismos simplificados para a publicação e a manutenção do software na loja oficial de aplicativos Play Store, da Google. O iOS, da Apple, é o segundo sistema operacional móvel mais popular. Contudo, por estar restrito a aparelhos específicos, apresentar popularidade muito menor e demandar maior tempo para o desenvolvimento e a publicação do aplicativo, considerando etapas extras da Apple Store, não foi adotado, a princípio, como opção viável para o projeto. Usuários desses equipamentos ainda poderão utilizar a versão para navegadores web, publicada devido ao amplo alcance e à facilidade de ser portada a partir da versão para Android.

A linguagem de programação utilizada na montagem do código-fonte foi C#, sendo o software Microsoft Visual Studio Code 1.49.1 selecionado pelo Programador, tendo em vista que utiliza o modelo de distribuição de código aberto e possibilita que sejam adicionadas extensões. A plataforma Unity 4.11 foi escolhida como ferramenta para a construção do aplicativo, uma vez que oferece, ao mesmo tempo, uma *game engine* – biblioteca disponibilizada para facilitar o desenvolvimento – leve e robusta, além de apresentar sistemas eficientes para importação do código-fonte, criação de cenas, definição de elementos e delimitação de níveis, agilizando o processo de edição. Permite, também, que sejam adicionadas animações, de forma a tornar a interface mais dinâmica, e é capaz de converter o código-fonte para que seja exportado para diferentes sistemas operacionais.

Na etapa de **design**, definiu-se que o aplicativo precisaria de funções de pontuação, evolução, ranking, publicação de mensagens e feedback. Esses mecanismos complementam a experiência do jogador e tornam a atividade mais interativa e prazerosa (WILSON *et al.*,

21 Os dados fornecidos pelo StatCounter são calculados globalmente considerando visualizações de página em mais de 2 milhões de sites, sendo removidos acessos relacionados a BOTs (programas automatizados). No total, mais de 10 bilhões de visualizações são computadas por mês, sem que sejam aplicados pesos à análise (STATCOUNTER, 2021b).

2017). A interface gráfica e toda a arte associada foram desenvolvidas pelo próprio Autor. Primeiramente, um esboço foi elaborado e enviado à equipe do INCT ETEs Sustentáveis e à Orientadora para ilustrar o funcionamento esperado. Após análise e adequações, a primeira versão do projeto foi construída em formato CAD (*computer aided design*, ou desenho assistido por computador), utilizando-se o software LibreCAD 2.1.3. A oficina de apresentação demonstrou a necessidade de ajustes, e nova versão foi elaborada. Após aprovação, a arte final foi desenvolvida no software de edição de imagens GIMP 2.10.22, com auxílio de mesa digitalizadora. Objetivou-se obter modelo artístico com representações simples, mas dotado de efeitos de profundidade e iluminação que o tornassem mais atrativo para os jovens.

Na etapa de **construção**, o código-fonte foi elaborado pelo Programador, sendo desenvolvido paralelamente à interface e orientado pelo Autor. Quatro etapas foram definidas e entregues de forma sequencial, conforme apresentado no Quadro 6. O Autor teve acesso ao código produzido através da clonagem do diretório, sendo utilizado o software GitHub Desktop 2.9.6.

Quadro 6: Etapas de desenvolvimento do software

Identificação	Etapa de Desenvolvimento	Descrição
I	Básica	Mecânicas básicas Objetos de jogo Estados Menus
II	Intermediária	Sistema de upgrades visuais da ETE Sistema de upgrades gerenciais Sistema de power-ups
III	Completa	Sistema de ranking Sistema de mensagens Mecanismos de feedback
IV	Expandida	Minijogo adicional em formato de quiz Leitura de código QR

Fonte: Diego Augustus Senna e Luiz Philippe Pereira Amaral (2020).

Houve execução de **testes** para cada etapa de desenvolvimento do código-fonte concluída. Múltiplas oficinas, com a presença do Autor, da Orientadora, do Programador e de especialistas do INCT ETEs Sustentáveis foram conduzidas para realizar a análise e a validação. O contato com os participantes foi efetivado antecipadamente por e-mail, contendo a descrição do material a ser apresentado e da pauta a ser discutida. Versões intermediárias do aplicativo foram criadas e exportadas em formato *Android Package* (APK) para que fossem efetuados, pelo Autor, testes de funcionamento e adequabilidade da interface.

Para a etapa de **desdobramentos**, a documentação do software – incluindo todo o conteúdo teórico e textual – foi concebida em fluxo contínuo e enviada na forma de relatórios de progresso para acompanhamento por parte da equipe do INCT ETEs Sustentáveis e da Orientadora. As contribuições foram registradas e implementadas ao longo do ciclo de desenvolvimento, visando ao seu melhoramento contínuo. Após a realização da pesquisa qualitativa, concluída enquanto o aplicativo estava em finalização do ciclo de desenvolvimento do código, verificou-se a aderência do protótipo aos anseios dos participantes, sendo realizadas pequenas alterações.

Na preparação para o lançamento, ajustes na interface, na definição dos níveis, na velocidade de evolução do jogador e na dificuldade foram realizados em simultâneo pelo Autor e pelo Programador. A última versão de testes foi disponibilizada através de um link para acesso em navegadores web, permitindo que apenas o Autor, a Orientadora, a equipe do INCT ETEs Sustentáveis e a banca de avaliação do trabalho experimentassem o aplicativo previamente.

O software foi publicado em versão final gratuita e de livre acesso, tanto para o sistema Android quanto para navegadores web. A versão para smartphones foi disponibilizada na Play Store da Google (<https://play.google.com/store/apps>), enquanto a versão para navegadores foi hospedada no sistema AWS da Amazon (<https://aws.amazon.com/pt/>). Para facilitar o acesso, códigos QR foram elaborados, a partir dos links diretos, utilizando-se o site QR Code Generator (<https://br.qr-code-generator.com/>).

Ressalta-se que a manutenção de um *serious game* estende-se por muito tempo após o seu lançamento, sendo importante a possibilidade de realizar adequações, principalmente por razões de equilíbrio de dificuldade, após receber feedback dos usuários. Há, também, a possibilidade de adicionar elementos e expandir as funcionalidades e o conteúdo. Na versão para smartphones, foi ativado o mecanismo de atualizações disponibilizado pela própria Play Store, permitindo que os usuários optem por fazer o download de novos pacotes, com correções e melhorias. A variante de navegadores, por operar com base em servidor dedicado e ser acessada por link, pode receber correções instantâneas, uma vez que depende apenas da realização de upload de nova versão por parte do Autor e do Programador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados conforme a sequência dos objetivos específicos: na subseção 4.1 é apresentada a caracterização do lançamento de materiais em aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos e seus impactos, enquanto na subseção 4.2 está demonstrado o *serious game*.

4.1 Caracterização do lançamento de materiais e seus impactos

Nesta seção, estão apresentados resultados das análises: i) de dados quantitativos referentes às operações das ETEs (subseção 4.1.1); ii) das entrevistas com gestores (subseção 4.1.2); iii) dos grupos focais (subseção 4.1.3); e iv) de lacunas de compreensão (subseção 4.1.4).

4.1.1 Análises quantitativas de dados relativos às operações das ETEs

Dados mensais referentes ao tratamento preliminar da ETE A estão apresentados na Tabela 6. O ano de 2017, único disponível, foi tomado como referência. Para os meses de setembro e outubro, não havia dados com relação à massa do lodo enviado ao aterro sanitário.

Tabela 6: Dados mensais de operação do tratamento preliminar na ETE A

Mês	Lodo (t)	Preliminar (t)	Total (t)	% Lodo	% Preliminar	Relação L/P	Qméd (m ³ /s)	Relação P/1000 m ³ (kg/1.000 m ³)
Janeiro	1.438,5	135,5	1.574,0	91,4	8,6	10,6	2,180	23,2
Fevereiro	2.091,9	133,8	2.225,7	94,0	6,0	15,6	2,130	26,0
Março	1.815,3	101,6	1.916,9	94,7	5,3	17,9	2,150	17,7
Abril	2.268,7	113,2	2.381,9	95,2	4,8	20,0	2,160	20,2
Mai	1.993,1	113,2	2.106,4	94,6	5,4	17,6	2,230	19,0
Junho	2.716,1	132,4	2.848,5	95,4	4,6	20,5	2,160	23,6
Julho	1.953,7	150,7	2.104,4	92,8	7,2	13,0	2,090	26,9
Agosto	2.066,7	185,3	2.252,1	91,8	8,2	11,2	2,240	30,9
Setembro	-	166,8	-	-	-	-	2,250	28,6
Outubro	-	162,8	-	-	-	-	2,220	27,4
Novembro	2.467,0	154,7	2.621,7	94,1	5,9	16,0	2,370	25,2
Dezembro	2.059,3	193,9	2.253,2	91,4	8,6	10,6	2,450	29,6
Média	2.087,0	145,3	2.228,5	93,5	6,5	15,3	2,219	24,8

Fonte: Autor (2021).

Os dados referentes à ETE B estão apresentados na Tabela 7. Foi tomado como referência o ano de 2018, uma vez que correspondia aos valores mais atuais. Além disso, não havia informações sobre a vazão de anos anteriores. Em 2018, faltaram dados de vazão para os meses de novembro e dezembro.

Tabela 7: Dados mensais de operação do tratamento preliminar na ETE B

Mês	Lodo (t)	Preliminar (t)	Total (t)	% Lodo	% Preliminar	Relação L/P	Q _{méd} (m ³ /s)	Relação P/1000 m ³ (kg/1.000 m ³)
Janeiro	90,9	8,0	98,9	91,9	8,1	11,4	0,067	44,5
Fevereiro	18,0	4,0	22,0	81,8	18,2	4,5	0,042	39,0
Março	73,8	4,0	77,8	94,9	5,1	18,5	0,042	35,8
Abril	55,8	4,0	59,8	93,3	6,7	14,0	0,025	61,7
Mai	21,6	4,0	25,6	84,4	15,6	5,4	0,028	54,1
Junho	26,1	12,0	38,1	68,5	31,5	2,2	0,063	73,1
Julho	46,8	8,0	54,8	85,4	14,6	5,9	0,085	35,2
Agosto	63,0	12,0	75,0	84,0	16,0	5,3	0,086	52,3
Setembro	40,5	8,0	48,5	83,5	16,5	5,1	0,073	42,3
Outubro	85,5	8,0	93,5	91,4	8,6	10,7	0,085	35,3
Novembro	53,1	8,0	61,1	86,9	13,1	6,6	-	-
Dezembro	58,5	4,0	62,5	93,6	6,4	14,6	-	-
Média	52,8	7,0	59,8	86,6	13,4	8,7	0,060	47,3

Fonte: Autor (2021).

A segunda coluna das tabelas refere-se à massa do lodo desidratado, enquanto a terceira indica a massa total do material retirado do gradeamento, das peneiras e dos desarenadores, após secagem para transporte. A quarta coluna representa a soma das massas, enquanto as colunas cinco e seis indicam as porcentagens representativas das massas do lodo e dos materiais do tratamento preliminar diante do total. A relação L/P – partes de lodo para cada parte do tratamento preliminar –, na sétima coluna, foi obtida dividindo-se a segunda coluna pela terceira. Por fim, a oitava coluna apresenta a vazão média mensal, enquanto a última – relação P/1000 m³, indica a massa de material do tratamento preliminar para cada 1.000 m³ de esgoto tratado. Ressalta-se que todas as medições são referentes à massa úmida.

A análise dos dados indica, primeiramente, a diferença de porte entre as estações. Enquanto as médias mensais das vazões da ETE A giravam em torno de 2,219 m³/s, as da ETE B situavam-se próximas de 0,060 m³/s. Ou seja, a ETE A tratou, em média, um volume de esgoto aproximadamente 37 vezes maior que o da ETE B. A comparação entre as médias mensais de massa de lodo situou-se em proporção semelhante, sendo a ETE A responsável por gerar, em média, 2.087 toneladas, aproximadamente 39,5 vezes a quantidade da ETE B, 52,8 toneladas. Considerando que o sistema de tratamento por reatores UASB da ETE B deveria gerar muito menos lodo que o sistema de lodos ativados da ETE A, esperava-se maior distanciamento. Ressalta-se, contudo, que eventual diferença na secagem do material – alterando o teor de umidade – possa ter influenciado nos resultados.

A massa dos detritos removidos mensalmente do sistema preliminar na ETE A foi, em média, de 145,3 toneladas, apenas 20,8 vezes maior que a da ETE B, 7,0 toneladas. Ou seja, detritos – incluindo a areia – são mais frequentes na ETE B em função do volume tratado. Esse resultado se refletiu também na representatividade desses materiais: enquanto o tratamento preliminar correspondia, em média, a 6,5% da massa enviada mensalmente ao aterro na ETE A, o valor foi de 13,4% na ETE B. Desse modo, a relação de partes de lodo para cada parte retirada do sistema preliminar foi muito maior na ETE A (15,3:1) em comparação com a ETE B (8,7:1), repercutindo na relação P/1.000 m³: enquanto 24,8 kg de detritos foram retirados, em média, para cada 1.000 m³ de esgoto tratado na ETE A, 47,3 kg foram retirados na ETE B.

Infere-se que o problema dos materiais do tratamento preliminar seja mais aparente e relevante para a ETE B, uma vez que representam maior proporção do total enviado ao aterro. Contudo, a questão é também importante para a ETE A, que recebe muitas toneladas de material danoso às operações. A atividade de mineração é muito frequente no município onde se localiza a ETE B. Conseqüentemente, um pó residual acaba se depositando sobre telhados, quintais, pátios e logradouros, e infere-se que seja carregado para a rede de coleta de esgotos através de ligações irregulares de águas pluviais. Considerável parcela da grande massa retirada do sistema de tratamento preliminar da ETE B poderia corresponder, portanto, a esses sólidos, removidos junto com a areia, cabendo ressaltar que uma parte continuaria presente ao longo do processo, aumentando o volume final de lodo.

A presença de águas pluviais na rede de coleta de esgotos pode ser também verificada através de uma análise temporal. Em ambos os municípios, as chuvas são mais frequentes entre os meses de outubro e março, principalmente de novembro a janeiro. Na ETE A, valores de vazão foram claramente mais altos durante os meses de novembro e dezembro. Na ETE B, contudo, faltam dados referentes a esses meses. Os demais indicadores apresentaram grande variação e não são conclusivos. É necessário considerar, contudo, que os dados não indicam a vazão extravasada durante a época chuvosa, ocorrendo a passagem direta do esgoto ou a aceleração das etapas de tratamento. Além disso, se, por um lado, as chuvas podem carrear areia e outros detritos ao longo do caminho, por outro há a diluição do esgoto, alterando múltiplas variáveis do processo de tratamento. Análises mais precisas podem ser realizadas com a separação das parcelas de resíduos e areia. Para a ETE B, os dados não continham discriminações sobre a massa de cada parcela. Para a ETE A, foi elaborada a Tabela 8.

Tabela 8: Análise estratificada de resíduos e areia no tratamento preliminar da ETE A

Mês	Areia (t)	Resíduos (t)	% Areia	% Resíduos	Relação L/A	Relação L/R	Relação A/1000 m ³ (kg/1.000 m ³)	Relação R/1000 m ³ (kg/1.000 m ³)
Janeiro	124,4	11,1	91,8	8,2	11,6	129,1	21,3	1,9
Fevereiro	123,3	10,6	92,1	7,9	17,0	198,1	23,9	2,0
Março	92,1	9,6	90,6	9,4	19,7	189,9	16,0	1,7
Abril	105,3	7,9	93,0	7,0	21,5	286,5	18,8	1,4
Mai	105,3	7,9	93,0	7,0	18,9	251,7	17,6	1,3
Junho	119,2	13,2	90,0	10,0	22,8	206,1	21,3	2,4
Julho	141,7	9,0	94,0	6,0	13,8	216,1	25,3	1,6
Agosto	172,8	12,6	93,2	6,8	12,0	164,5	28,8	2,1
Setembro	154,3	12,5	92,5	7,5	-	-	26,5	2,1
Outubro	147,0	15,8	90,3	9,7	-	-	24,7	2,7
Novembro	139,5	15,2	90,2	9,8	17,7	162,8	22,7	2,5
Dezembro	172,5	21,4	88,9	11,1	11,9	96,0	26,3	3,3
Média	133,1	12,2	91,6	8,4	16,7	190,1	22,8	2,1

Fonte: Autor (2021).

As colunas dois e três da Tabela 8 apresentam, respectivamente, as massas referentes à areia, retirada dos desarenadores, e aos resíduos, retirados das grades e peneiras. As colunas quatro e cinco referem-se às proporções das massas de cada material diante do total. As colunas seis e sete indicam as relações de partes de lodo para cada parte de areia e de resíduos, sendo os resultados obtidos por meio do quociente entre as massas do lodo e as massas desses materiais. Por fim, nas colunas oito e nove são apresentadas as relações A/1.000 m³ e R/1.000 m³, representando a massa removida, para cada material, em função de 1.000 m³ de esgoto tratado. Assim como nas Tabelas 6 e 7, todas as medições são referentes à massa úmida.

Os dados da Tabela 8 indicam a areia como responsável por aproximadamente 91,6% da massa de material do tratamento preliminar enviada ao aterro, o que equivale à média de 133,1 toneladas removidas por mês. A proporção dos resíduos, por sua vez, representou 8,4% do total, o equivalente a 12,2 toneladas. Para cada unidade de massa de areia, foram removidas em média 16,7 unidades de massa de lodo. Para cada unidade de massa de resíduos, foram removidas em média 190,1 unidades de massa de lodo. A cada 1.000 m³ de esgoto tratado, foram removidos em média 22,8 kg de areia e 2,1 kg de resíduos²².

Considerando a estimativa de pessoas atendidas pela ETE A, informada na entrevista A2 e ocultada por motivo de preservação de identidades, obtém-se média anual de massa úmida de resíduos superior a 90 g per capita. O valor é substancialmente mais baixo que o encontrado nos estudos de Le Hyaric *et al.* (2009), que estimaram 530 g a 3.490 g para o contexto

²² A massa unitária dos resíduos é muito variável, o que inviabiliza a quantificação do volume neste trabalho.

francês. Infere-se que o padrão de consumo distinto possa ter influenciado os resultados, destacando-se principalmente a parcela referente aos têxteis sanitários. Além disso, diferentes teores de umidade podem ter alterado consideravelmente os valores²³. Destaca-se que a massa de resíduos e a relação R/1.000 m³ foram sensivelmente maiores entre os meses de outubro e dezembro, o que pode indicar relação com o arraste de materiais por águas pluviais.

Estimando massa unitária de 2.000 kg/m³ para a areia úmida (RIO DE JANEIRO, 2018), calcula-se que 11,4 L de areia foram coletados, em média, para cada 1.000 m³ de esgoto tratado na ETE A. O valor é semelhante aos 13,4 L/1.000 m³ encontrados por Silva e Carvalho (2007). Por fim, dados relativos ao número de caçambas transportadas para o aterro sanitário, considerando o tratamento preliminar da ETE A, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Caçambas do tratamento preliminar da ETE A transportadas para o aterro

Mês	C. Gradeamento	C. Peneiramento	C. Desarenadores	Total	Relação R/Total (%)
Janeiro	6	2	31	39	20,5
Fevereiro	5	2	29	36	19,4
Março	5	1	24	30	20,0
Abril	4	1	26	31	16,1
Mai	4	1	26	31	16,1
Junho	6	2	28	36	22,2
Julho	4	1	32	37	13,5
Agosto	6	1	40	47	14,9
Setembro	4	2	32	38	15,8
Outubro	6	2	33	41	19,5
Novembro	6	3	34	43	20,9
Dezembro	8	4	39	51	23,5
Média	5,3	1,8	31,2	38,2	18,7

Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 9, as colunas dois a quatro apresentam o número de caçambas transportadas por mês, para cada equipamento, enquanto a quinta coluna corresponde ao total de caçambas. A sexta coluna estabelece a proporção do número de caçambas de resíduos – coletados no gradeamento e no peneiramento – diante do total. Em média, na ETE A foram removidas mensalmente 38 caçambas do tratamento preliminar, sendo 5 referentes ao gradeamento, 2 ao peneiramento e 31 aos desarenadores. Ressalta-se que, nos meses de outubro a janeiro, o valor estabeleceu-se acima da média, alcançando pico em dezembro, o mês mais chuvoso. Resíduos representaram, em média, 18,7% das caçambas enviadas ao aterro. Considera-se, portanto, que o impacto dos resíduos é melhor representado ao se considerar o volume.

²³ A comparação apresentada objetiva apenas situar a extensão do problema, sem que exista o objetivo de estabelecer rigor científico, o que demandaria estudos específicos em ambientes controlados.

4.1.2 Caracterização dos esgotos sob as perspectivas de trabalhadores de ETEs

Com relação ao **Tema 1 – Chegada de materiais à ETE**, todos os entrevistados afirmaram que ampla gama de detritos – geralmente classificados como “lixo” – alcança o tratamento preliminar. Os participantes EA2 e EB apontaram pelos e cabelos – humanos ou de animais –, absorventes e preservativos como os materiais mais volumosos. As falas corroboraram a CSJ (2020), que apontou cabelos como materiais muito prejudiciais, e Le Hyaric *et al.* (2009), que identificaram têxteis sanitários, como absorventes, como os itens mais frequentes. EB apontou que, em termos de massa, a areia é dominante.

“Chega uma quantidade de cabelo muito acentuada, cabelo não só de humano, [mas também] de animais domésticos...” – Entrevistado EB.

“Preservativo, às vezes absorvente, muito lixo, muito lixo mesmo, e buchas de cabelo, que também geram um impacto (...) para a gente. Mas acho que o problema maior mesmo é preservativos e absorventes. Mas, é, tem tudo.” – Entrevistado EA2.

Nas três entrevistas os participantes relataram o aparecimento de materiais muito incomuns e afirmaram que, apesar de suas experiências, ainda são surpreendidos com novas ocorrências. O entrevistado EA1 afirmou que presenciou a chegada de "manchas vermelhas" – substâncias contaminantes desconhecidas diluídas no esgoto – que, apesar de pouco frequentes, eram impactantes. Comentou, também, sobre corpos de animais, restos biológicos indistinguíveis – sendo necessário acionar a Polícia Militar – e até sacos de dinheiro. Surpreende, porém, que tenha apontado recipientes de drogas, comumente conhecidos como "pininhos", como materiais frequentes e que, dado o grande volume coletado, prejudicavam o gradeamento.

“Os "pininhos" comuns do tráfico de drogas (...). Que o povo dava descarga e chegava lá e acumulava ali (...). Se ele estivesse fechadinho ele flutuava. Se ele estivesse abertinho, talvez não flutuasse (...). Então, isso aparecia em diversas alturas do gradeamento.” – Entrevistado EA1.

Realidade mais sombria, contudo, foi revelada pelos entrevistados EA2, EA3 e EB. Os três afirmaram que a chegada de fetos humanos é relativamente frequente, e EA3 indicou que um corpo adulto já foi coletado.

“Eu falei a cada três meses, mas a média é histórica. Esse ano o último [feto humano] que chegou aqui foi em maio (...). Então já tem seis meses que não chega.” – Entrevistado EA2.

O entrevistado EB indicou que brinquedos de crianças e animais também alcançam a ETE, e correlacionou o fato com a lavagem de pátios e terrenos no início das chuvas, ocorrendo o carreamento desses materiais por meio de ligações irregulares de coleta de águas pluviais na rede de esgotos. As falas do participante EA3 corroboraram e complementaram as constatações de EB, tendo em vista que EA3 indicou que determinados materiais, devido às suas dimensões, são possivelmente lançados diretamente através de tampas abertas de poços de visita, enquanto outros correspondem ao “lixo” jogado em logradouros e, portanto, carreado até a ETE por meio de águas pluviais. As colocações reforçaram a observação de Alem Sobrinho e Tsutiya (1999) sobre o descontrole das ligações irregulares de águas pluviais no Brasil.

“Porque tem coisa que a gente fica imaginando que ninguém jogou no vaso sanitário. Alguém abriu uma tampa de PV, ou uma tampa de PV abriu na chuva e entrou pela rede, não passou pelo vaso sanitário, não saiu de uma residência.” – Entrevistado EA3.

Com relação à suficiência dos sistemas de tratamento preliminar, os entrevistados indicaram que as soluções atualmente implementadas em suas unidades são adequadas. EA2 destacou que o gradeamento é um fator essencial para a operação de qualquer ETE, sendo o funcionamento mecanizado fundamental, uma vez que os operadores tendem a evitar a atividade de limpeza manual. Complementou afirmando que já existem soluções totalmente automatizadas e compactas no mercado, capazes de cortar pelos e gordura com jatos de alta pressão, que compensam o custo inicial de investimento ao longo do tempo.

“Vocês veem que isso passa a ser uma atividade que o cara repudia, por que ficar vinte anos trabalhando limpando uma grade? (...). Eu acho que é um dos pontos em que você [...] ganha resultado. Já tem sistema aí com jatos de alta pressão... Corta, porque [...] um dos problemas do gradeamento é o cabelo, no sistema de gradeamento ele agarra.” – Entrevistado EB.

Alguns sólidos grosseiros conseguem vencer as barreiras do tratamento preliminar e acabam alcançando etapas subsequentes. EA3 apontou que, por mais que a ETE tenha investido em um sistema moderno de peneiramento, já encontrou detritos como canudinhos plásticos e potes de iogurte em etapas finais do tratamento, na fase de centrifugação. O entrevistado admitiu ficar surpreso com a resistência dos materiais, que causam prejuízos para além do tratamento preliminar.

“Uma dessas coisas, lá dentro da centrífuga e na linha de lodo (...). Materiais plásticos, tipo canudinho, essas coisas tem hora que eu me pergunto, como é que isso consegue vencer o sistema que a gente tem, que é um sistema que eu considero bastante satisfatório do ponto de vista de gradeamento? Uma das poucas instalações da (EMPRESA) que tem peneira, né?” – Entrevistado EA3.

EB afirmou que a etapa de tratamento preliminar da ETE B já passou por alterações. O sistema mecanizado, com gradeamento fino, precisou ser adicionado porque o mecanismo anterior, com valores de abertura entre as barras definidos por Norma, não atendia de forma satisfatória. Segundo o entrevistado, detritos pequenos, principalmente "tocos" de cigarro, passavam frequentemente pelo gradeamento e provocavam aumento do volume da espuma a ser retirada dos reatores UASB, gerando problemas operacionais. O inconveniente provocado por restos de cigarro foi também indicado pela CSJ (2020).

“Um dos resíduos que a gente brinca que é o “parto” de uma ETE é o “toco” de cigarro, ele fica flutuante e você põe ele ali naquele miolinho da grade, na hora que ele bate ele passa (...). Quase todo esse material praticamente vira espuma do reator UASB, que é um certo problema que você tem [de] retirada de espuma desses reatores.” – Entrevistado EB.

Todos os entrevistados mencionaram que não há problemas de entupimento, causados por sólidos grosseiros, em suas unidades. Contudo, EA1 afirmou que presenciou alguns alertas referentes a objetos estranhos alcançando o tratamento preliminar, sendo a grade mecanizada por vezes incapaz de removê-los, o que demandava a atenção de um operador. EA3 reforçou que, apesar de não haver entupimentos, resíduos plásticos, mais resistentes, podem ser encontrados no lodo, o que indica que passaram pelas centrífugas e, portanto, também por tubulações de pequeno diâmetro. Mencionou, como exemplos, tampas de tubos de creme dental e preservativos, correlacionando o problema com o descarte desses resíduos em vasos sanitários e afirmando que extensos prejuízos são provocados. Esses elementos também foram identificados no experimento de Le Hyaric *et al.* (2009).

“Naturalmente, são materiais de origem plástica que resistem a tudo isso aí. Tem umas coisas [...] que a gente encontra, que são aquelas tampinhas de pasta de dente (...). E também preservativo, essas coisas de menor tamanho, que conseguem passar por um vaso sanitário, mas... São situações, digo, são resíduos, né? O lixo que é infernal, o prejuízo é enorme dentro da instalação. E a gente investe muito no tratamento preliminar. Se você for ver o tratamento preliminar da (ETE), é um senhor investimento, né? Para coletar o lixo que chega na estação.” – Entrevistado EA3.

EB, por sua vez, indicou que entupimentos poderiam ser provocados por gordura sobrenadante. Contudo, jatos de água de alta pressão são utilizados na ETE B para dissolver o material e evitar que o problema ocorra. Borges (2014) salientou a necessidade desse procedimento em ETEs equipadas com reatores UASB.

“É por causa da questão de gordura sobrenadante, porque já passou pelo gradeamento, então [...] é coisa que você passa um jato de água rápido e imediatamente você limpa, entendeu? (...). Praticamente o que a gente tem de entupimento na ETE é por causa de gordura.” – Entrevistado EB.

Os três entrevistados indicaram que, em épocas chuvosas, há sensível aumento dos volumes de esgoto tratado e resíduos coletados. O gestor EA1 afirmou que a principal preocupação gira em torno do risco de extravasamento, tendo em vista que o excesso de esgoto poderia sobrecarregar a capacidade operacional da ETE e, conseqüentemente, parte do efluente acabaria sendo liberada sem que recebesse tratamento adequado. As primeiras chuvas foram apontadas como momentos críticos por EA2 e EB. Segundo EA2, a areia representa o maior problema em sua unidade, sendo carregada devido à lavagem da parte superior dos interceptores. EB, por sua vez, ressaltou o problema das ligações pluviais irregulares em domicílios, afirmando que partículas finas resultantes da mineração na região são carregadas quando ocorre a lavagem de pátios – o que corrobora que podem ser responsáveis por considerável massa removida do tratamento preliminar. Acrescentou, ainda, que as pessoas podem estar ligando tubulações pluviais na rede de esgoto para evitar a ocorrência de maus odores caso água misturada com excretas de animais fosse lançada em logradouros.

“Logicamente a época que a gente tem esse quadro é a época chuvosa justamente por causa dessa contribuição que você tem (...) [das] drenagens internas do uso residencial, aquela que o cara faz num pátio, faz uma drenagem residencial e joga na rede de esgoto (...). Ele não joga aquela água na rua, porque vai ter fezes de cachorro na rua e vai dar odor.” – Entrevistado EB.

Com relação ao **Tema 2 – Consequências para a operação e a limpeza**, as duas ETEs são equipadas com sistemas automatizados de remoção de materiais do tratamento preliminar. Contudo, operações manuais também ocorrem para o gradeamento grosseiro e em casos específicos. Segundo EA2, por exemplo, há um profissional para realizar a movimentação das caçambas, que são trocadas quase diariamente. Cabe ressaltar que, na ETE A, o tratamento preliminar encontra-se fechado em galpão pressurizado para evitar a propagação de maus odores, sendo poucos funcionários autorizados a circular pelo local.

Em todas as entrevistas foram relatados eventos excepcionais que interferiram nas operações. EA1 afirmou que, nos dois casos de "manchas vermelhas" que presenciou, os operadores foram colocados em estado de alerta até que as substâncias contaminantes fossem identificadas. Ele indicou que se tratava de sangue animal, despejado ilegalmente na rede de coleta de esgotos. Os entrevistados EA2, EA3 e EB apontaram eventos de extravasamento. Segundo EA3, tendo em vista que o impacto das primeiras chuvas é terrível para a ETE – uma vez que ocorre a lavagem das superfícies, carreando materiais –, trata-se do momento mais crítico, quando os funcionários se esforçam para garantir que as unidades estejam operando perfeitamente. EA2 detalhou que, em certo momento de fortes chuvas, a comporta de extravasão da unidade precisou ficar totalmente aberta, enquanto a comporta principal tinha de ser fechada. Uma geladeira, porém, encontrava-se presa no local e impedia o fechamento do equipamento. Evidencia-se, portanto, que detritos surpreendentes podem ser encontrados em tubulações de maiores dimensões.

“A ETE chegou a registrar a vazão de entrada na caixa que fica a 2 km do tratamento preliminar de 2.000 L/s (...). Falam que tinha uma geladeira parada lá na parte inferior dessa nossa comporta, por isso que ela não fechou. Só quando diminuiu a vazão que conseguiram tirar isso, ou o próprio fluxo tirou isso dela. Não temos evidência disso.” – Entrevistado EA2.

Segundo EB, se houvesse redução do volume de detritos que alcançam a ETE, os custos de tratamento seriam diretamente reduzidos. Não apenas porque menor volume de material precisaria ser recolhido, preparado, acondicionado e transportado, mas também porque os operadores que ficam responsáveis por monitorar e realizar atividades manuais no tratamento preliminar poderiam realizar outras tarefas, aproveitando seu tempo de forma mais produtiva e aprimorando a eficiência das operações.

Com relação ao **Tema 3 – Consequências para o tratamento**, todos os entrevistados afirmaram que os processos na etapa preliminar não podem ser interrompidos, dada a grande quantidade de detritos. Na ETE A, EA1 afirmou que limpezas manuais excepcionais são realizadas quando há algo bloqueando o gradeamento. EA2 indicou que unidades reserva são sempre mantidas preparadas para usos emergenciais, especialmente durante o período chuvoso. Portanto, quando uma unidade fica sobrecarregada, o sistema reserva entra em operação, para que a limpeza possa ser realizada no principal. O participante complementou,

ainda, que existem geradores para manter o tratamento preliminar funcionando mesmo quando há não há provisão de energia elétrica por parte da concessionária.

EB afirmou que, na ETE B, o tratamento preliminar conta com sistema para alternar entre a manutenção automatizada e a manual, o que ocorre durante intervenções. Contudo, revelou que, devido ao excesso de contribuições pluviais, já foi necessário interromper a entrada de esgoto porque havia demasiada diluição, o que prejudicaria a biota presente nos reatores UASB. Os participantes EA1 e EA2 relataram episódios de perda na qualidade do efluente final, na ETE A, pelo mesmo motivo. Segundo EA1, nesse cenário, as etapas de tratamento precisam ser aceleradas e, conseqüentemente, há queda na eficiência do processo, existindo o risco dos valores de lançamento estabelecidos pela legislação não serem respeitados. O entrevistado apontou que a remoção de fósforo e nitrogênio é especialmente prejudicada durante esses episódios.

As falas de EA2, além de corroborarem o relato de EA1, revelaram que a areia, quando presente em excesso, é transportada através do processo de tratamento e chega aos digestores, o que demanda esforço para limpeza. Esse tipo de atividade pode encarecer consideravelmente as operações, conforme apresentado por Prado (2006). O gestor EA2 indicou, também, que a ETE A recebe alguma parcela de efluentes industriais que provocam contaminação, embora não ocorra impacto direto no resultado final.

“Quando tem um excesso de areia que eu não consigo remover nos desarenadores, essa areia é carreada no processo e para nos digestores. Durante a operação nós fazemos a limpeza desses digestores [e] tiramos um volume considerável de material. [Há] algum contaminante pelo recebimento de efluentes industriais aqui (...). Quando é percebido, por exemplo, um esgoto com características totalmente disformes, isso ocorre no período de chuva, né? O esgoto está totalmente diluído devido ao volume de água pluvial que chega na estação.” – Entrevistado EA2.

EB afirmou que os sólidos grosseiros de maiores dimensões não causam grandes impactos em etapas posteriores de tratamento, uma vez que as grades são capazes de contê-los com maior facilidade. São problemáticos, porém, para as redes de coleta, provocando entupimentos. Ele acrescentou que os pequenos sólidos, com espessura aproximada de um "toco" de cigarro, passam pelo gradeamento e podem prejudicar a ETE.

Os entrevistados revelaram que, na ETE A, é realizado monitoramento das fases sólida e líquida para determinar a concentração de diversas substâncias antes e após o tratamento. EA1 indicou que as quantidades de detergentes e óleos são monitoradas em relatórios de controle. EA2 reforçou que a estação, de processo aeróbio, tem capacidade de remover essas substâncias e que o ciclo de monitoramento é mensal. Apontou, ainda, que já houve problemas com a chegada de gordura de um frigorífico, o que resultou no desenvolvimento de um plano à parte, voltado apenas ao recebimento de efluentes não domésticos.

Segundo EB, a ETE B não é equipada com sistema de remoção de gordura. O entrevistado afirmou que o ideal seria adicionar equipamentos compactos para realizar esse procedimento. Informou, ainda, que a gordura provoca grande aumento do volume de espuma nos reatores, o que resulta em necessidade de manutenção constante. Caso o material fique acumulado, pode solidificar a superfície do líquido, prejudicando o tratamento. Esse efeito também foi descrito por Orssatto, Hermes e Vilas Boas (2010). EB indicou que testes de remoção por variação de pressão no separador trifásico estão sendo realizados para tentar contornar o problema.

“Você aumenta a atividade da retirada de espuma dos reatores (...). Se você deixar acumular a espuma nos reatores, ela solidifica a superfície. Então quanto mais você tira ela mais nova, mais fluida, é melhor. Estamos fazendo até uma linha de pesquisa tirando ela com variação de pressão no separador trifásico. A gente altera a pressão da cabeceira ali e põe a calha, ela sobe e a gente retira isso.” – Entrevistado EB.

Os gestores EA2 e EB relataram episódios de danos causados por sólidos grosseiros aos equipamentos de suas unidades. Segundo EA2, a descarga de efluentes do frigorífico na rede de coleta de esgotos resultava em acúmulo de materiais biológicos no sistema de gradeamento da ETE A. O participante EB, por sua vez, apontou que a areia e outras pequenas partículas promovem o desgaste muito acentuado dos equipamentos mecânicos que compõem as estações elevatórias primárias, algo reforçado por Borges (2014). EB questionou a adequabilidade do projeto desses equipamentos. Segundo ele, as elevatórias tendem a ser projetadas por engenheiros civis, pouco experientes em Engenharia Mecânica: a resistência contra sedimentos considerada na fase de projeto acaba sendo referente à água limpa, o que é inadequado diante da grande concentração desses materiais no esgoto. Devido ao acelerado desgaste, os atuais equipamentos das elevatórias da ETE B estão sendo substituídos por outros, de aço inoxidável. Segundo o gestor, o maior investimento em aparelhos de resistência aprimorada é compensado ao longo do tempo.

“Tem muita gente [que] tenta projetar uma elevatória num padrão [para] um equipamento que tem uma resistência mecânica com uma água limpa, mas se pensar que uma água de esgoto tem esses materiais sólidos, principalmente areia, precisa dar um desgaste, realmente (...). As elevatórias de esgoto são muito projetadas por engenheiros civis, poucos com atuação em Engenharia Mecânica (...). Com tudo aquilo de materiais que tiveram desgaste, nós estamos passando para aço inoxidável. Tem um custo inicial maior, mas ao longo do tempo paga-se tudo isso aí.” – Entrevistado EB.

EB também destacou que toda a operação de tratamento depende diretamente do bom funcionamento dos sistemas preliminar e primário. Segundo ele, é necessário investir o máximo possível para que a gordura, os sedimentos e outros materiais sejam removidos de forma eficiente e não danifiquem os demais aparelhos.

Com relação ao **Tema 4 – Destinação final do material coletado**, questionou-se, primeiramente, sobre a preparação para o transporte e o descarte dos materiais sólidos. EA2 apontou que, na ETE A, os sólidos grosseiros são parcialmente desidratados considerando o próprio período de espera em que ficam armazenados aguardando transporte, sendo cal adicionada para evitar a propagação de odor e a presença de moscas. O lodo, por sua vez, é retirado em frequência muito maior e passa por processo de desidratação antes de ser armazenado em caçambas estacionárias para encaminhamento à disposição final. Na ETE B, segundo EB, há o desaguamento do lodo através de filtros prensa. A espuma frequentemente agarrava ao ser processada pelos equipamentos, o que levou à construção de leitos de secagem, onde é lançada para que ocorra a sua desidratação. A unidade conta também com local de aterro para o material.

Segundo EA2, são coletadas mensalmente na ETE A aproximadamente 15 toneladas de resíduos do gradeamento grosseiro, oito do gradeamento fino e duas do peneiramento. A massa da areia nos desarenadores, muito maior, gira em torno de 80 a 100 toneladas mensais. O gestor afirmou que aproximadamente duas caçambas de capacidade de quatro toneladas e meia a cinco toneladas são retiradas do tratamento preliminar diariamente, enquanto oito são removidas para o lodo. EB afirmou que, na ETE B, aproximadamente uma caçamba é retirada do tratamento preliminar por dia. Segundo ele, a proporção de caçambas de lodo é três vezes maior. O gestor ressaltou que, por se tratar de um sistema baseado em reatores UASB, a geração de lodo é muito menor que a de sistemas aeróbios.

“De três caçambas de lodo que eu tiro dá uma de detritos (...). Lógico que se deve ao tipo de tratamento, com reator UASB. Se fosse uma ETE de lodo ativado, você ia tirar muito mais volume do que isso.” – Entrevistado EB.

A ETE A conta com sistema de aproveitamento do lodo para geração de calor e eletricidade. Segundo EA1, o lodo é depositado em biodigestores e parte do gás resultante da atividade microbiana é filtrada e direcionada aos reservatórios e aos geradores, enquanto outra parte é utilizada no aquecimento dos próprios biodigestores. EA1 indicou que o destino dos materiais do sistema preliminar e do restante do lodo é o aterro sanitário, existindo parceria para que a ETE trate o chorume do local. Clay *et al.* (1996) apontaram que aterros sanitários podem dificultar o recebimento de material de origem sanitária. O acordo para a prestação mútua de serviços representa, portanto, ótima alternativa de convencimento.

Na ETE B, existe, segundo EB, parceria de mesma natureza com um aterro sanitário da região, controlado por uma empresa privada: o aterro recebe os materiais, enquanto a ETE trata o chorume. Contudo, EB revelou que pesquisas estão sendo realizadas – em conjunto com uma universidade – para buscar alternativas de aproveitamento do lodo, visando principalmente à recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração, muito comuns na região. Infere-se que o princípio de transformação do material seria semelhante ao apresentado por Gasparim (2013). O entrevistado demonstrou interesse por alternativas mais sustentáveis para a operação da ETE, comportamento que, segundo Borges (2014), seria exceção.

“Hoje a gente tem até uma parceria aqui, por exemplo, com o aterro sanitário, que é operado por uma empresa privada, que a gente trata o chorume deles e eles recebem o lodo nosso, né? (...). Mas hoje, por exemplo, nós estamos até numa linha de pesquisa aí da (UNIVERSIDADE) juntos, [para o] reaproveitamento desse lodo (...). Nós estamos em uma região de atividade de mineração que tem recuperação de muita área degradada, né? A gente quer fomentar essa atividade e utilizar esse lodo dos reatores para áreas degradadas, evitar ir para o aterro.” – Entrevistado EB.

Com relação à contaminação por fármacos e outras substâncias, os entrevistados EA1 e EA3 indicaram que existe pouca atenção. Segundo EA3, embora a academia realize muitas pesquisas sobre o assunto, trata-se de algo ainda distante da realidade brasileira. Ele apontou que há preocupações muito mais básicas com relação ao tratamento, como a própria remoção de matéria orgânica, e que ainda há longo caminho para que a questão dos medicamentos seja tratada com a devida importância. Complementou que em países de economia mais desenvolvida, como o Reino Unido, existe tendência de atuação mais célere porque há mais

recursos para pesquisas, assim como disposição para investir, corroborando a discussão histórica sobre o cenário brasileiro, apresentada na seção 2.1. O gestor EB, por sua vez, afirmou que os procedimentos laboratoriais da ETE B incluem análises para fármacos e metais pesados e que os índices de contaminação, para a região, tendem a ser muito baixos.

“Não tem nenhuma preocupação com isso, nós temos tantas outras preocupações com redução da matéria orgânica propriamente dita, etc. (...). Isso é legal para pesquisar, é um futuro que a gente tem que trabalhar, acho que a academia tem que puxar a fila mesmo, mas para isso ser uma realidade, uma preocupação com isso, aqui pra nós vai demorar um bocadinho, né? Não demora lá no Reino Unido, por exemplo, porque você já tem pesquisas muito avançadas, né? E, assim, de fato, uma disposição que eles têm, uma condição econômica e uma disposição, para pagar pelas coisas, diferente da nossa.” – Entrevistado EA3.

Quando questionados se o local de disposição final já recusou o recebimento do material, possivelmente devido ao risco de contaminação, todos os entrevistados responderam que não houve ocorrências. EA3 informou que o teor de umidade exigido sempre foi atendido, mantido na faixa de 20%, e que por isso não haveria motivo para que o lodo fosse recusado. Essa exigência é típica e também foi retratada por Clay *et al.* (1996). O participante EB indicou que, em épocas chuvosas, o volume tratado de chorume do aterro sanitário também aumenta, o que compensa o aumento do volume de sólidos da ETE enviados ao local. Dessa forma, há uma relação de suporte mútuo entre as instituições.

O **Tema 5 – Medidas de sensibilização e educação continuada**, foi discutido pelos entrevistados com grande entusiasmo, reforçando a justificativa para o desenvolvimento do aplicativo proposto neste trabalho. A questão da sensibilização da população foi levantada e debatida de forma incisiva pelos gestores nas três entrevistas. EA1 afirmou que não teve muito contato com a parte de comunicação da instituição e presenciou apenas uma iniciativa de aproximação entre a ETE e a população. Segundo ele, pessoas que residiam em locais próximos à estação foram convidadas a conhecer a planta e os processos de tratamento, sendo fornecidos meios de contato caso detectassem maus odores em suas residências – contribuindo como indicadores de problemas. O entrevistado também afirmou que ações buscando detectar e fiscalizar lançamentos irregulares de águas pluviais e de esgoto – para encontrar domicílios que despejam água de chuva na rede de coleta ou esgoto diretamente em corpos hídricos – foram realizadas.

EA3 criticou a falta de sensibilização da população considerando o ponto de vista sanitário. Ele apontou não apenas o uso incorreto de aparelhos sanitários, mas também a disposição descontrolada de resíduos sólidos nas ruas, como problemas interligados, inaceitáveis e nocivos para as ETEs. Segundo o entrevistado, há um grande investimento sendo realizado pela prefeitura na coleta de resíduos, mas a falta de sensibilização da população perpetua a ocorrência do problema. Ou seja, entende-se que foi mencionado um contexto de priorização de ações estruturais em detrimento das estruturantes, conforme debatido por Britto *et al.* (2012), sendo sugerido também que o combate precisa ser pautado na interface existente entre os múltiplos componentes do saneamento, se estendendo para além do esgotamento sanitário. O gestor mencionou, ainda, que ligações irregulares de águas pluviais, quando externas e conhecidas, podem ser localizadas e eliminadas pela empresa de saneamento, mas que aquelas existentes dentro dos domicílios dificilmente podem ser desfeitas. Ele afirmou que medidas para a sensibilização dos usuários são essenciais e estão sendo tomadas pela ETE A. Acrescentou, também, que pesquisas são necessárias para compreender a questão.

“Uma população deseducada, do ponto de vista sanitário. Deseducada não só pra usar o vaso sanitário, deseducada que joga lixo na rua, né? (...). Você vê, você fala assim: "isso é inconcebível". Tem coleta de lixo lá, regular (...). Tinha de parar e estudar isso, né? O porquê disso, se o povo está revoltado, o que é, mas o esforço que a prefeitura faz para manter, para dar condição sanitária para as pessoas é enorme (...). A verdade é que tem conexão entre a água pluvial desde a casa do cidadão... Conexão plástica, da água de chuva do telhado, ele não consegue esgotar pra rua, né? (...). A gente fala sistema separador absoluto de esgoto, mas não é nada disso. É sistema bem misturadinho e com pontos de comunicação, alguns conhecidos a gente combate, o outro sai [de] dentro da casa do cidadão, [é] mais complicado de mexer. Agora, a (EMPRESA) (...) tem feito, ao longo dos anos, o esforço também enorme de ajudar a educar a população, um pouco do nosso trabalho também. Mostrar para as pessoas como é que se usa umas coisas, etc. Isso para mim é vital. Educação sanitária nesse aspecto aí.” – Entrevistado EA3.

O gestor EA3 indicou que a instituição administradora da ETE A tem realizado campanhas, mas apenas pontualmente. Afirmou que visitas guiadas à unidade estavam sendo permitidas, mas precisaram ser interrompidas devido à pandemia de COVID-19. O foco era educar as crianças, já que, segundo ele, seriam mais facilmente sensibilizadas que pessoas mais velhas, indo de encontro ao estudo de Johnson, Blum e Giedd (2009). Ele culpou a falta de continuidade como ponto de fragilidade dessas abordagens e mencionou que meios como rádio e televisão precisam ser buscados, bem como outras alternativas. Infere-se, portanto, que a fala justifica e corrobora a importância deste trabalho, considerando o contexto de transformação digital da Indústria 4.0 (SENNA; RIBEIRO, 2020). O entrevistado destacou

também a importância das escolas, das famílias e de meios mais severos de punição para enfrentar a disposição inadequada de resíduos sólidos.

“Existem campanhas pontuais, né? Talvez precisássemos ser (...) um pouco mais permanentes, né? No sentido de fazer campanha ou no rádio, [ou] na televisão (...). Evidentemente a gente sempre espera, imagina, que a escola faça o seu papel, que as famílias façam o seu papel (...), mas certamente [é necessário] um número grande de campanhas (...) objetivando mostrar à população como é que se usa a rede de esgoto, o uso consciente da água potável. Aquela história da "doninha" varrendo a calçada com a mangueira, enfim (...). É, não sei como é que a gente pode efetivamente atingir a população, sensibilizar, eu não sei como fazer mais, sabe? Devia ser radical: você jogou lixo pra cima, vai preso pra cadeia, pronto, tolerância zero.” – Entrevistado EA3.

O participante EB demonstrou preocupações muito semelhantes às de EA3 e sua ETE tem adotado alternativas similares. Ele reforçou que a educação precisa ser permanente e deve amadurecer com a população, pois campanhas pontuais são pouco efetivas. Segundo o entrevistado, parte do valor destinado à implementação de uma ETE deveria ser, necessariamente, reservada para medidas duradouras de sensibilização à distância, fazendo parte do custo operacional recorrente. Ou seja, a fala estabelece um paralelo com Briceño-León (2000), pois a educação sanitária precisaria ser considerada desde a fase de projeto. Dessa forma, o conhecimento seria apropriado pelos usuários e passaria a ser natural, vencendo barreiras entre gerações. O gestor informou que a ETE B tem realizado palestras e visitas escolares de forma constante, visando combater o problema. Ele sugeriu que uma disciplina de educação ambiental poderia ser adicionada às grades curriculares das escolas.

“A educação ambiental é um fator que eu acho que tem que ser constante e ela vai amadurecendo com a população. Não adianta você fazer uma campanha aqui, de seis meses (...). Igual, fala assim: “ah, vou colocar, vou instalar uma ETE”, aí vem um financiamento, mas uma parte desse financiamento você tem que fazer educação à distância (...). Vai se amadurecendo aos poucos, a geração seguinte vai ganhando, aquilo a gente vai repassando para os filhos e tudo aquilo vai amadurecendo com o tempo. Então, eu acho que a atividade de educação ambiental tem que ser uma atividade igual ao operacional da ETE, tem que ser constante (...). Você tem que fomentar aquilo na população, como [se] diz, na hora que você fomentar isso, criou aquilo dentro do ser humano, ele passa a fazer aquilo como uma atividade normal dele, entendeu?” – Entrevistado EB.

Com relação à capacitação continuada de operadores, EA1 informou que não havia grande rotação entre as atividades na ETE A e que trabalhadores destinados ao sistema preliminar dedicavam-se principalmente a essa etapa, eventualmente lidando também com tarefas do tratamento secundário. Considerando o tempo em que ficou na instituição, reparou que, embora existisse diálogo para a capacitação de operadores, a preocupação com a formação era

mais atuante em momentos de contratação de novos profissionais. Ao tratar da sensibilidade dos próprios operadores diante do problema dos detritos, EA3 afirmou que as tarefas diárias dos funcionários exercem forte influência e que as pessoas que trabalham na ETE, principalmente em contato com o sistema preliminar, tendem a apresentar grande consciência sanitária e ambiental. EB declarou que, na ETE B, cursos de “reciclagem” são realizados para os operadores de forma a destacar a importância de suas funções. Ele ponderou, contudo, que o contexto é muito diferente, e que a educação de base, a ser realizada com os usuários, não pode ser comparada à formação oferecida aos colaboradores.

“O operador já está no efeito final, então sempre a gente faz aquela educação dele, qual a importância do serviço dele sendo bem feito para não prejudicar o funcionamento e a eficiência da ETE, mas ele já está no efeito final, então é aquilo que você falou, a educação ambiental você vai começar nos primórdios, no início. Eu acho [que] são dois mecanismos, são duas [coisas] que não podem se comparar uma com a outra.” – Entrevistado EB.

Todos os gestores confirmaram que suas funções laborais influenciam na sensibilização de suas famílias e pessoas próximas. EA1 indicou que, além de sua experiência na ETE, é influenciado pelo conhecimento de construção civil de seus familiares, que alertam sobre os danos provocados por detritos em tubulações prediais. Apesar de conversar com outras pessoas sobre o problema, o entrevistado ponderou que talvez não o fizesse da maneira mais apropriada. Segundo ele, a questão ainda é um “tabu” e o diálogo não ocorre de maneira natural: o pudor excessivo ao tratar do assunto atua como barreira que deveria ser superada pela sociedade. Além disso, o participante revelou que nem sempre relaciona diretamente as ações na escala domiciliar às dificuldades enfrentadas pelos trabalhadores de ETES. Infere-se que essa resistência ao diálogo pode ter relação com o afastamento do que é “impuro”, conforme analisado por Douglas (1991):

“Não existe jogar fora, tudo vai ficar aqui ao nosso redor (...). Mas algo mais concreto, uma conversa mais pra falar: “pôxa, tem pessoas que estão lidando com isso lá na ponta”, sabe? Eu acho que não. E é uma coisa que a gente conversa mais facilmente quando a gente vai discutir resíduo sólido, né? (...). E o mesmo não acontece, pelo menos aqui no meu lado, em relação a esgotamento sanitário.” – Entrevistado EA1.

“Acho que é um tabu, né? Falar de banheiro, (...) de esgoto. Acho que existe uma resistência muito grande, né? De chegar e discutir: “ou, vamos ver o que a gente joga na nossa privada ou não?”. A gente não... Talvez seja isso, né? A gente não queira falar. Um pudor excessivo, não?” – Entrevistado EA1.

Quando a concepção do aplicativo desenvolvido neste trabalho foi apresentada a EA3, o profissional – insatisfeito com as campanhas pontuais tradicionais – demonstrou interesse pela ideia e afirmou que o caminho para educar as famílias passa, necessariamente, pelos mais jovens, que estão mais dispostos a aprender e podem levar a discussão para dentro dos domicílios. Segundo ele, esse tipo de investimento é altamente promissor e pode trazer bons retornos, pois apresenta o conteúdo de forma suave para as crianças, que se apropriam do conhecimento de maneira distinta.

“E quando você investe em criança, quando você propõe atividade para criança, eu acho que é a maneira mais "light", mais saudável, né? De levar informação para as famílias, né? Tudo que chega em uma família, essas crianças têm uma conotação diferente (...). É interessante investir na população como um todo, né? Mas o investimento na fase infantil para mim se destaca como (...) altamente promissor.” - Entrevistado EA3.

O gestor EA2 reforçou que o problema do descarte inadequado de detritos deriva diretamente da falta de educação de base, no contexto da família, o que vai de encontro com a fala de EA3. Informou, ainda, que pessoas da comunidade externa tendem a ficar surpresas com as grandes proporções da ETE e com a dificuldade de operá-la devido a fatores como maus odores. O entrevistado indicou que, nesses momentos, a importância de seu trabalho fica destacada.

“Na minha família, eu tive a oportunidade de trazer o meu pai aqui um dia e ele ficou impressionado com o tamanho da ETE e com o odor. “Como você consegue trabalhar aqui?”. “Pai, alguém tem que chegar e fazer. Não é o melhor, mas é melhor que [...]”. Questão da educação de berço. Não deixar comida no prato. Os meus pais me ensinaram a valorizar o descarte correto. Não jogar papel de bala, resto de comida. Nem o papel higiênico jogar no vaso.” – Entrevistado EA2.

Segundo EA3, pessoas das classes sociais média e alta têm educação privilegiada e tendem a apresentar nível satisfatório de consciência ambiental. O gestor afirmou que não tem o costume de dialogar sobre essas questões com pessoas desse perfil, sendo as dúvidas geralmente relacionadas com a possibilidade de depositar ou não o papel higiênico no vaso sanitário. Ele correlacionou a posição socioeconômica com o lançamento de detritos, afirmando que maior esforço de sensibilização deve ser realizado com as classes mais baixas. EB também estabeleceu essa relação com o volume de detritos – “lixo” – coletado na ETE.

“Fazendo parte da classe média, etc., as pessoas com as quais eu me relaciono, eu não preciso tratar isso, né? (...). Uma discussão que às vezes aparece é aquela questão (...): “jogo papel higiênico no vaso?” (...). É celulose, tem alguns [locais] do

Reino Unido que têm pesquisas já no sentido de recuperar celulose. Mas isso eu estou falando do papel higiênico de qualidade, né? Que nem todos têm acesso, enfim. Mas, via de regra, são pessoas que já têm uma educação sanitária muito satisfatória, não têm muitas dúvidas e já têm uma rotina (...). Não digo que não tenha que fazer trabalho nessas classes sociais (...) A e B, né? Mas o grande trabalho [é] nas classes C e D, né? Vai pros lugares mais pobres e nisso eu associo a pobreza com a falta de educação.” – Entrevistado EA3.

“Quanto mais você atende [a] uma classe social mais baixa, mais você vai ter (...). A classe social influencia muito nisso aí (...), aquele lixo que você recolhe ali no sistema primário.” – Entrevistado EB.

Os dois gestores admitiram uma relação inversa entre o nível socioeconômico e o descarte de detritos, ou seja, as classes mais baixas seriam supostamente mais propensas ao ato. Brochado (2018), contudo, obteve uma relação direta ao comparar a renda com a tendência de descarte de papel higiênico na bacia sanitária – cabendo ressaltar, porém, que tal comportamento pode não se repetir para os demais materiais, sendo necessário um estudo específico. Além disso, o termo “consciência ambiental”, embora ambíguo, sugere educação mais generalista e focada em ecologia e sustentabilidade. O estudo de Thomas *et al.* (2003) pode indicar que o problema não está relacionado à falta de “consciência ambiental”, mas à incapacidade de visualizar benefícios e consequências após o afastamento de resíduos.

O participante EB posicionou o problema como questão cultural e comparou o Brasil com a Europa. Segundo ele, moradores de países europeus não costumam utilizar cestos no banheiro para depositar resíduos porque o papel higiênico se dissolve na água e há consciência ambiental sobre locais de descarte apropriados para os demais materiais. Ele afirmou que, no Brasil, o cesto é necessário porque certas famílias podem não ter sensibilidade suficiente para separar o papel higiênico – sugerindo que pode ser descartado na bacia sanitária – de outros materiais e compreender as consequências do descarte incorreto. EB também reforçou, novamente, que uma disciplina deveria ser implementada na estrutura de educação, indicando, através de um exemplo, que falta sensibilização de base mesmo para as classes média e alta.

“Por exemplo, na Europa você praticamente não encontra um cesto para jogar papel. Por que a gente põe um cesto para jogar papel no banheiro? Porque atrás do papel vem mais coisas, dentro de uma família que não tem uma certa estrutura de educação ambiental, vem modos, vem cigarro, vem tudo aquilo. Então, na realidade, você não precisaria de um cesto exclusivamente, porque o papel é totalmente dissolvido na água, celulose, tudo direitinho. Mas por que você põe aquele cesto de papel? É justamente porque se você liberar [e] falar que pode jogar, a pessoa entende que ali é descarga, vai tudo, entendeu? (...). Na minha residência, por exemplo, eu evito, falo com o pessoal "olha, não gasta jogar papel no cesto aqui do banheiro", entendeu? Mas isso aí é porque [tenho] um certo conhecimento, mas eu tenho uma esposa médica [que pergunta] "por que não tem?". Eu já tive que explicar

que papel é dissolvido (...). Ela formou-se em Medicina, mas não teve nenhuma educação ambiental voltada ao lançamento de resíduos domiciliares, entendeu? Por isso que eu acho que aonde tem que se implantar isso? Deveria ser [com] frequência dentro de uma estrutura de educação. No ensino fundamental, ensino médio, tudo aí.” – Entrevistado EB.

Considerações interessantes podem ser ressaltadas ao comparar as falas dos quatro entrevistados. Tanto EA1 quanto EA3 revelaram não dialogar sobre o assunto de forma clara com familiares e conhecidos. Contudo, enquanto EA3 atribuiu o fato à maior consciência ambiental das classes mais altas, dispensando a necessidade de sensibilização, a fala de EA1 demonstrou arrependimento e o participante admitiu que gostaria de abordar o tema mais incisivamente com pessoas de seu convívio, afirmando que a questão é tratada como “tabu” e que por isso existe resistência ao diálogo. EB, ao citar o exemplo de sua esposa – uma pessoa graduada em Medicina e que, mesmo assim, teve pouco contato com a educação ambiental voltada ao lançamento de resíduos domiciliares –, sugeriu que mesmo as pessoas com nível educacional privilegiado podem apresentar pouca consciência ambiental, porque não há educação de base nas escolas. Por fim, todos os participantes ressaltaram a importância da família, mas EA2 foi mais incisivo quanto à “educação de berço”.

Pode-se inferir que a vivência de cada um dos participantes tenha influenciado nas respostas e que as falas retratam quatro problemas igualmente importantes, a serem enfrentados para minimizar o problema do descarte inadequado de materiais. O aplicativo proposto neste trabalho, por constituir *serious game* de amplo acesso, pode combater todos os pontos levantados, que são complementares:

1. Barreira cultural: o diálogo não ocorre devido à resistência estabelecida pela sociedade contra o assunto;
2. Desigualdades socioeconômicas: a sensibilização tem alcance distinto – assim como os serviços de saneamento – conforme a posição socioeconômica e o acesso à educação;
3. Falta de educação de base: as instituições de ensino não abordam a temática abertamente e com a devida atenção, tornando a falta de sensibilização um problema geral;
4. Falta de contato no domicílio: há dificuldade em levar o conhecimento para todos os membros de uma mesma família.

É importante mencionar, também, que a visão sobre o lançamento de papel higiênico no vaso sanitário foi distinta entre os gestores EA2, EA3 e EB. Enquanto EA2 afirmou que não descarta o material, sendo influenciado desde cedo por familiares, EA3 indicou que o papel a ser descartado deve apresentar boa qualidade – tendo composição compatível com a dissolução no caminho até a ETE –, o que não é acessível a todas as pessoas. EB, por sua vez, disse que o material se dissolve e que poderia ser depositado caso as pessoas tivessem consciência suficiente para não descartarem outros resíduos. Os resultados de Brochado (2018) indicaram que diversas marcas não cumprem os critérios de composição para a dissolução do material em água, o que dificulta a determinação da adequabilidade das falas em cada caso.

Com relação ao tema adicional, **Tema 6 – O tratamento preliminar segundo a academia e a sociedade**, os participantes espontaneamente abordaram relevantes aspectos relacionados à atuação da academia e à visão da sociedade quanto ao tratamento preliminar e aos profissionais que nele atuam. Segundo EA1, que apontou os maus odores como uma das características mais difíceis no início da carreira dos profissionais que trabalham com tratamento de efluentes, especialmente no sistema preliminar, a sociedade acaba exercendo diferenciação com esse segmento laboral, existindo complexa mistura de interpretações. Por vezes, curiosidade; em outros casos, receio de conviver com o profissional e contaminar-se. O entrevistado afirmou que, mesmo entre os trabalhadores, existe o cuidado de imediatamente após a execução das tarefas despir-se adequadamente das roupas utilizadas, devido à preocupação com o risco de contaminação.

O gestor EA3 revelou que o projeto da ETE A é antigo, da década de 1980, e que foi modernizado. Ele mencionou que, na época, muito pouco era conhecido sobre as características do esgoto doméstico no Brasil, e que inúmeras informações referentes às quantidades de areia e outros detritos foram “importadas” de outros países, bem como tecnologias, que nem sempre eram adequadas à realidade nacional – o que corrobora a visão de Braadbaart sobre a prevalência de ideais provenientes do Norte Global (2013). O participante afirmou que ainda há poucas informações e que as experiências de cada ETE são diferentes, ponderando que a academia se dedica a pesquisar muito sobre o tratamento biológico e quase nada sobre o preliminar, o que reforça as colocações de Prado (2006), que vão nessa mesma direção, sendo destacada a importância de se encontrar valores de literatura

mais próximos das práticas brasileiras. Por fim, o mesmo entrevistado argumentou que a disposição dos domicílios, o uso do solo e as características de cada bacia influenciam muito no volume de detritos coletados na ETE, algo também indicado por Von Sperling (2014).

“Essa quantidade de areia e de lixo, [as informações] elas vêm do exterior. E até hoje, infelizmente, a gente carece muito de informação a respeito da qualidade desse material, das quantidades, né? (...). Cada ETE tem uma realidade um pouquinho diferente, né? (...). É uma situação que eu até cobrava um pouco dos professores, eu dizia: "olha, vocês gostam de ficar estudando os processos biológicos das estações de esgoto, todo mundo adora um lodo ativado, que dia vai ter alguém desenvolvendo um trabalho sobre o tratamento preliminar?". Então, assim, exatamente para a gente tentar, em algum momento, começar a criar os nossos números, né, no Brasil, regionalizados, evidentemente.” – Entrevistado EA3.

4.1.3 Caracterização dos esgotos sob as perspectivas do público de interesse

Com relação ao **Bloco B1 – O que é jogado nos aparelhos sanitários?**, quando questionados sobre o que observavam ser depositado em aparelhos sanitários e redes de coleta, participantes de ambos os grupos apontaram, logo no início da sessão, o óleo de cozinha, material considerado comum. Houve também, nos dois GFs, a consideração de que produtos líquidos, em geral, são indiscriminadamente lançados em pias, uma vez que o usuário muitas vezes não sabe como realizar o descarte correto.

“Eu vejo muita gente jogando papel, óleo, qualquer tipo de fluido em geral. Quando a pessoa tem um fluido e não sabe onde descartar, geralmente vai para o vaso ou para o ralo, né? E, às vezes, até sem o devido tratamento daquilo.” – Participante G1M3.

“Eu já vi gente jogando óleo pela pia, eu não acho correto, mas (...). Acho que é bastante comum, pelo menos fora daqui de casa, aqui em casa não é, mas eu já ouvi falar.” – Participante G2M5.

Participantes dos dois grupos comentaram sobre restos de comida, especialmente líquidos, sendo o leite citado como exemplo. Ressalta-se que alimentos são produtos orgânicos e, em teoria, seu descarte no esgoto é possível, exceto em caso de detritos sólidos de maior tamanho e difícil decomposição, como ossos, que podem causar entupimentos. Ainda no tocante a líquidos, G1M2 comentou sobre o lançamento de produtos químicos não neutralizados, como ácidos, em pias de laboratórios. O participante cursou Engenharia Biotecnológica e a afirmação tem relação com sua vivência. No G2, um participante também comentou sobre produtos químicos, citando como exemplos acetona e cloro.

“Resto de comida quando está líquido normalmente dá para ver o descarte (...). Uma vez também já vi no laboratório, né? Isso é um pouco de experiência que eu tive

(...). Normalmente você neutraliza antes de descartar. Mas já vi acontecendo de descartarem coisa química, né? Ácido ou alguma coisa do gênero, sem estar neutralizado, direto na pia.” – Participante G1M2.

A questão do descarte de papel foi debatida por quatro participantes do G1. Contudo, não houve especificação do tipo de material, não sendo possível afirmar se estavam se referindo, por exemplo, ao papel higiênico. Um participante do G2 foi bem incisivo quanto a estar se referindo ao papel higiênico, afirmando que, fora de seu bairro, o descarte é comum. As falas, em ambos os casos, sugerem o entendimento de que o papel não pode ser descartado na bacia sanitária. Considerando o cenário nacional, diante dos estudos realizados por Brochado (2018), trata-se de preocupação justificada.

“O negócio do vaso sanitário, pelo menos, eu já ouvi falar que é bem... Fora daqui do bairro, pelo menos, é muito comum jogar papel higiênico, mas acredito que aqui também deva ter.” – Participante G2M5.

Com relação a outros materiais, um participante do G2 comentou sobre produtos de higiene pessoal, a exemplo do fio dental e do absorvente. Considerando os estudos de Le Hyaric *et al.* (2009) e os resultados das entrevistas, admite-se que absorventes sejam detritos muito problemáticos. Outro participante do mesmo grupo comentou sobre fios de cabelo, afirmando que são descartados em pias e bacias sanitárias. Um participante do G1 mencionou o azeite e a borra de café – material citado pela CSJ (2020) como danoso. G1M4, por sua vez, descreveu o lançamento de resíduos da área de saúde, afirmando já ter presenciado o descarte de medicamentos. Destaca-se que o participante é médico veterinário, sendo a afirmação relacionada com sua vivência.

“Eu, como parte da área de saúde, de vez em quando vejo uns descartes meio inadequados. O pessoal, por exemplo, puxou alguma medicação e não vai usar, ao invés de descartar direitinho, e geralmente tem o descarte próprio, de vez em quando o pessoal só pega e joga na pia... Aí eu fico meio incomodado com isso aí, sabe?” – Participante G1M4.

Quando questionados sobre detritos e substâncias que imaginavam serem lançados em aparelhos sanitários e redes de coleta, complementando a questão anterior, os participantes de ambos os grupos direcionaram seu foco para o problema dos resíduos sólidos descartados em vias públicas que, conseqüentemente, acabam carreados pela água de chuva. Mencionaram sacolas de “lixo”, pedaços de vidro, latas de alumínio e embalagens plásticas, sendo as últimas consideradas muito comuns no cotidiano, o que justificaria maior quantidade (G1).

Um participante de G1 comentou que, na pandemia, máscaras descartáveis provavelmente estão sendo lançadas em grande quantidade junto com o “lixo”. Em G2, os participantes também comentaram sobre o “lixo” de forma geral, acrescentando resíduos vegetais.

Percebeu-se, em ambos os grupos, certa confusão na separação entre o esgotamento sanitário e o manejo de águas pluviais. Acredita-se que essa diferenciação possa não ser clara para os participantes, sabendo-se que, na prática, é comum que as funções das estruturas “tampa de bueiro” e “boca de lobo” – termos coloquiais para se referir, respectivamente, às tampas de poços de inspeção e visita de redes de coleta de esgotos e aos sumidouros para águas pluviais posicionados nas laterais de logradouros – sejam consideradas similares. Um participante do G1, por exemplo, sugeriu uma correlação entre o lançamento de resíduos em pias e bacias sanitárias com a presença desses materiais em córregos urbanos. De fato, parte desses detritos – os de menores dimensões – são lançados em aparelhos sanitários e acabam alcançando corpos hídricos, uma vez que nem todas as conexões de esgoto chegam às ETEs. Contudo, a maior parte dos materiais em córregos são provenientes de pátios e logradouros, sendo levados através de canais de águas pluviais, que deságuam nesses locais.

“Por exemplo, você passa perto desses córregos que são canalizados dentro da cidade e você vê de tudo lá dentro, né? Então, se você imaginar o que as pessoas jogam dentro da pia, da privada e do banheiro também, deve ser muita coisa... Sacolas cheias de lixo e de qualquer coisa que a pessoa esteja descartando. Por exemplo, vidro, lata de alumínio, essas coisas. Então imagino que seja isso aí.” – Participante G1M4.

No segundo grupo, um participante correlacionou a presença de “lixo” no esgoto com o arraste durante alagamentos. Outro participante concordou e mencionou o problema de inundações em trincheiras. Novamente, embora exista relação entre o lançamento de detritos em logradouros e a presença destes no esgoto – não apenas devido às conexões irregulares de águas pluviais, mas à abertura, intencional ou não, de poços de inspeção e visita e tampas de interceptores, principalmente durante episódios de alagamento –, admite-se que os participantes podem ter imaginado uma conexão unitária entre os sistemas de esgotamento sanitário e manejo de águas pluviais, enquanto no Brasil predomina, em teoria, o sistema separador absoluto.

“Ah, de bueiro é qualquer coisa (...). Às vezes dá alagamento, então (...) qualquer lixo, qualquer coisa que está na rua ali geralmente vai para o esgoto.” – Participante G2M5.

Com relação ao **Bloco 2 – Quais problemas são provocados?**, no primeiro grupo, um participante mencionou, logo no início, impactos relacionados ao óleo. Ele identificou que, em contato com a água, o material poderia se solidificar e causar entupimentos, algo agravado ao se considerar a presença de detritos. O participante também acrescentou que resíduos sólidos poderiam entupir os “filtros” da ETE. Outro participante, por sua vez, visualizou a dificuldade da decomposição de plásticos como problema. No segundo grupo, um participante relatou impactos do óleo e descreveu o processo de formação de “*fatbergs*”, retratado por Wallace *et al.* (2017), embora não tenha utilizado o termo.

“Com certeza, entupimento de tubulação [a presença de óleo]. De várias formas possíveis. Pode ser gordura ficando sólida, óleo ficando sólido, travando [a tubulação] e voltando com todos os materiais. Travamento de tubulação parece que deve acontecer muito.” – Participante G2M1.

Alguns participantes estabeleceram, novamente, paralelos com o sistema de drenagem e problemas de alagamento. Uma pessoa acrescentou que, se a água não for coletada, tratada e transportada de maneira correta, pode ocasionar problemas de saúde pública devido à proliferação de vetores de doenças.

“Porque essas coisas de maior volume devem com certeza causar obstrução na drenagem da água, né? Ai causa esse problema todo que a gente vê aí todo ano.” – Participante G1M4.

“É, eu imagino que se a água não for devidamente tratada, coletada e transportada para um lugar planejado, isso pode acarretar problema não só de poluição ambiental, mas também de acúmulo de água, que aí já começa a entrar em problemas como dengue e [riscos] de saúde pública, né?” – Participante G1M1.

G1M2 comentou sobre a acentuada presença de hormônios e fármacos na água, algo que considerou de difícil “filtragem” durante o tratamento. Ele atribuiu o problema não ao descarte direto, mas à ingestão excessiva das substâncias. A parcela referente ao descarte é, de fato, reduzida em comparação com o residual liberado através das excretas, mas esperava-se que fosse também mencionada. Infere-se que o conhecimento relacionado ao curso de graduação do participante possa ter influenciado em sua resposta. Outro participante indicou que não há tecnologias para conseguir remover todos os contaminantes da água, afirmando não saber o que acontece com a parcela que não pode ser tratada, enquanto um terceiro mencionou que o óleo demandaria processo de separação, gerando despesas adicionais que não existiriam caso a população fosse mais consciente. Gastos adicionais para a raspagem do óleo foram também mencionados durante as entrevistas pelo gestor EB.

“Hormônio é uma coisa que eu suponho que deve ter bastante também, por culpa da quantidade que tomam hoje em dia, é uma coisa que eu suponho que deve ser mais difícil de ser filtrada (...). Porque o lixo, principalmente, decanta e dá para tirar, mas acho que esses resíduos químicos são mais difíceis.” – Participante G1M2.

“Para poder tratar a água tem que separar o óleo, então teria custos a mais com todo esse processo de separação que não precisariam ser gastos caso o pessoal largasse esse tipo de coisa de forma mais consciente.” – Participante G1M5.

No Grupo 2, o descarte de substâncias químicas foi relacionado com a corrosão da tubulação. Um participante adicionou que eventuais rupturas poderiam promover a contaminação do solo. Ele também sugeriu uma relação entre a elevada quantidade de matéria orgânica e a eutrofização, embora não tenha mencionado o nome do processo. Ressalta-se que a eutrofização é provocada pelo excesso de nutrientes na água, especialmente nitrogênio e fósforo, e não pelo excesso de matéria orgânica, embora exista ligação entre os parâmetros no ecossistema do esgoto. Outro participante mencionou o risco de ocorrer mal cheiro devido ao acúmulo de detritos.

“Acho que, se tiver algum problema no cano, deve contaminar o solo. Eu lembro também que (...), quando tem muito resíduo orgânico, dá problema quando chega às lagoas, assim, se não me engano, dá super população de bactérias, essas coisas.” – Participante G2M3.

Ao ser realizado questionamento sobre os resíduos mais relevantes em termos de impacto, no G1, três participantes nomearam óleo, papel e plástico, classificando esses materiais como os mais comuns. Os outros dois, por sua vez, voltaram sua atenção para os fármacos, e um deles comentou sobre a presença de metais pesados. Os demais participantes complementaram, trazendo outros exemplos, tais como a quebra de termômetros de mercúrio, as pilhas e o problema dos garimpos – este último, não muito conectado ao contexto. No Grupo 2, um participante afirmou não conhecer processos de “filtragem” – provavelmente se referindo ao tratamento –, dizendo apenas que impactos seriam provocados por elementos inorgânicos, e não por elementos orgânicos. Ele mencionou a possibilidade de ocorrer oxidação de equipamentos da ETE.

Após o debate, foi realizada a apresentação, pelo Autor, dos impactos provocados por elementos frequentes: água de chuva, areia, óleos e gorduras, cabelos e pelos, restos de cigarro, absorventes, preservativos, plásticos, tecidos e medicamentos. Perguntou-se, aos participantes, quais desses materiais mais chamavam a atenção. No primeiro grupo, dois participantes mostraram-se surpresos com a água de chuva, afirmando não imaginar que esta

poderia afetar a coleta e o tratamento de esgotos. Outro disse ter ficado impressionado com o impacto da areia. Outros detritos considerados surpreendentes foram cabelos e pelos, absorventes e preservativos. Um participante comentou que cabelos e pelos devem chegar em grande quantidade, mas que nunca havia pensado no assunto. Destaca-se que esses materiais não foram mencionados no G1 durante o primeiro bloco de discussões, embora tenham sido citados, durante a primeira fase, no G2. O mesmo participante supracitado acrescentou que havia pensado em preservativos, mas que não considerou a possibilidade de transmissão de doenças. Outros dois afirmaram ser “estranho” imaginar que tantos absorventes sejam descartados em bacias sanitárias, pois acreditavam que seriam direcionados principalmente ao lixo doméstico.

“Mas eu entendi, principalmente pela parte de ser muito fácil aderido [os cabelos e pelos] a outros materiais, né? E chegar em quantidades muito grandes. Eu não tinha parado para pensar nesse tipo de [impacto] do cabelo e do pelo.” – Participante G1M3.

“Eu imaginei que, com certeza, teria muito preservativo, mas eu não tinha chegado a imaginar as consequências do perigo humano mesmo, de transmissão de doenças, dessas coisas, assim...” – Participante G1M3.

“Eu fiquei mais surpreso com absorvente, porque eu imaginei que jogassem mais fosse no lixo, ao invés de ser (...) no vaso mesmo, né?” – Participante G1M4.

No G2, parte das considerações se repetiram. Um participante expressou espanto com o impacto da areia e afirmou que imaginava que a remoção seria simples. Outro participante mencionou os cabelos, indicando que sua surpresa estava relacionada ao impacto do material, e não à presença deste. Ele mencionou, também, que não imaginava que muitas pessoas lançassem “tocos” de cigarro. Um terceiro participante comentou que os absorventes e preservativos são os materiais que mais surpreendem, não porque provocam problemas, mas porque dificilmente são jogados em logradouros e, portanto, para alcançarem os esgotos, teriam que ser descartados em bacias sanitárias. Outro participante se mostrou surpreso com os tecidos pelo mesmo motivo: o descarte desses materiais em logradouros é menos comum. Por fim, houve menção sobre o papel higiênico não figurar como um dos maiores problemas, algo também detectado nas entrevistas.

“Olha, eu não esperava que a areia fosse um problema tão grande. Eu achei que era uma coisa mais simples de lidar, mas, agora que você falou, realmente parece bem problemático.” – Participante G2M1.

“Eu acho que fica mais na questão do absorvente, do preservativo. Não porque me surpreende que isso atrapalhe, mas me surpreende porque não é geralmente um material descartado em rua, então ele não é levado por (...) água de chuva. Então,

provavelmente, é uma coisa que é descartada manualmente, em casa, e é meio difícil acreditar que as pessoas descartem isso diretamente dentro de casa, pelo vaso ou algo assim.” – Participante G2M5.

“Um ponto que me saltou foi tecido, porque normalmente você não faz o descarte de roupa na rua, essas coisas.” – Participante G2F4.

Em seguida, foram apresentados os relatos dos gestores com relação a materiais “estranhos”: brinquedos, “pinos” de cocaína, fragmentos biológicos – humanos ou de animais –, fetos e uma geladeira. No primeiro grupo, um dos participantes revelou-se perplexo com relação aos “pinos” de cocaína e mencionou também o descarte em logradouros, fazendo nova associação com o sistema de drenagem pluvial. Outro participante, apesar de se mostrar surpreso e afirmar que nunca pensaria na situação, mencionou que faz sentido, uma vez que o usuário da droga buscaria se livrar das provas. Um terceiro disse que esses materiais constituem plástico e borracha e que, portanto, era de se esperar que seriam lançados. Os participantes não se mostraram surpresos com a presença de brinquedos no esgoto, tendo em vista o problema da lavagem de pátios combinada às conexões irregulares de águas pluviais.

“Pensando, assim, em quem vai estar, por exemplo, consumindo [a droga], você não vai querer descartar isso em qualquer lugar, porque alguém poderia rastrear aquilo de alguma forma, então a ideia mais fácil seria simplesmente jogar no vaso e dar descarga mesmo, né? Mas é realmente impressionante. Eu nunca ia parar para pensar nisso.” – Participante G1M3.

“É, isso daí faz sentido. Faz sentido isso acontecer porque (...) a criança está brincando, ou então o cachorro está brincando, e aí, por exemplo, vai começar a chover, aí ele entra e deixa [o brinquedo] no pátio, aí chove e lava mesmo.” – Participante G1M4.

No segundo grupo, um participante se mostrou surpreso com relação aos fragmentos biológicos de animais, enquanto outro afirmou que já esperava a situação, tendo em vista o descaso generalizado com o cuidado dos animais de estimação. Este último também classificou a presença de fetos como “ameaçadora”. Com relação aos brinquedos, assim como ocorreu no G1, os participantes não se mostraram surpresos e afirmaram que já haviam apontado plásticos como materiais problemáticos. A situação dos “pinos” de cocaína também foi interpretada de forma semelhante à observada no G1: o descarte foi correlacionado com a eliminação de provas. Os detritos de grandes dimensões impressionaram os participantes, que fizeram perguntas sobre como a presença desses materiais seria possível e como o problema é detectado. Um dos participantes apontou o descarte em “bocas de lobo”, fazendo nova associação com um mecanismo de drenagem pluvial.

“Acontece bastante disso e acho que tem bastante descaso com a questão em relação aos animais. Mas com feto e esse tipo de coisa eu acho bem... Ameaçador. Não que eu estou dizendo que é normal isso acontecer com os animais, eu só estou dizendo que, pela falta de educação que as pessoas têm, é uma coisa que acho bastante comum, assim, pelo menos [o] que aconteceu perto de mim. Eu já vi esse tipo de coisa.” – Participante G2M5.

“Pelo menos o contato que eu tenho, assim, (...) dentro da casa, nem se você quiser você consegue colocar uma geladeira, então tinha que ser alguém que... Sei lá. Tem que ser boca de lobo, alguma coisa assim, para conseguir passar a geladeira.” – Participante G2M3.

O Bloco 3 – Como o conhecimento poderia ser acessado? iniciou-se com a apresentação das imagens de impacto – Figura 6 – e o questionamento sobre os potenciais motivos que levam as pessoas a descartarem materiais indevidamente em aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos. No G1, um dos participantes chamou a atenção para a presença de um coco verde em uma das fotos, classificando o material como muito resistente e de grande tamanho, o que poderia gerar problemas para a passagem do esgoto. Outro questionou a presença de materiais grandes, atribuindo sua origem ao descarte realizado em córregos ou ao lançamento em tubulações de coleta de esgotos de maior diâmetro, já próximas da ETE.

“Eu entendo que o tubo vai aumentando, mas, mesmo assim, tem muita coisa que é muito grande para chegar, e ainda chega... Eu imagino que deva ser dispensada nos córregos, ou, como diria, em locais mais próximos do final da tubulação, né, seria isso?” – Participante G1M3.

No G1, três participantes relacionaram a presença dos materiais no esgoto à falta de compreensão do que acontecerá “à frente”, ou seja, após o afastamento, indo ao encontro do estudo de Thomas *et al.* (2003). Durante a discussão, foi mencionada a ideia de se livrar mais facilmente de resíduos, de maneira mais cômoda. Ou seja, admite-se conexão com o ideal de afastamento da ameaça, o que corrobora o mecanismo de cultura descrito na seção 2.1. Houve também a sugestão de que alguns lançamentos poderiam ser feitos de forma “consciente”, ou seja, quando a pessoa tem noção dos impactos provocados.

“É porque ela não tem tanta noção do que vai acontecer para frente, né? Quando você tem o lixo, uma coisa assim para descartar, você pensa: “ah, quero me livrar disso”, né? E acho que muitas vezes jogar no chão (...) ou descartar em um córrego, (...) [porque] ela não vai ficar olhando para aquilo, faz com que ela descarte nesses locais.” – Participante G1M2.

“Eu acho que (...) a pessoa pensa assim: “ah, só eu vou jogar isso aqui e no meio de tanta água não vai fazer tanta diferença”. E também acho que a pessoa deve até ter um pouco de noção disso, só que ela simplesmente não deve ligar muito.” – Participante G1M4.

“O principal ponto é [que] não afeta a pessoa, assim, diretamente, né? Porque você não vê a pessoa jogando sacola de plástico, pelo menos eu acho que não deve existir isso. Talvez até exista jogar sacola de plástico dentro do próprio vaso, sabe? Da própria casa. Porque ela sabe que vai dar problema na casa dela, na tubulação. Então, como não afeta diretamente, vai afetar lá na estação de tratamento de água, eu acho que a pessoa simplesmente ignora o fato e acaba jogando.” – Participante G1M1.

No G2, um dos participantes chamou a atenção para a presença de resíduos de construção civil em uma das fotos. Houve, posteriormente, identificação da mesma tendência de descarte debatida no G1: o indivíduo não percebe o retorno imediato de seu ato e, portanto, deixa de valorizá-lo.

“Tudo bem que fazer a limpeza das grades e passar por todo o transtorno não são as pessoas, não é a sociedade. Então, é só quem trabalha lá, diretamente, que está vendo o quanto aquilo afeta e a quantidade de lixo que (...) fica presa, todos os problemas relacionados. As pessoas não têm acesso a isso, às consequências das ações delas. Então, como elas não veem, elas não sabem, acaba que não interfere na forma delas agirem.” – Participante G2F2.

“Eu acho que realmente falta um retorno imediato, porque dá um pouco mais de trabalho. Pouco, assim, mas a pessoa... Descartar no vaso, alguma coisa assim, é prático, né? E acho que a pessoa não percebe o ganho [direto] desse trabalho [de descartar o material corretamente] a mais que ela faz.” – Participante G2M3.

“É muito comum, no Brasil, aquilo que não te afeta diretamente não ser uma coisa (...) preocupante. Então isso daí acaba acarretando um problema lá perto [da ETE], né? (...). Quando o problema está distante da pessoa, ela basicamente não [pensa] nisso.” – Participante G2M5.

O participante G2M5 correlacionou o problema com o estilo de vida da sociedade capitalista, em um contexto onde falta tempo e sensibilidade para as pessoas pensarem nas consequências de suas ações. Ele complementou afirmando que se trata de um trabalho coletivo, sendo os indivíduos ineficientes para tratar de fins coletivos. O participante começou a atuar como professor e acredita-se que sua convivência com os alunos – especialmente os de menor nível socioeconômico – possa ter influenciado em sua visão.

“Quando eu estava dando aula, muitos alunos que estavam na escola tinham menores condições, e eu acho que, assim, quanto menos condições a pessoa tem, digo, de vida (...), às vezes tem que trabalhar mais, e, no caso do capitalismo, as pessoas trabalham demais e acaba sobrando pouco tempo para refletirem, ou então acabam nem ligando para isso, porque a vida delas já está problemática demais.” – Participante G2M5.

“A gente esquece (...), mas isso faz parte de um trabalho coletivo. Então, geralmente a gente não é muito bom em lidar com coisas coletivas, você pode ver, mesmo no caso da política: a política é uma coisa para todos também, é uma coisa que depende do fator coletivo.” – Participante G2M5.

G2M5 também mencionou que alguns materiais são de difícil descarte porque não há instruções claras sobre onde depositá-los e tampouco recipientes próximos das residências para facilitar as ações.

“Algumas coisas são meio difíceis de descartar (...), então você, às vezes, não sabe onde vai descartar aquilo, igual eu, às vezes, fico acumulando pilhas aqui em casa, mas não necessariamente sei onde tenho que descartar. Então eu sei que existem locais de descarte na (UNIVERSIDADE), mas às vezes o lugar é longe de onde você mora, e acaba ficando inviável, então tem esse fator também, eu acho, da dificuldade de você descartar uma coisa, não saber onde descartar aquela coisa.” – Participante G2M5.

Uma iniciativa interessante foi mencionada por G2M3. Segundo o participante, a ETE de sua cidade oferece detergentes em troca do óleo de cozinha usado, uma vez que os impactos são tão grandes que o custo da campanha compensa. Ele correlacionou o ato de “receber alguma coisa” com a maior disposição das pessoas em agirem corretamente.

“A estação de tratamento aqui da minha cidade, para fazer com que o povo pare de jogar óleo no esgoto, eles oferecem, tem uma troca, assim, de tanta quantidade de óleo usado [por] um detergente. E para eles sai mais barato do que o custo que esse óleo acaba trazendo para a manutenção depois, na estação de tratamento. E não era para ser necessário, né? Se as pessoas tivessem mais consciência. Mas só ganhando alguma coisa que o pessoal faz esse pouco trabalho a mais.” – Participante G2M3.

No próximo passo, perguntou-se, nos dois grupos, como os participantes resolveriam o problema. Após discussão, questionou-se como a sociedade poderia acessar o conhecimento. No G1, alguns participantes propuseram a aplicação de multas, especialmente para pessoas mais velhas, que classificaram como mais difíceis de sensibilizar. Um deles propôs a instalação hipotética de dispositivos, nas saídas de esgoto das próprias residências, para detectar causadores de problemas de entupimento. A proposta foi, contudo, refutada e considerada inviável por outro participante, que citou como agravante o enorme número de habitantes do País. Nesse contexto, um terceiro participante mencionou que a própria expansão da cobertura de serviços de saneamento contribuiria para a diminuição do problema, uma vez que a falta de água encanada pressupõe situação de vulnerabilidade.

“Eu acho que talvez o jeito mais interessante de lidar com isso é acertar as pessoas no único lugar que elas entendem, né, que é no bolso. O problema é que, assim, vamos supor que a gente invente fazer algum tipo de multa para a pessoa que descarte resíduo de forma não apropriada... Beleza, a lei existe, mas não tem um jeito efetivo de fiscalizar isso, né? Então fica meio difícil de tentar monitorar [quem] está descartando os resíduos aí.” – Participante G1M5.

“O Brasil realmente tem 200 milhões de habitantes e a taxa de saneamento básico (...) eu lembro que não era uma coisa tão alta também, né? Se a pessoa não tem água encanada em casa, é óbvio que ela vai acabar descartando essas coisas fora, né? Que vai acabar chegando. Então talvez aumentar a própria rede de saneamento básico melhore isso.” – Participante G1M2.

Devido às restrições citadas para outras soluções, os participantes do G1 convergiram para a educação e a sensibilização continuadas. Um deles mencionou que a educação – considerada por ele como utópica – deve ocorrer na infância – corroborando as falas do gestor EA3 durante a entrevista –, sendo a aplicação de multas mais eficiente para pessoas mais velhas. Outro afirmou que depende da forma de conscientização, citando o exemplo da baixa eficiência de cartazes da prefeitura, colocados ao longo dos córregos para evitar o descarte de resíduos. Um terceiro sugeriu que devem ocorrer melhorias técnicas – aumentando o alcance do saneamento básico e separando as redes de esgoto e pluvial – combinadas com a conscientização através de campanhas na TV aberta, mostrando imagens impactantes. Ele mencionou que poderiam ser criados dias para destacar a questão da sustentabilidade, com visitas a escolas, e que o resultado seria alcançado a longo prazo. Essas alternativas também foram ressaltadas, nas entrevistas, pelos gestores EA3 e EB.

“Acho que, utopicamente falando, na teoria é ensinar, né? Você chegar para uma criança ou em uma sala ou alguma coisa do gênero e mostrar, fazer mais ou menos o que você está fazendo aqui para a gente (...), fazer ela entender que todo o lixo que ela descarta de maneira errada vai acabar atrapalhando alguém no futuro.” – Participante G1M2.

“O Brasil, que tem uma população de 200 milhões, é um país enorme, é complicado fazer isso. Então acho que a ideia vai voltar sempre para a conscientização. Agora, não é que não exista, né, a conscientização já existe (...). Acho que tudo vai se tratar da forma de conscientização, sabe?” – Participante G1M3.

“Eu acho que, além dessas melhorias técnicas, que são aumentar a rede de saneamento básico e separar a rede de esgoto da de água de chuva (...), tem que ter campanha em TV aberta, tem que ter, sei lá, imagem da estação de tratamento de água na lixeira entupida, falando que isso dá problema. Acho que tem que ter, partindo do governo, das prefeituras, bastante campanha, para que, no longo prazo, [porque] não tem como fazer isso rápido, as pessoas comecem a parar de jogar. Então, sei lá, cria um... Uns dois dias no ano e faz dia do tratamento de água. Aí você ensina as crianças, você passa nas escolas, sei lá, faz alguma coisa assim.” – Participante G1M1.

Por fim, o participante G1M5, que cursa graduação em Jogos Digitais, sugeriu utilizar a gamificação, através de incentivos, como estratégia de convencimento, aproximando-se, sem prévio conhecimento, do cenário proposto neste projeto.

“Já que estou na área de jogos, um jeito interessante talvez seja gamificar a maneira certa de descartar os resíduos, dando algum tipo de incentivo ou algum motivo para quem descarta todo o tipo de resíduo de uma maneira mais correta.” – Participante G1M5.

No Grupo 2, o participante G2M5 iniciou o debate destacando, novamente, a dificuldade de saber onde descartar alguns resíduos, e afirmando que, caso houvesse campanhas explicativas e infraestrutura adequada para a coleta, o problema poderia ser minimizado. Outro participante complementou, acrescentando que essas campanhas precisam ser direcionadas a um contexto local, voltado às instituições de ensino e comunidades, e não a um contexto geral, que se torna mais distante do cotidiano dos usuários. Um terceiro participante ressaltou, contudo, que ações no ambiente escolar dependeriam de organização e cuidado para engajar os estudantes, sendo a educação no contexto da família também importante para incentivar o comportamento adequado, indo ao encontro das falas dos entrevistados EA3 e EB. Por fim, um quarto participante mencionou que é necessário aproximar as pessoas do problema, de alguma forma prática, para que sejam capazes de visualizar claramente as consequências de suas ações.

“Talvez campanhas de conscientização em escolas e comunidades. Porque talvez uma campanha mais global não atenda. Por exemplo, uma campanha de uma cidade talvez não seja tão efetiva quanto a campanha de um bairro, alguma iniciativa da própria escola, alguma coisa que integrasse as crianças e os pais a trabalharem sobre isso (...). Ah, você poderia [dizer]: “vamos fazer uma reunião aqui, você traz o seu lixo e a gente explica como a gente junta, a gente tenta fazer uma separação melhor.” – Participante G2F4.

“Campanha nas escolas eu acho que funcionava para várias crianças, mas lembro também que, com frequência, virava chacota e os meninos só brincavam, não prestavam atenção em nada, sabe? Então, acho que compensa, pelos que acabam aprendendo e tudo o mais, mas acaba vindo um pouco de casa também, se a criança já está em um ambiente que não faz isso, é mais difícil mudar a cabeça, sabe?” – Participante G2M3.

“Não incentivar, mas fazer de alguma forma com que as pessoas tivessem contato com essa situação... Elas vissem, tivessem que participar daquilo de algum jeito que afete elas (...). Quando você vê, está na sua cara, você tem que, sei lá, ajudar a limpar a tubulação, ou alguma coisa do tipo, é algo muito mais [impactante]... Acho que talvez até possa fazer alguma diferença.” – Participante G2F2.

Com relação ao **Bloco 4 – E se houvesse uma plataforma digital para compartilhar esse conhecimento?**, iniciou-se a discussão questionando como poderia ser construída a plataforma. Os participantes do G1 direcionaram sua atenção imediatamente aos aparelhos móveis – smartphones – e redes sociais, que são mais influentes que a televisão e o rádio e, ao mesmo tempo, alcançam as mais variadas classes sociais. G1M3, que cursa Publicidade e

Propaganda, afirmou que o smartphone atinge abrangência nacional, sendo referenciado, em seu campo de estudo, como “primeira tela”. A afirmação corrobora os dados do IBGE (2021a), que quantificam a forte presença dos telefones celulares. Outro participante comentou que propagandas devem ser curtas e diretas, pois o fluxo de informações é atualmente muito rápido e as pessoas não estão dispostas a fixar sua atenção durante anúncios longos. Infere-se que o comentário também seja relevante para o contexto do conteúdo escrito do aplicativo.

“O celular, querendo ou não, tem uma abrangência quase nacional atualmente. O celular já virou a primeira tela, né? Ou que pelo menos em publicidade a gente chama. Antigamente a televisão era a primeira tela. – Participante G1M3.

“Porque você não vai assistir a um vídeo de propaganda de dois minutos. Então acho que eles tinham que dar um jeito de passar essa mensagem de maneira sucinta e rápida, tipo uns dez, quinze segundos, estourando, para passar toda essa mensagem. Para não perder a atenção.” – Participante G1M2.

Um dos participantes de G1 comentou que as intervenções devem ser permanentes, estabelecendo um paralelo com a campanha da dengue, que perdeu evidência devido à pandemia de COVID-19. Outro participante mencionou que a memória das pessoas tende a ser “seletiva”, ou seja, não armazena informações consideradas pouco desejáveis. G1M5, que cursa Jogos Digitais, descreveu uma proposta de gamificação: a partir da quantificação dos resíduos descartados por unidade de tempo, poderia ser estabelecido um sistema de pontuação que, após determinada quantidade de pontos, permitiria a troca por recompensas, em lógica semelhante ao ato de coletar latinhas de alumínio para vendê-las. Outro participante sugeriu que a recompensa pudesse ser vinculada a um desconto na conta de água: embora a ideia seja interessante – e tenha sido aplicada, segundo a literatura, no contexto do AA, para estimular a economia de água –, depende de apoio governamental para a distribuição das gratificações e, no caso do ES, torna-se pouco viável devido à indisponibilidade de método de determinação da quantidade de materiais lançados de maneira correta ou incorreta.

“Teria que entender como quantificar a quantidade de resíduos (...) por tempo (...). E daria uma pontuação básica, mas só contabilizando quando fosse despejado de forma correta e provado que de fato foi feito o procedimento correto (...). Então (...) você ganharia algum tipo de benefício ou até premiação em dinheiro mesmo, algum tipo de cashback, ou um negócio assim. Pensa naquele negócio de catar latinha na rua e vender para o ferro-velho para você poder ganhar algum dinheiro, só que você tenta traduzir essa mesma lógica para o descarte de material.” – Participante G1M5.

Em G2, um dos participantes iniciou o bloco sugerindo que a plataforma deve mostrar não apenas como descartar os materiais corretamente, mas também o porquê, utilizando-se de artifícios como fotos – mencionando as que foram apresentadas durante a reunião – para aproximar as pessoas do problema. Outro participante apontou que a dificuldade de construir um sistema online reside em obter o interesse do público, pois as pessoas tendem a acessar a Internet buscando outros tipos de conteúdo. Ele acrescentou que as ações precisariam estar presentes nos sites mais comuns, como Facebook, Instagram e Youtube, existindo necessariamente o apoio de pessoas influentes para maximizar o alcance, e que o conteúdo deveria ser claro em relação aos procedimentos de descarte de cada material. A participante G2F4, que cursa Arquitetura e Urbanismo, mencionou que um sistema de georreferenciamento poderia ser implementado no software para localizar pontos de coleta de resíduos específicos. Infere-se que a sugestão tenha sido influenciada por seus conhecimentos acadêmicos na área. Ela afirmou, também, que a divulgação seria essencial para o sucesso.

“O maior problema de você fazer alguma coisa online, uma plataforma digital, é o interesse das pessoas em verem isso, porque acho que tem tanta coisa na Internet que a pessoa acaba não se interessando em olhar para esse tipo de coisa, então talvez deveria estar no lugar que é mais propício (...). Então, por exemplo, se eu não aprendo a descartar certos tipos de materiais, não adianta eu saber apenas que estou fazendo errado (...). Assim, “ah, eu quero descartar óleo”, mas eu não sei como devo fazer isso, ou seja, eu sei que não devo jogar óleo na pia, mas eu acabo não sabendo onde descartar ele, então acaba não adiantando.” – Participante G2M5.

“Como a gente conversou [sobre a] dificuldade de onde descartar isso, talvez [houvesse] um geoprocessamento e você soubesse onde seriam os locais próximos de descarte de pilha, de descarte de objetos que não são tão fáceis (...). Uma plataforma prática que você tenha fácil acesso e (...) que tenha que ser divulgada, porque, por mais que seja uma iniciativa muito legal, pode ser que não chegue em grande parcela da população, então talvez não seja tão efetivo.” – Participante G2F4.

Em seguida, o funcionamento do aplicativo desenvolvido foi mostrado em vídeo nos dois grupos focais. Os participantes expressaram diversas perguntas e sugestões. G1M5, que cursa graduação em Jogos Digitais, classificou o software como um “*tower defense* manual”, sendo necessário clicar para remover materiais do esgoto. O participante questionou, a princípio, o design da rede na interface, pois as quatro tubulações estariam direcionadas a um único ponto de encontro, onde o jogador poderia manter sua atenção para facilitar o jogo, ao invés de procurar clicar nas quatro tubulações. Trata-se, contudo, de algo intencional, conforme será visto adiante, sendo a redução da pontuação, ao longo do tempo em que o material permanece na rede, utilizada como critério de balanceamento. Por fim, o participante mencionou, como exemplo, o jogo “Plants vs Zombies”, apresentado na Figura 7.

nível”, conforme disposto na próxima seção. O termo “*sprite*”, utilizado pelo participante, refere-se às imagens dimensionadas e integradas em cenas de maior tamanho em jogos 2D.

“Você citou o exemplo da geladeira. Aí, por exemplo, o *sprite* da geladeira ir passando e, por ele ser um negócio mais resistente, você dar mais cliques em cima do *sprite* para ele não passar, né? Por exemplo, você dá um clique na sacola, dois na garrafinha, alguma coisa do tipo, entendeu?” – Participante G1M4.

O participante G1M5, que possuía conhecimento mais específico sobre jogos, perguntou sobre as funções dos botões posicionados na parte inferior direita da tela, ressaltando que a iconografia deveria ser cuidadosa ao considerar a acessibilidade, pois pessoas com daltonismo não seriam capazes de diferenciar as cores. A versão inicial apresentada não continha os ícones finais para os botões, o que foi explicado para o participante. Contudo, foi também esclarecido que os desenhos haviam sido desenvolvidos considerando a estética, sem focar em aspectos de acessibilidade, o que seria revisto. O participante comentou, ainda, sobre a escolha da plataforma, afirmando que dispositivos móveis são os mais comuns e que, portanto, assumem o papel de mecanismo ideal para aplicativos que buscam amplo alcance. Ainda nesse contexto, ele ressaltou que seria importante ajustar a velocidade do jogo e pensar em mecanismos de assistência ao jogador – algo que havia sido implementado através dos botões de “*power-ups*”. O termo “*alpha*” utilizado pelo participante na fala a seguir refere-se, em desenvolvimento de software, a um produto ainda em fase de construção e testes.

“Tem que tomar cuidado com a iconografia desses botões, porque vocês estão mirando nessa área da acessibilidade, que é acertar o maior público possível, e vocês já começaram bem, porque dispositivo móvel é o que praticamente todo mundo tem (...). Eu sei que está no *alpha*, então está tudo para mudança, mas prestar atenção na iconografia, porque usuários daltônicos não vão conseguir saber discernir direito qual botão faz o quê, porque só tem cor. Então, vocês têm que pensar em uma iconografia que não dependa só de cor, mas de forma também.” – Participante G1M5.

“Na hora de fazer um produto para as massas, você tem sempre que levar a acessibilidade em conta, não só para daltônicos, mas para gente com problemas de coordenação motora também. Talvez seja interessante fazer alguns ajustes, tipo a velocidade do jogo, ou algum tipo de assistência.” – Participante G1M5.

Outro participante mencionou jogos que, segundo ele, fizeram muito sucesso, tanto entre o público jovem quanto entre pessoas mais velhas. Em referência ao quiz, comentou do “Show do Milhão”, programa de televisão no qual era necessário acertar a resposta. Nesse contexto, ele sugeriu que fosse implementado um sistema de perguntas durante a própria coleta de materiais na interface principal, de forma a reforçar a sensibilização dos usuários. A sugestão,

contudo, não foi aplicada à versão final, pois pausaria o fluxo natural da jogabilidade, e as perguntas foram mantidas apenas após a conclusão de cada nível. A expressão “*feature*”, utilizada pelo participante no relato a seguir, refere-se, em desenvolvimento de software, à funcionalidade de um produto.

“Talvez você conseguisse, dentro do jogo, colocar mais momentos de perguntas, eu acho que eles seriam talvez uma *feature* interessante para ensinar as pessoas (...). Enquanto estão essas garrafinhas e as sacolas subindo, dar “momento pergunta”, e aí, se você errar a pergunta, perde ponto (...). Porque eu acho que isso talvez seja interessante para conscientizar as pessoas de onde tem que jogar cada coisa.” – Participante G1M1.

O participante mencionou também o jogo “Perguntados”, baseado em quizzes, afirmando que era, ao mesmo tempo, competitivo e interessante em termos educacionais, sendo capaz de atrair diversos perfis de usuários, dos mais jovens aos mais velhos. Ele sugeriu que uma interação desse tipo poderia ser interessante para o saneamento. A interface do jogo, apresentando o formato das perguntas, está demonstrada na Figura 8.

“E eu lembrei também de dois outros jogos que fizeram bastante sucesso. [Um deles foi] o “Perguntados” (...), que é um joguinho de celular (...) que muita gente jogava (...). Minha mãe não gosta de jogar videogame, mas jogava “Perguntados”, porque ela achava interessante, sabe? E era um jogo competitivo e legal nesse quesito porque tentava meio que ensinar as pessoas, então tinha pergunta de História, de Geografia (...). Talvez uma interação desse tipo, falando sobre saneamento básico, seja interessante também.” - Participante G1M1.



Figura 8: Jogo “Perguntados”

Fonte: GOOGLE PLAY (2021b).

O mesmo participante citou, em seguida, o jogo “Candy Crush Saga”, apresentado na Figura 9, afirmando que o software também agrada pessoas que não têm interesse por jogos eletrônicos. Nesse jogo, o usuário deve trocar a posição de peças – de diferentes formas e cores, representando doces – para criar sequências e fazer pontos. Segundo ele, os motivos para o sucesso seriam a simplicidade, pois as mecânicas se reduzem à manipulação de elementos na tela, e a sensação de progressão. Outros participantes mencionaram que, no jogo, ocorre o lançamento de novos níveis de forma sazonal, existindo uma falsa e estimulante sensação de avanço por “fases infinitas”. O estudante de Jogos Digitais, G1M5, acrescentou que o piso de habilidade – nível mínimo de aptidão exigido do usuário para progredir – de “Candy Crush Saga” é muito baixo, o que torna o jogo “fácil”, e que existe um sistema de “progressão granular”, ou seja, mesmo a menor das ações resulta em feedback ou recompensa.

“Eu não sei se você chegou a estudar por que “Candy Crush” fez sucesso ou por que atingiu tantas pessoas, mas eu acho que talvez valha a pena dar uma olhada e pensar como criar um sistema semelhante ao “Candy Crush”, que pode trazer mais gente para poder aprender.” – Participante G1M1.

“Acho que adicionaram progressão granular (...). Toda vez que você faz, seja qual for, a menor das ações, ele te dá algum tipo de recompensa ou de feedback por conta disso (...). O “Candy Crush” tem, acho, *level* infinito (...), eu já ouvi falar caso de gente que [alcançou] uns *levels* muito grandes no “Candy Crush”, então, muitas das vezes, as pessoas gostam de continuar progredindo nesses jogos mais pelo poder de ficar se gabando mesmo, sabe? - Participante G1M5.



Figura 9: Jogo "Candy Crush Saga"

Fonte: GOOGLE PLAY (2021a).

No aplicativo desenvolvido neste trabalho, conceitos como o de progressão granular estão presentes por meio de um sistema de pontuação e upgrades, combinado a um mecanismo de ranking que cria a sensação de avanço por fases ilimitadas. As mecânicas também são simplificadas, conforme será apresentado na seção 4.2. Ainda pensando na progressão, outro participante sugeriu que fossem criados “*achievements*” – termo utilizado, na ciência de jogos, para se referir a objetivos delineados para os jogadores “conquistarem”. De certa forma, conquistas estão implementadas no próprio sistema de upgrades do jogo. Os participantes do G1 mencionaram, por fim, que o software deve manter a simplicidade para fazer sucesso, e que consideraram o visual interessante por apresentar uma temática “retrô”.

“Talvez ter *achievement*, né? Porque faz a pessoa querer conseguir alguma coisa. E aí, quando ela consegue, joga uma mensagem junto, tipo: “ah, você conseguiu fazer tal coisa e com isso melhora xis coisa.” – Participante G1M2.

G1M5 concluiu a sessão ao mencionar a temática de *serious games* – identificando o software desenvolvido neste trabalho como um – e a existência de diversos exemplos de impacto social. O participante mencionou o jogo “Darfur is Dying”, descrito na sessão 2.3.

“Como vocês estão fazendo um *serious game*, caso precisem de algum tipo de referência ou parâmetros de design, vocês [podem dar] uma pesquisada mais a fundo nesse objeto de *serious game* porque tem muita coisa de impacto social. O *serious game* serve exatamente para isso. Então, acho que o único jogo de *serious game* que eu consigo pensar direto agora é o “Darfur is Dying” (...), que é um jogo em que você tem que buscar água para um membro da sua família e tem toda essa pegada da conscientização social mesmo.” – Participante G1M5.

No Grupo 2, um dos participantes iniciou o debate comentando sobre a importância de explicar a função de cada módulo acrescentado à ETE através dos upgrades. Ele sugeriu que fosse implementada uma interface adicional mostrando a estação de tratamento em detalhes. A sugestão foi adaptada, focando em cada equipamento da ETE, na versão final.

“Não sei se é uma opção, mas talvez ter uma tela separada, um menu onde você clica para retirar o lixo e tem essa interface com os quatro botões, e outra tela que mostra a estação em mais detalhes, e você pode mexer por ela, ver os detalhes e fazer os upgrades.” – Participante G2M1.

O participante G2M5 valorizou a utilização do código QR e a proposta de inseri-lo em embalagens de produtos, afirmando que o mecanismo é muito relevante para a visualização. Ele complementou o raciocínio ressaltando a importância do papel tradicional da escola, sugerindo que a utilização do aplicativo deva ser incentivada no ambiente estudantil, onde

existem maior probabilidade de haver interesse por parte do usuário e possibilidade de recompensar os alunos com pontos. O participante atua como professor e, portanto, infere-se que tenha visão diferenciada sobre o papel da escola. Outro participante comentou que o uso do software poderia ocorrer durante aulas de informática.

“Eu achei boa a ideia que você tinha falado do código, porque mesmo [que] as pessoas acabem não acessando, elas pegando às vezes o código no supermercado e não acessando (...), eu acho que a questão da visualização acaba sendo importante (...).” – Participante G2M5.

“Como a pessoa vai querer jogar o jogo? (...). Apesar de você mudar a metodologia e mudar um tanto de coisa, você acaba vendo, no final, que é importante ter a diversificação da metodologia, mas é importante também o papel da escola, conservador, de não forçar, mas pegar um pouco mais forte naquilo, porque senão as pessoas não vão fazer. Então, acho que na escola talvez poderia [ser bom], porque às vezes, em casa, a pessoa não teria incentivo, ela poderia estar querendo fazer outra coisa, então eu acho que acaba sendo um jogo mais educativo. Mas também acredito que a pessoa possa jogar em casa, acho que tudo, assim... Tudo depende da pessoa, é claro.” – Participante G2M5.

Um terceiro participante acrescentou que a utilização do jogo pode ser combinada com outras metodologias de ensino, como visitas a ETEs, para reforçar o aprendizado, destacando que a compreensão dos mecanismos de tratamento pode ser complexa para pessoas mais jovens. Afirmou, também, que o jogo atua de forma mais interativa, o que facilita a memorização, sendo mais efetivo que explicações em livros. Outro participante corroborou as ideias e sugeriu que houvesse alguma forma de forçar o interesse pela leitura. Essa consideração foi abordada no aplicativo ao permitir a compra de itens, na loja de upgrades, apenas após a leitura de textos, e ao atribuir peso significativo às questões do quiz.

“Eu gostei da ideia do jogo, também gostei da interface, achei muito bonitinho (...). Também obrigar [as pessoas] a lerem as informações, porque acho que é importante. Eu também já li sobre isso, era em um livro com imagem e uma página de texto, assim, não foi uma coisa que prendeu (...). Então, eu acho que você fazer desse jeito diferente, mais interativo, para as crianças terem mais interesse de aprender sobre isso, é algo bem [mais] legal [...] que você ler e ouvir, e ver uma imagem com números falando o que faz cada parte, e só isso.” – Participante G2F2.

Um dos participantes sugeriu que fosse implementado um sistema de “waves”. O termo é utilizado na ciência de jogos para se referir a “ondas” de inimigos enviadas em intervalos de tempo preestabelecidos, alterando o nível de dificuldade conforme o avanço do jogador. Outro participante mencionou, como exemplo da mecânica de ondas, o jogo “Bloons Tower Defense (Bloons TD)”, afirmando ser muito popular e lembrar o funcionamento do aplicativo em desenvolvimento, possuindo também um sistema de upgrades. Nesse jogo, apresentado na

Figura 10, balões são enviados em “ondas”, percorrendo caminho pré-determinado, sendo o jogador responsável por posicionar e melhorar “torres” automáticas de defesa. Ressalta-se que esse jogo tem mecânicas que se assemelham às do “Plants vs. Zombies”, mencionado durante o G1. No aplicativo desenvolvido neste trabalho, adotou-se a sugestão das “waves” associada à mecânica de “chefe de nível”, descrita na seção 4.2, além de progressão de dificuldade.

“Eu acho interessante ter *waves*, tipo assim, num momento quase não chega lixo, de repente começa a chegar mais e você vai tendo *waves* cada vez mais difíceis, para ter essa progressão.” – Participante G2M1.

“É um jogo muito popular [o “Bloons TD”], então eu acho que é bom pegar umas ideias dele (...). Porque é realmente muito divertido.” – Participante G2M3.



Figura 10: Jogo “Bloons TD 6”

Fonte: STEAM (2018).

O participante G2M5 sugeriu que o verde utilizado na interface do aplicativo poderia ser mais “suave”. Nesse caso, ressaltou-se que as cores em qualquer software podem variar consideravelmente a depender da tela do dispositivo onde o material está sendo visualizado, e que a escolha por cores “vivas” está relacionada ao intuito de tornar o ambiente do jogo mais “alegre” para o público jovem. Ele acrescentou que o conteúdo textual deveria ser o mais curto possível, para evitar a perda do interesse, tomando como referência sua própria experiência, com alunos e colegas, ao exercer a atividade de professor. Ao elaborar os textos do aplicativo, buscou-se utilizar frases curtas, evitando termos técnicos, de forma a contornar esse problema. Por fim, G2M5 comentou que a pesquisa deveria ser realizada também com pessoas de classes sociais e níveis de escolaridade diferentes.

“Um amigo meu tinha feito um jogo de cartas com Termodinâmica e uma coisa que você percebe, logo de cara, é que diminuir o texto, assim, o máximo possível, fazer algo mais objetivo, [aumenta o interesse] (...). Não necessariamente precisa ser muito objetivo, porque senão você não consegue falar o que quer, mas acaba tendo, às vezes, no jogo, o texto muito grande ou alguma coisa do tipo, e as pessoas acabam perdendo o interesse.” – Participante G2M5.

4.1.4 Identificação de lacunas de compreensão e pontos relevantes

Antes de analisar as potenciais lacunas de compreensão do público de interesse, é necessário destacar a existência de lacunas no próprio ambiente acadêmico. Nas entrevistas, o gestor EA3 mencionou o baixo interesse da academia em pesquisas voltadas ao tratamento preliminar, algo que se reflete na pouca exploração de possibilidades de reaproveitamento dos materiais coletados, conforme apontado por Borges, Campos e Ferreira (2017). Nos dados fornecidos pela ETE B, a massa dos resíduos sólidos não era indicada separada da massa da areia. Trata-se de algo comum a diversas ETEs que, infelizmente, pode ter relação com a ausência de alternativas, tendo em vista que o destino de todo o material do tratamento preliminar acaba sendo o aterro sanitário.

Na análise dos dados quantitativos ficou evidente a grande parcela de areia retirada dos desarenadores das ETEs, algo confirmado nas entrevistas e na literatura (PRADO, 2006, SILVA; CARVALHO, 2007). Nos grupos focais, porém, esse material sequer foi mencionado, e os participantes ficaram surpresos ao perceberem que se tratava de um grande problema. A contribuição por ligações irregulares de águas pluviais – onipresentes no Brasil, segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (1999) – foi destacada durante as entrevistas, mas também não foi mencionada voluntariamente nos GFs. Percebe-se, então, que o problema das contribuições pluviais pode não ser claro para a população, algo reforçado pelas próprias falas de alguns participantes, que afirmaram que jamais pensaram no assunto.

A separação entre o ES e o MAP pareceu confusa nos GFs. Em diversos momentos o problema do descarte de detritos no esgoto foi relacionado, de forma generalizada, às estruturas e às falhas de MAP, sem que houvesse foco nas ligações irregulares propriamente ditas. Infere-se que os participantes poderiam estar imaginando o princípio de funcionamento de sistemas unitários. Acredita-se que o ambiente escolar brasileiro não agregue discussões relacionadas ao saneamento, no conteúdo de formação básica, com a profundidade que merecem. Logo, a definição dos quatro componentes pode ser subjetiva para a população.

Não é obrigação dos usuários conhecer termos técnicos ou o princípio de funcionamento, mas alguns conceitos básicos deveriam ser tratados de maneira mais adequada nas instituições de ensino. Isso é reforçado ao observar que também houve menções ao “tratamento de água”, enquanto o participante queria se referir ao “tratamento de esgoto”.

O óleo de cozinha, material classificado como altamente impactante por diversas referências da literatura e pelos gestores entrevistados, foi prontamente identificado por participantes dos dois grupos. Em ambas as sessões, embora não conhecessem o termo, os participantes construíram descrições da formação de “*fatbergs*”, cujo problema foi ilustrado por Wallace *et al.* (2017). Pelos e cabelos, ainda que destacados pela CSJ (2020) e pontuados como elementos centrais pelos entrevistados, foram mencionados muito brevemente e em apenas um dos GFs. O participante em questão pontuou o material como “comum” e por isso ficou surpreso ao conhecer a extensão do impacto.

Produtos de higiene pessoal, muito embora sejam comuns no ambiente do banheiro, também foram reconhecidos em apenas um dos grupos, sendo citados, como exemplos, fio dental e absorvente. Nas entrevistas, por outro lado, foram destacados de forma muito incisiva, sendo identificados, além de absorventes, preservativos, tubos de creme dental e outros. Os participantes dos GFs compreenderam as consequências desses lançamentos, especialmente no caso dos absorventes, mas ficaram surpresos ao visualizarem os impactos pois, como relataram, o descarte desses materiais não seria comum. O risco de contágio por doenças não foi associado aos detritos. Sacolas plásticas, garrafas e outros resíduos sólidos de maiores dimensões foram mencionados durante os grupos, relacionados tanto ao ES quanto ao MAP – muitas vezes misturados.

O público participante dos grupos focais, além de atender ao critério de idade, foi caracterizado por elevado nível de formação acadêmica: conforme apresentado no Quadro 3, todos os envolvidos haviam cursado ou estavam cursando a graduação. Portanto, infere-se que o alto padrão de escolaridade possa ter influenciado nas respostas, sendo identificados alguns materiais que poderiam não ser visualizados por outros perfis populacionais. O participante G1M4, por exemplo, trabalha na área médica e, diante de sua própria vivência, demonstrou preocupação com materiais provenientes desse setor. G1M2, por sua vez, lida com produtos químicos e, portanto, pôde identificar e mostrar a relevância de problemas associados a fármacos e hormônios. Esse resultado reforça, ainda mais, a importância da educação para o

contexto do saneamento: os conhecimentos específicos adquiridos tornaram os participantes mais atentos. Entende-se, portanto, que a divulgação generalizada dessas informações poderia contribuir para modificar visões da população sobre a questão.

O elevado nível de escolaridade pode estar associado, também, a maior nível socioeconômico. Ressalta-se, portanto, que o perfil dos participantes não representa – e nem objetiva representar – toda a população. O conhecimento escolar e acadêmico, especialmente na área de Química, pode ter facilitado a identificação das consequências do descarte do óleo. Esperava-se, antes da realização do estudo, que esse resíduo não fosse citado ou que aparecesse brevemente. Seriam necessárias, então, novas pesquisas para determinar se outros perfis populacionais, com menor acesso a esse tipo de informação, identificariam o problema associado a O&G, uma vez que, conforme apontado pelos próprios participantes, existe uma tendência de lançamento de materiais líquidos em pias.

Uma ressalva também deve ser feita quanto à própria metodologia de listagem dos materiais. A identificação de um elemento por um participante não implica, necessariamente, que os demais seriam capazes de identificá-lo. Além disso, alguns materiais foram brevemente mencionados, sem que houvesse conhecimento da frequência de aparecimento nas redes de coleta de esgotos e ETEs ou de todas as consequências associadas. Acredita-se que a compreensão do problema, em toda a sua extensão, seja fundamental para convencer o usuário a debater o assunto com outras pessoas, uma vez que, conforme apontado por Thomas *et al.* (2003), a disposição para executar uma ação sanitária depende não apenas da identificação do problema, mas principalmente da visualização de consequências e benefícios. G1M2 e G1M4, por exemplo, sugeriram indiretamente a falta de consciência de seus colegas de trabalho. Pergunta-se, porém, se os participantes tomaram ou tomariam alguma providência para a sensibilização dessas pessoas.

Outro ponto a se considerar está relacionado à separação entre o que os participantes realmente visualizaram ser lançado, onde isso de fato ocorreu e o que simplesmente imaginaram ser lançado. Embora as perguntas tenham sido feitas de forma separada, a mistura dos assuntos pode ter acontecido. Além disso, caso os descartes tenham sido realizados no contexto de vivência diária dos participantes, a utilização da terceira pessoa pode ter contribuído para que se sentissem mais à vontade (ou menos constrangidos) ao debater sobre o assunto. Apesar do óleo, por exemplo, ter sido identificado como um problema, diversos

participantes relataram terem visto o lançamento incorreto em aparelhos sanitários. Seria necessário considerar onde e em que contexto os lançamentos ocorreram para estabelecer relações com a falta de sensibilização.

Observações interessantes decorrem do descarte do papel higiênico. Durante a realização dos grupos focais, as falas indicaram um entendimento de que o lançamento do material em bacias sanitárias – visualizado, na prática, por alguns participantes – seria inapropriado. Nas entrevistas, por outro lado, um gestor identificou a atitude como incorreta, enquanto outro afirmou depender da composição do papel e um último sugeriu que seria aceitável. Não houve, portanto, consenso. Ressalta-se que a literatura indica existir, no Brasil, problema relativo ao controle da composição desse material, afetando sua capacidade de desintegração na água (BROCHADO, 2018), mas, simultaneamente, impactos relacionados a esse detrito não foram mencionados diretamente pelos gestores nas entrevistas – talvez porque casos de entupimento tendam a ocorrer em trechos de tubulação mais próximos dos domicílios, e não tão próximos da ETE.

A necessidade de serem adotadas medidas educativas foi identificada e valorizada em todas as sessões de entrevistas e grupos focais. Durante as entrevistas, contudo, houve o estabelecimento de correlações entre o menor nível socioeconômico e o maior descarte de materiais nos aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos. Destaca-se que as falas poderiam sugerir, portanto, a culpabilização da população mais vulnerável. De fato, dadas as profundas desigualdades socioeconômicas do País, a população de menor renda tende ao menor acesso à educação, o que, conseqüentemente, poderia impactar em sua percepção do problema. Ressalta-se, porém, que não se trata de simples opção, mas de contexto de falta de oportunidades. Este trabalho não objetiva culpar qualquer indivíduo pelo problema, mas combater as desigualdades, fornecendo um meio mais inclusivo em busca da universalização do acesso à informação.

Evidencia-se, para o melhoramento do aplicativo, a importância de terem participado, nos grupos, pessoas com conhecimentos específicos distintos, uma vez que valiosas sugestões, considerando diversas perspectivas, foram coletadas. Embora algumas ideias não sejam viáveis ou não possam ser implementadas no contexto deste trabalho, forneceram interessantes contribuições para projetos relacionados. A participante que cursa Arquitetura e Urbanismo, por exemplo, indicou a possibilidade de serem utilizados mecanismos de

georreferenciamento para mostrar, em módulo separado, locais onde determinados materiais podem ser descartados no mundo real. O participante da área de Publicidade, por sua vez, preocupou-se com mecanismos de divulgação e atratividade. O participante formado em Física, que trabalha na área de educação, atentou para a utilização do software no ambiente escolar. Essas ocorrências destacam a natureza multidisciplinar do saneamento.

A presença de um desenvolvedor de jogos foi essencial, tendo em vista sua atuação para levantar importantes aspectos relativos ao funcionamento do aplicativo, sendo citados exemplos. Além disso, sua participação reforçou a identificação do software desenvolvido como um *serious game* e validou a adequabilidade de diversas escolhas tomadas, como o foco na plataforma Android. É interessante citar, porém, que os participantes, de forma geral – mesmo aqueles com formações acadêmicas completamente diferentes –, participaram ativamente do último bloco do estudo, fornecendo sugestões precisas sobre jogos e utilizando, inclusive, termos técnicos característicos da área. Esse nível de entrosamento reforça o já esperado contato dessa faixa etária com jogos digitais, sendo difundidos mesmo alguns conhecimentos específicos sobre esse tipo de software.

Conclui-se que as entrevistas e os grupos focais, de forma geral, apresentaram resultados convergentes – salvo algumas exceções – e que corroboraram a revisão de literatura apresentada na seção 2. A identificação de impactos dos materiais nos GFs foi superior à esperada – algo que pode ter relação com o perfil de escolaridade dos participantes –, assim como os níveis de entrosamento e interesse pelo aplicativo.

4.2 Apresentação do software

Embora o foco do aplicativo seja o público jovem, objetivou-se, desde o início de seu desenvolvimento, alcançar maior número de pessoas, visando à sensibilização com a maior amplitude possível. Dessa forma, funcionalidades foram pensadas para tornar o software interessante para o público jovem e, ao mesmo tempo, acessível para outros usuários, levando-se também em consideração as heurísticas definidas por Wilson *et al.* (2017). Destaca-se que, não obstante o aplicativo possa ser buscado a partir do interesse de se aprender sobre o assunto, principalmente se houver incentivo por parte de instituições educacionais, admite-se que grande parte dos acessos estarão relacionados à busca por entretenimento. Portanto, foram direcionados esforços para a fixação do interesse.

Nas etapas de planejamento e especificações, em reuniões realizadas entre o Autor e o Programador, percebeu-se a dificuldade de serem elaboradas mecânicas para tratar do tema analisado. Após pesquisar-se o histórico de jogos digitais contemporâneos que alcançaram sucesso entre os jovens, lançou-se a ideia de tomar como referência a série de jogos “Guitar Hero”, ilustrada na Figura 11. Nesses jogos, o jogador deve pressionar botões na ordem em que os ícones passam pelo limite da “guitarra”, no canto inferior da tela, respeitando-se o tempo para cada acerto. Há também uma mecânica de *power-up*, que aumenta a pontuação temporariamente através do pressionamento de um botão. O jogo fez sucesso em inúmeras plataformas devido às mecânicas simples e agradáveis.



Figura 11: Jogo “Guitar Hero III – Legends of Rock”

Fonte: IGN BRASIL (2020).

Outro software tomado como referência foi Timberman, apresentado na Figura 12. Nesse jogo, o jogador deve ser capaz de direcionar sua atenção, simultaneamente, a dois lados de uma árvore, desviando-se dos obstáculos conforme a madeira é cortada. Além da jogabilidade baseada em mecânicas simples – assemelhando-se, de certa forma, ao pressionamento de “notas” de Guitar Hero –, o aplicativo destaca-se pelo visual retrô característico. Jogadores podem competir, através de conexão com a Internet, para determinar quem consegue permanecer no jogo por mais tempo, fazendo maior número de pontos.

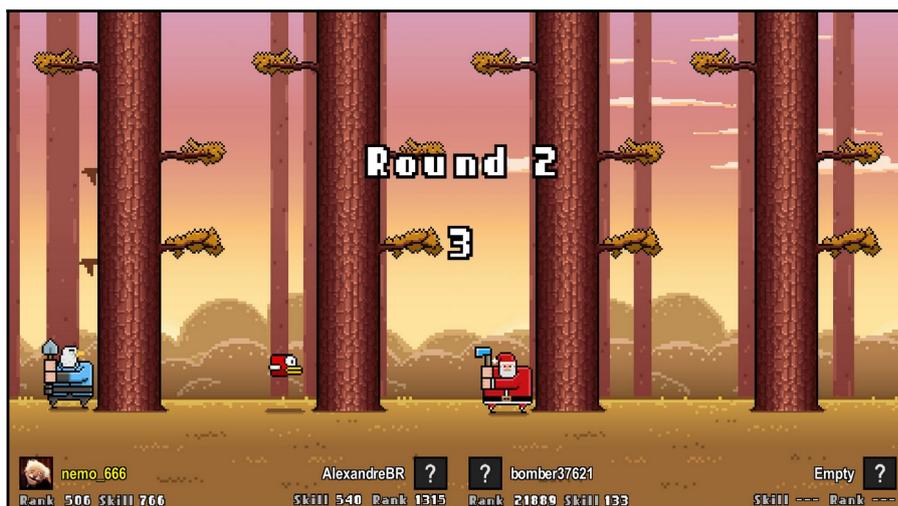


Figura 12: Jogo "Timberman"

Fonte: STEAM (2015).

Na etapa de design, buscou-se adaptar a mecânica do pressionamento ritmado de botões para o contexto do lançamento de materiais em aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos. O primeiro protótipo visual elaborado consistia em malha composta por nove tubos (T1 a T9), em sentido vertical, abertos na parte inferior – simulando conexões com residências – e conectados com a tubulação principal da ETE, ilustrada no canto superior direito da tela (Figura 13). Na parte superior esquerda estariam presentes duas barras (EXP e By-Pass), sendo uma delas utilizada para representar pontos de experiência (EXP), enquanto a outra seria definida como “Barra de Extravasamento”, atuando como mecanismo de simulação da sobrecarga da ETE por ligações pluviais irregulares. A representação conceitual elaborada e proposta para o INCT ETEs Sustentáveis está apresentada na Figura 13.

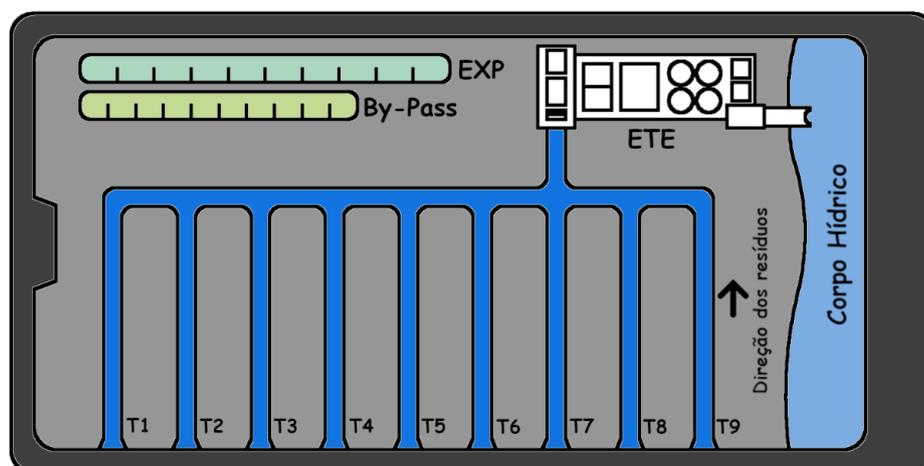


Figura 13: Primeiro modelo conceitual do aplicativo

Fonte: Autor (2020).

Materiais seriam lançados simultaneamente em múltiplos tubos, em intervalos irregulares de tempo, e fariam o percurso em direção à ETE. O usuário precisaria coletá-los, tocando-os antes que alcançassem a estação. Para simular o problema de entupimento das tubulações, alguns elementos ficariam presos ao longo do caminho, sendo necessário tocá-los múltiplas vezes para liberá-los, enquanto o recebimento de pontos estaria interrompido. A “Barra de Extravasamento”, por sua vez – assemelhando-se ao efeito de *power-up* de “Guitar Hero” –, avançaria progressivamente, simulando o aumento da descarga de águas pluviais. Caso atingisse o limite, provocaria a sobrecarga e o extravasamento na ETE, resultando em penalização na pontuação e animação de poluição no corpo hídrico. O jogador precisaria investir em um mecanismo de “*cooldown*” – termo utilizado no desenvolvimento de jogos para designar ações que interrompem a progressão de algum efeito negativo – para esvaziar a Barra antes do enchimento. Haveria, também, um sistema de upgrades, onde pontos poderiam ser investidos para expandir e aprimorar a infraestrutura do tratamento, oferecendo vantagens na jogabilidade.

O conceito foi revisado pela equipe do INCT ETEs Sustentáveis e pela Orientadora. Ressaltou-se a necessidade de ser alterada a posição do corpo hídrico, para evitar a interpretação de que estivesse “subindo”, de serem representados os domicílios entre os tubos, para ilustrar o lançamento dos materiais pela população, e de se adequar o dimensionamento do interceptor e do canal de descarga do efluente tratado para que fossem condizentes com o aumento progressivo da vazão.

Considerou-se, ainda, junto ao Programador, que o número de tubulações estava exagerado, o que resultaria em menor representação gráfica dos materiais lançados na rede, dificultando a visualização. Além disso, haveria prejuízos à jogabilidade, tendo em vista o reduzido tamanho das telas de smartphone, o que ocasionaria impedimentos para o dimensionamento dos *hitboxes* – áreas que registram o toque para cada material coletado, maiores que as artes referentes aos resíduos – e resultaria em cliques em falso. Destacou-se que a mecânica de evitar o extravasamento precisaria ser correlacionada a eventos chuvosos, e que ações de limpeza nas tubulações precisariam ter algum tipo de relação com o trabalho de operadores. Em algum momento precisaria ser também indicada a capacitação continuada destes como prerrogativa para o bom desempenho do serviço. O primeiro protótipo desenvolvido, já considerando diversas das correções mencionadas, está apresentado na Figura 14.

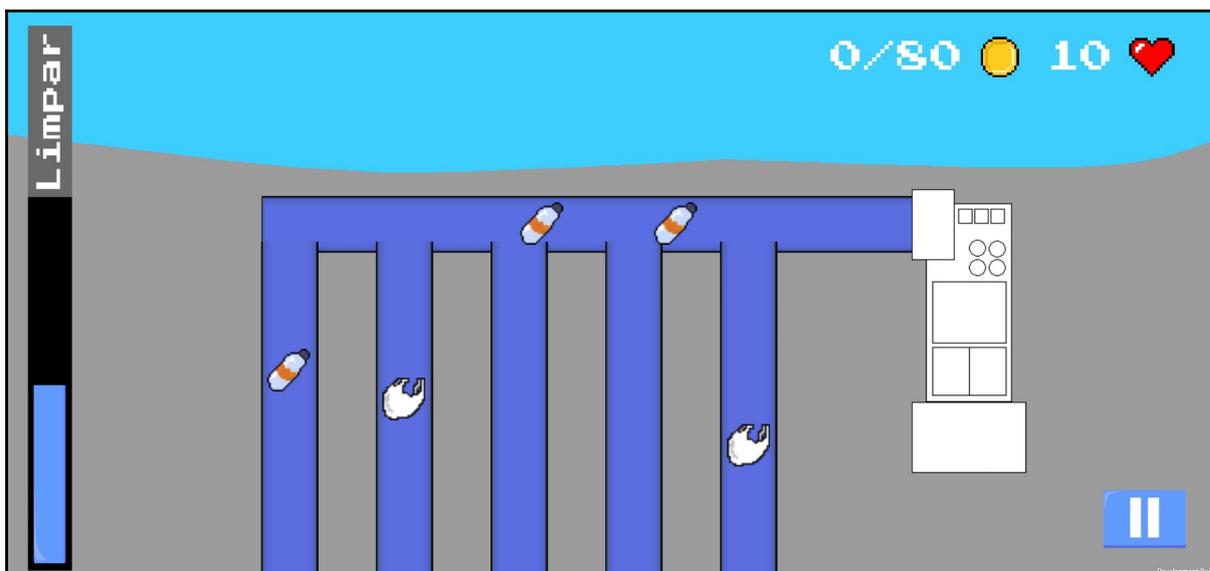


Figura 14: Primeiro protótipo do aplicativo

Fonte: Autor (2020).

A próxima etapa consistia no desenvolvimento, pelo Autor, do projeto CAD da interface. Elaborou-se, a princípio, modelo que priorizaria a visualização da ETE – tomando como referência uma estação automatizada baseada em tratamento por lodos ativados – e forneceria inúmeras opções para a expansão da capacidade de tratamento através de upgrades. Este encontra-se apresentado na Figura 15.

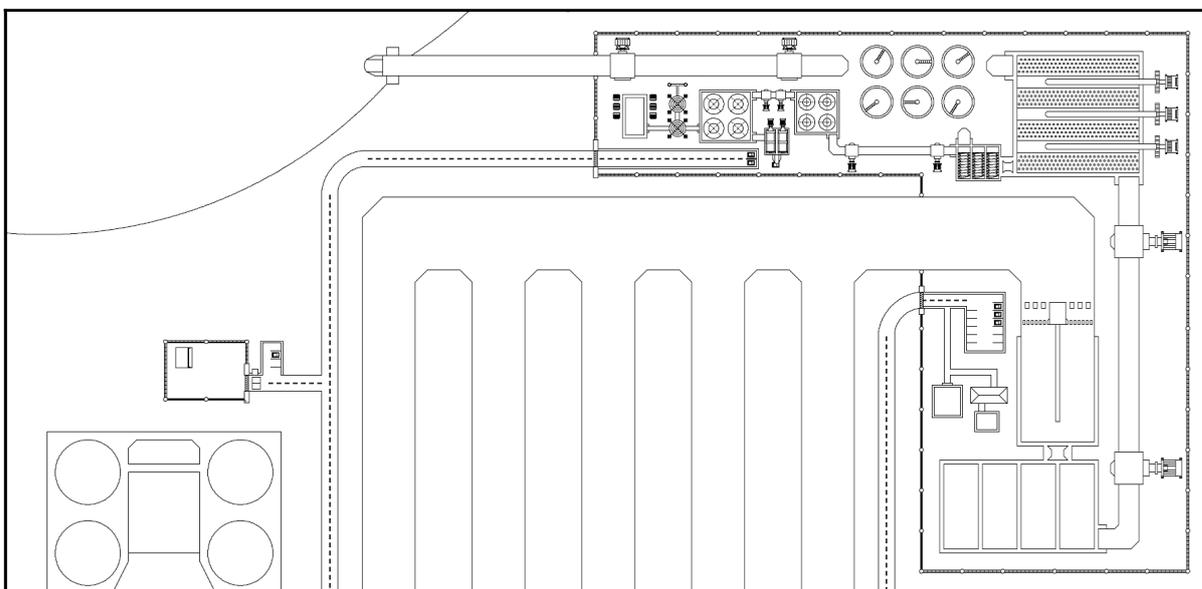


Figura 15: Primeiro projeto CAD da interface do aplicativo

Fonte: Autor (2020).

Constatou-se que o projeto, apresentado à equipe do INCT ETEs Sustentáveis e à Orientadora, desviou-se do objetivo inicial, dando mais atenção ao funcionamento da ETE que ao problema dos materiais incorretamente lançados na rede. Seria necessário adotar modelo de ETE mais sustentável, focado na recuperação de detritos, substâncias e subprodutos, que fosse capaz de demonstrar aos usuários os benefícios das operações, em consonância com o contexto do INCT ETEs Sustentáveis. Além disso, o número de tubulações foi reduzido de cinco para quatro, considerando-se o princípio de simetria para melhorar o conforto ao jogar – cada dedo, ao tocar na tela do smartphone, estaria direcionado a duas tubulações. O modelo foi refeito, sendo a segunda versão apresentada na Figura 16.

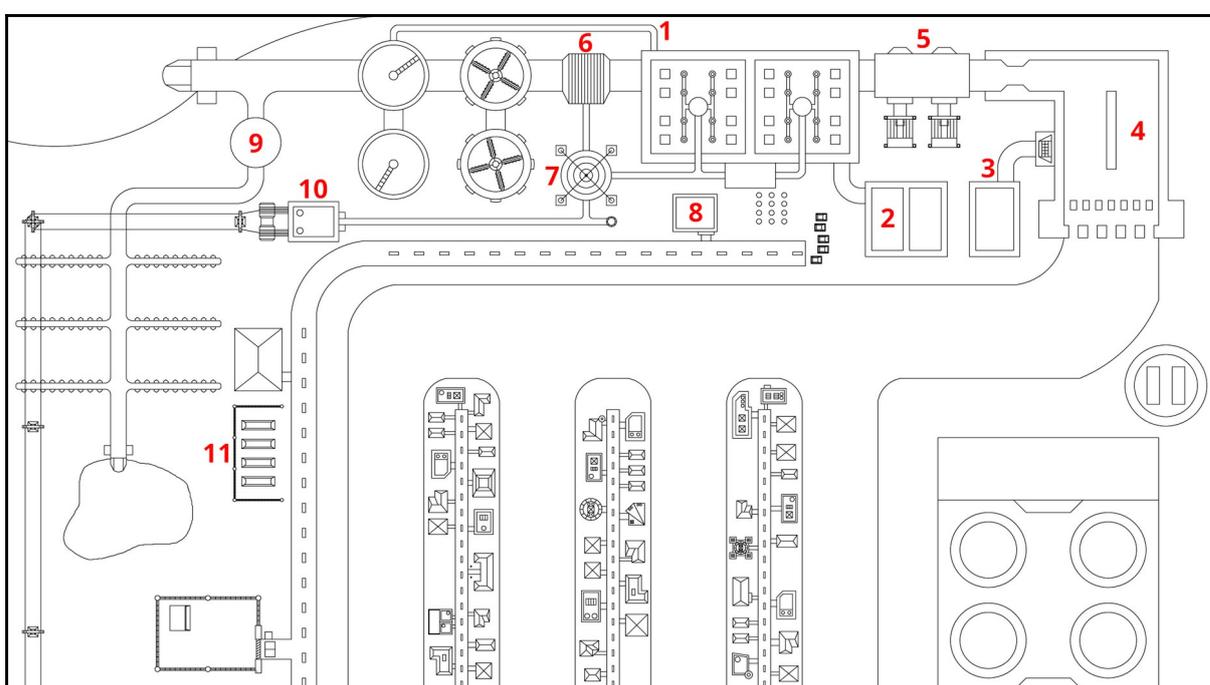


Figura 16: Segundo projeto CAD da interface do aplicativo

Fonte: Autor (2020).

A segunda versão, contendo modelo de ETE baseado em tratamento por UASB, foi também avaliada. Constatou-se que, embora a redundância na infraestrutura fosse interessante para estabelecer um paralelo com a realidade – uma vez que sempre devem existir pelo menos dois equipamentos de cada tipo, evitando assim a parada do tratamento em emergências –, não era essencial para os objetivos do aplicativo, tendo em vista que se trata de assunto específico e voltado ao campo da Engenharia. Optou-se, então, por remover unidades duplicadas, de forma a privilegiar a visualização de mecanismos voltados à sustentabilidade. Visando à simplificação, foi também removida a tubulação de retorno do lodo (nº 1, Figura 16).

Dentre os mecanismos voltados à sustentabilidade, no canto superior direito, haviam sido considerados leitos de secagem de lodo (nº 2, Figura 16) e um equipamento de triagem de resíduos sólidos e areia (nº 3), direcionando-os à secagem para reaproveitamento. Contudo, ponderou-se que leitos estão geralmente associados a ETEs de maior porte, algo incompatível com o tamanho do município representado. Portanto, adotou-se modelo de desidratação mecânica. O reaproveitamento dos materiais do sistema preliminar, por sua vez, estaria distante da realidade nacional – assim como em outros países –, e foi desconsiderado, sendo caçambas posicionadas para sugerir envio do material ao aterro sanitário.

Outras adequações foram realizadas: alteração das dimensões do tratamento preliminar (nº 4, Figura 16) e da estação elevatória (nº 5) para correção de escala; diminuição e alteração do modelo da câmara de dessorção de gases (nº 6); colocação de filtro após o reservatório de biogás (nº 7); reposicionamento do prédio de administração da ETE (nº 8); divisão do dispositivo de armazenamento de água (nº 9) em unidade de desinfecção e armazenamento para fertirrigação; aumento e reposicionamento da unidade de geração de energia elétrica (nº 10); e reposicionamento da unidade de gerenciamento de lodo, com higienização por processo de compostagem (nº 11), em local próximo à ETE, deixando de sugerir que houvesse responsabilidade por parte da população. A versão final do projeto CAD, após correções, está demonstrada na Figura 17.

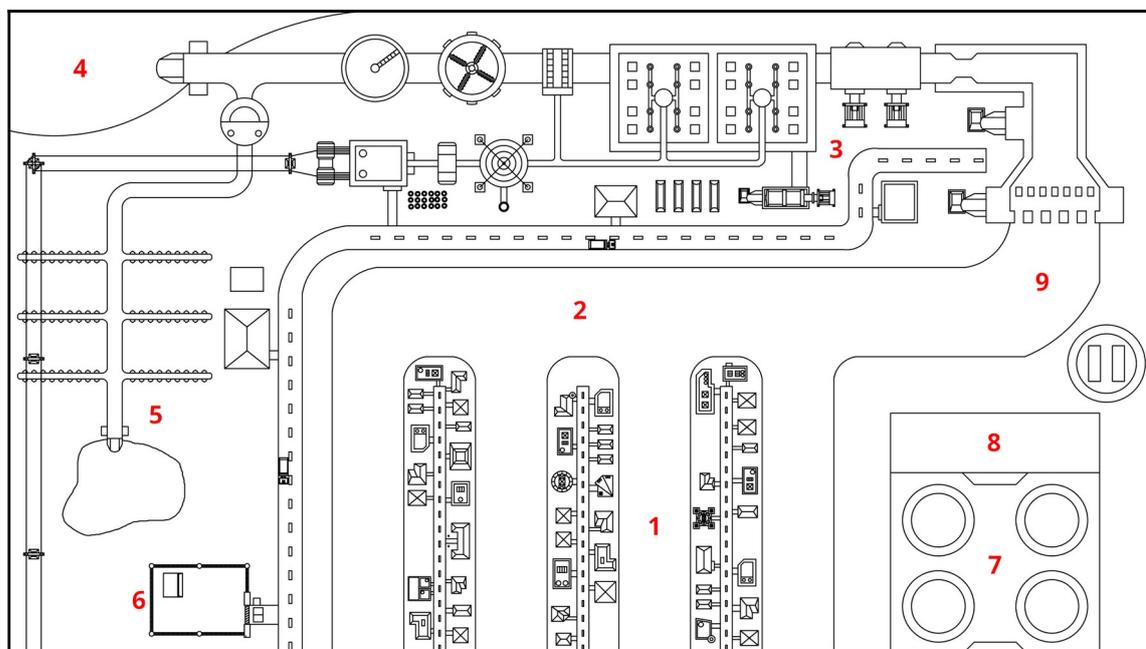


Figura 17: Versão final do projeto CAD da interface do aplicativo

Fonte: Autor (2020).

Na versão final, portanto, o componente central da interface é a malha de quatro tubulações verticais que partem do limite inferior da tela (nº 1, Figura 17) e são conectadas a um interceptor horizontal (nº 2), simbolizando uma rede de coleta de esgotos. A ETE (nº 3) encontra-se ilustrada na parte superior direita da tela, enquanto a parte esquerda apresenta um corpo hídrico (nº 4) – onde ocorre a disposição final do efluente tratado – e uma área de recuperação ambiental, onde são ilustrados meios de reaproveitamento dos subprodutos da ETE (nº 5) e o aterro sanitário (nº 6), destinação final apropriada para os detritos. No canto inferior direito encontra-se um painel de controle com quatro botões (nº 7) e a estrutura denominada "Barra de Extravasamento" (nº 8).

Ressalta-se que os quatro tubos na interface direcionam o fluxo líquido a um único ponto de entrada na ETE (nº 9, Figura 17), algo destacado durante um dos GFs. A decisão de manter a chegada dos materiais concentrada nessa curva baseou-se justamente na redução do piso de habilidade necessário para jogar, permitindo que pessoas com menor coordenação motora possam focar em apenas um local. Contudo, como forma de balanceamento, incentivando-se a coleta dos materiais o mais rápido possível ao longo do trajeto, adotou-se um sistema de pontuação locacional, com redução considerável do número de pontos concedidos caso os materiais permaneçam muito tempo na rede. Dessa forma, foi possível criar oportunidades tanto para o público casual quanto para o público competitivo. Além disso, a concentração dos materiais em único ponto facilita também a jogabilidade através do mouse, na versão para computadores – que seria muito difícil de outra forma, tendo em vista que apenas um mecanismo de interação está disponível, ao contrário da versão para smartphones, onde dois dedos podem ser usados simultaneamente.

A arte final da interface, desenvolvida pelo Autor, com base no projeto CAD e por meio do software de manipulação de imagens GIMP, encontra-se apresentada na Figura 18. Para reforçar o processo de aprendizado, a denominação das unidades utilizadas no tratamento e dos mecanismos de recuperação de subprodutos foi inserida²⁴. Ressalta-se que o formato da interface adapta-se à proporção da tela de cada equipamento, mantendo os tubos fixados ao centro e adicionando trechos florestais nas laterais – apenas para fins visuais – caso necessário.

²⁴ De forma a aprimorar a visualização, uma versão completa e ampliada da arte da interface, em formato 16:9, pode ser encontrada ao final do Apêndice G.

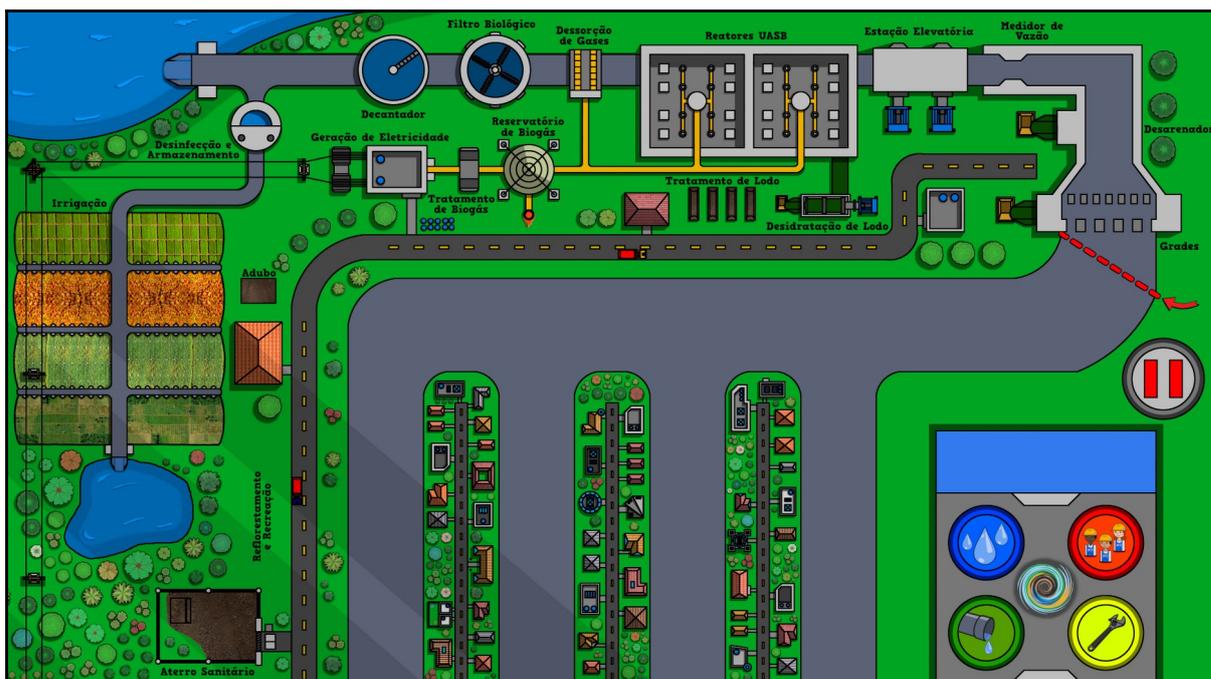


Figura 18: Arte final da interface do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

Embora o princípio de funcionamento da concepção inicial tenha sido mantido, as mecânicas foram revisadas em simultâneo com o desenvolvimento da interface. O aplicativo está apresentado, em funcionamento, na Figura 19.

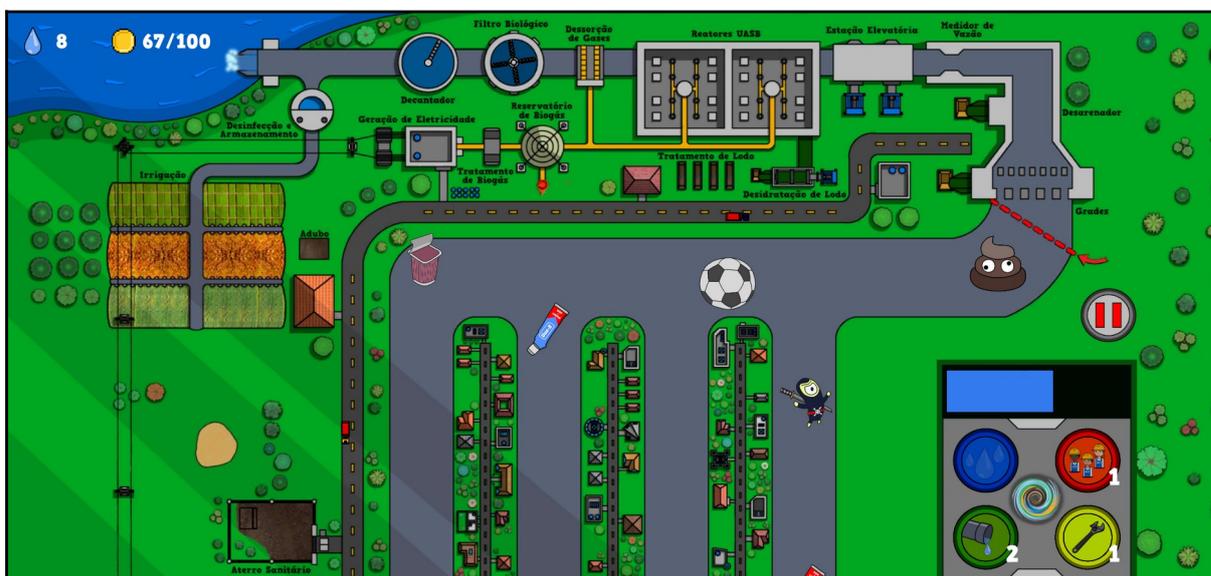


Figura 19: Aplicativo em funcionamento

Fonte: Autor (2021).

Definiu-se que o jogador terá um número limitado de chances, e para cada material que alcançar a ETE uma chance será perdida – tomando como referência a linha vermelha pontilhada destacada na Figura 19. Para alcançar o próximo nível é necessário obter determinado número de pontos sem que as chances sejam esgotadas. Visando ilustrar a questão das águas pluviais de forma mais realista, a Barra de Extravasamento ativa-se em níveis alternados, com mensagem indicando o início do período chuvoso. O primeiro botão da interface – em azul – deve ser ativado rotineiramente para esvaziar a Barra – simbolizando a realização de campanhas emergenciais para a eliminação de ligações pluviais irregulares – e continuar a receber pontos.

O menu de abertura do jogo encontra-se disposto na Figura 20.

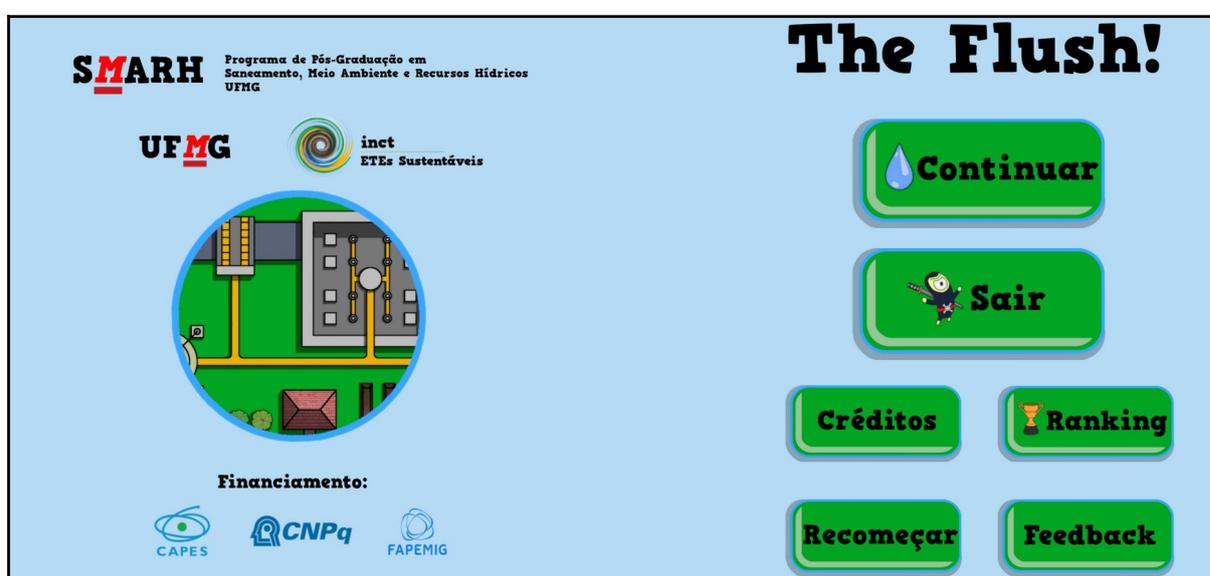


Figura 20: Menu de abertura do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

Cada vez que um nível é concluído, o menu intermediário – apresentado na Figura 21 – é exibido, e o jogador tem a opção de acessar uma loja fictícia de upgrades para investir os pontos obtidos. Considerou-se que o mecanismo de melhorias anteriormente proposto, baseado na expansão da capacidade de tratamento, não atenderia de maneira apropriada aos objetivos do jogo, uma vez que ETEs são geralmente projetadas considerando projeções populacionais ao longo de décadas, já sendo implementadas com capacidade de tratamento superior à esperada no começo do plano. Além disso, não haveria destaque às questões educacionais, gerenciais e de sustentabilidade. Portanto, o sistema foi reformulado.

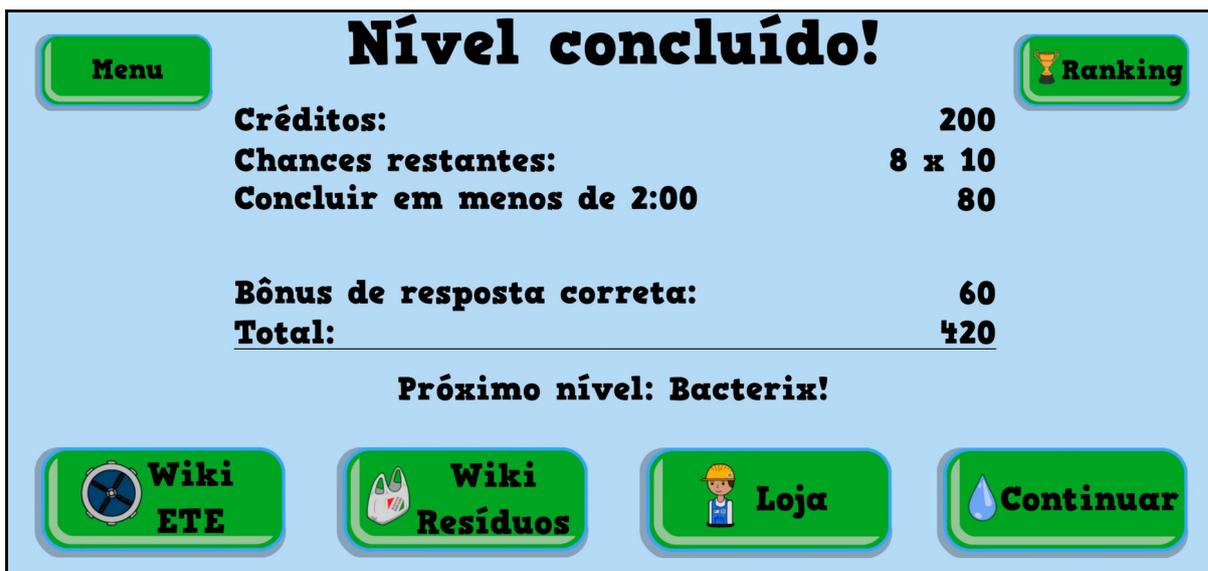


Figura 21: Menu intermediário do aplicativo, mostrado entre níveis

Fonte: Autor (2021).

Três categorias de itens são oferecidas, conforme exemplificado na Figura 22, sendo as duas referentes a upgrades – sequenciais e alternados – obrigatórias para a conclusão do jogo. O botão “Info” exibe breve texto de tutorial que explica o funcionamento da loja e dos itens.



Figura 22: Interface da loja de itens do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

Como forma de incentivar a leitura, conforme exibido na Figura 23, os curtos textos referentes a cada item da loja deverão ser lidos até o final para revelar o botão de compra.

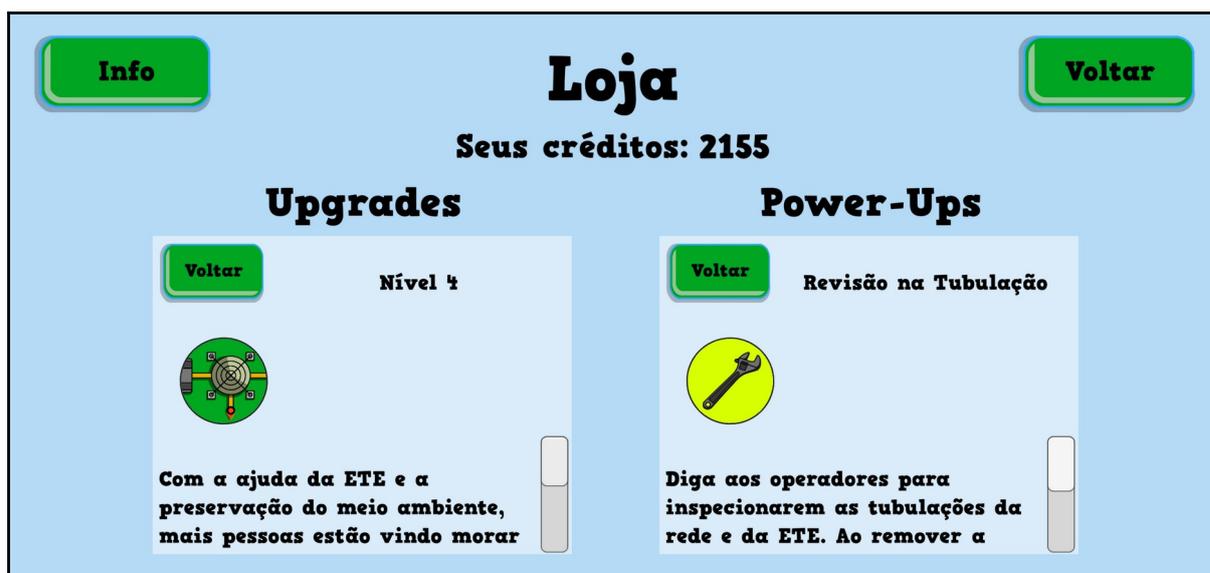


Figura 23: Descrição de itens na loja do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

A primeira categoria de itens da loja corresponde aos upgrades de interface: o jogo inicia com a área à esquerda degradada e o jogador deve liberar os métodos de reaproveitamento de subprodutos, em um total de doze etapas, até que seja obtido o resultado final da Figura 18, demonstrando os impactos positivos para a sociedade, o meio ambiente e a economia. Objetiva-se, dessa forma, além de atrair a curiosidade do jogador e criar a sensação de progressão, demonstrar como materiais podem ser recuperados dos esgotos e como a ETE pode beneficiar o município, incrementando o potencial de aprendizado para além da questão principal do estudo. Os ícones da loja – que destacam a mudança mais importante em cada item – e as variações da arte referentes a cada upgrade, bem como os textos exibidos para o jogador, estão apresentados no Apêndice G.

A segunda categoria corresponde aos upgrades de jogabilidade, divididos em oito etapas. Esses itens objetivam mostrar ao usuário como ações voltadas à gestão e à educação podem resultar em minimização do problema de lançamento de materiais inadequados nos aparelhos sanitários e redes de coleta de esgotos. Envolvem ações associadas à administração da ETE, aos funcionários, à sensibilização dos usuários e ao serviço como um todo. Fornecem benefícios de jogabilidade – ao contrário dos itens visuais – e estão colocados em posições alternadas com os upgrades de interface, criando relações de dependência. O último item desta categoria corresponde à conclusão do jogo. Os ícones utilizados na loja, os efeitos associados a cada upgrade e os textos apresentados ao jogador estão dispostos no Apêndice H.

Por fim, a terceira categoria é constituída de *power-ups*. Estes são itens opcionais, baseados em ações emergenciais, que fornecem benefícios temporários na jogabilidade em troca de pontos, facilitando o jogo. Ocupam os botões do canto inferior direito da interface – conforme Figura 19 – e podem ser acionados durante o jogo, ativando animações. A liberação da Barra de Extravasamento – que corresponde ao primeiro botão, em azul – é o único item de *power-up* disponibilizado, de forma permanente, desde o começo do jogo. Os outros três itens são consumíveis e apenas uma quantidade limitada de cada – inicialmente dois, sendo possível utilizar três após um dos upgrades – pode ser adquirida ao jogar cada nível. A descrição desses itens, seus efeitos e os respectivos ícones da loja estão apresentados no Apêndice I.

Os materiais problemáticos inseridos no aplicativo foram divididos em sete diferentes categorias, a depender do tipo de impacto e se há risco de entupimento da tubulação. A introdução de novas categorias ocorrerá gradativamente, nos níveis iniciais (1 a 7), de forma a serem exibidos textos para incentivar a fixação do conteúdo. Diversos exemplos gráficos foram desenhados para cada categoria, sendo a maioria dos itens vetorizada, pelo Autor, a partir de fotografias de objetos reais. As categorias, as descrições dos materiais, os textos exibidos para os usuários e as representações artísticas estão apresentados no Apêndice J. Um dos materiais, a bactéria super-resistente “Bacterix” (6b), foi tomado como personagem para a criação de uma mecânica de “chefe de nível”, que consiste no surgimento do vilão a cada cinco níveis corridos, acompanhado por ondas de maior aparecimento de elementos. O vilão caminha lentamente e depende de uma grande quantidade de cliques para ser eliminado. Dessa forma, o jogo fica mais imersivo e, de fato, com alguma dose de bom humor.

Após o término de cada nível, e antes do menu intermediário, uma pergunta do minijogo de quiz é lançada para o jogador e conta com quatro alternativas de múltipla escolha, conforme disposto na Figura 24. Se o jogador acertar a resposta, recebe boa quantidade de pontos adicionais. A alternativa correta é sempre destacada, independentemente do resultado. As perguntas, selecionadas aleatoriamente a partir de um banco de 40 questões, apresentado no Apêndice K, têm conteúdo referente a cinco categorias: I) Materiais que não devem ser jogados no esgoto e seu destino correto; II) Alternativas para aproveitamento de subprodutos e ganhos sociais, ambientais e econômicos; III) Medidas de sensibilização e boas práticas sobre a disposição de resíduos; IV) Funcionamento de uma ETE e seus equipamentos; e V) Boas práticas de projeto e operação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos.



Figura 24: Minijogo de quiz do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

Visando facilitar o acesso a todo o conteúdo educacional disponibilizado no jogo, o usuário poderá acessar, a qualquer momento, duas “wikis” – bases de dados de informações – a partir do menu intermediário. A primeira refere-se à ETE, seus equipamentos e o reaproveitamento de subprodutos, como apresentado na Figura 25.



Figura 25: Menu de “Wiki da ETE” do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

Ao selecionar qualquer elemento, um breve texto é exibido, como disposto na Figura 26.

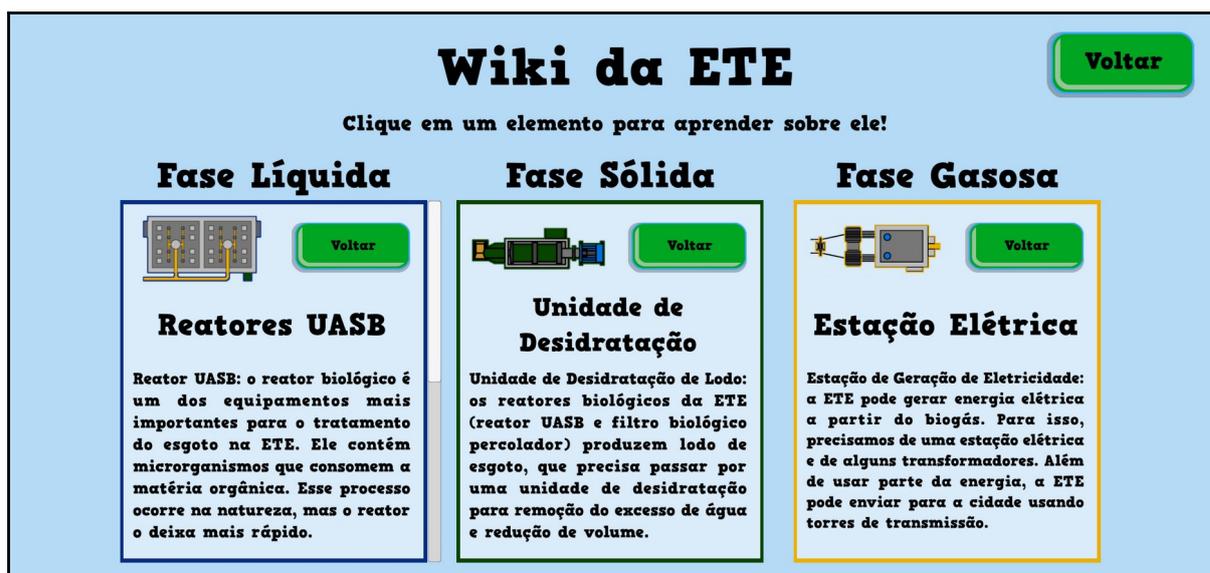


Figura 26: Descrição de itens no menu de "Wiki da ETE" do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

A segunda "wiki" aborda conteúdos referentes aos detritos, substâncias e materiais, bem como impactos e possibilidades de reaproveitamento, conforme mostrado na Figura 27.



Figura 27: Menu de "Wiki dos Resíduos" do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

A Figura 28 exemplifica os textos exibidos ao tocar em alguma categoria de materiais.



Figura 28: Descrição de itens no menu de "Wiki dos Resíduos" do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

O programa dispõe de sistemas de ranking e mensagens, conectados a um data center. O jogador tem a opção de submeter sua pontuação e seu tempo de jogo ao ranking geral público sempre que terminar um nível, mesmo após a conclusão dos upgrades (compra de todos os itens da loja, excluindo-se os *power-ups*). Conforme for avançando, poderá submeter novamente para sobrescrever a informação anterior. Trata-se de uma forma de incentivo, onde o usuário fornece um apelido para ser publicado junto com a pontuação, competindo com outros jogadores. Há também um ícone para informar se o jogador concluiu o jogo. Pode-se optar por continuar jogando, aumentando a pontuação, ou reiniciar a progressão a qualquer momento.

A pontuação total obtida pelo jogador será condicionada pelos seguintes fatores:

- Velocidade de coleta dos materiais, uma vez que os pontos obtidos para cada coleta bem-sucedida diminuem quando o elemento fica mais tempo na rede;
- Número de chances mantido ao terminar cada nível, considerando que, ao perder chances, ou seja, deixar materiais alcançarem a ETE, a pontuação será reduzida;
- Número de *power-ups* utilizados, destacando-se que estes facilitarão o jogo, mas terão custo;
- Acertos em questões do quiz.

No ato de submissão do registro, o jogador poderá inserir uma mensagem personalizada, que será exibida junto com sua pontuação. O sistema de ranking e as mensagens associadas podem ser acessados, a qualquer momento, através de botões disponibilizados nos menus. Essa interface está apresentada na Figura 29.

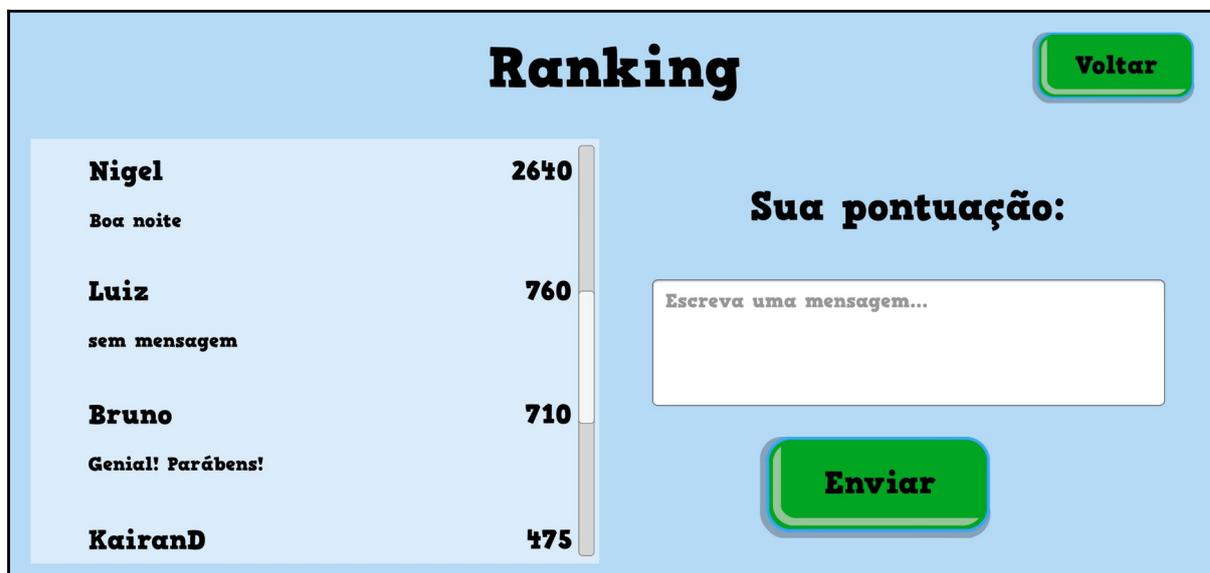


Figura 29: Sistemas de ranking e mensagens do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

Implementou-se, também, um menu de feedback, acessível por meio do menu de abertura, que permite enviar mensagens ao Autor e ao Programador para relatar a experiência e reportar problemas de funcionamento.

Alguma telemetria, embora mínima, é necessária para o funcionamento do aplicativo. Dados sobre o modelo do smartphone e a resolução da tela precisarão ser coletados para que o programa seja capaz de calcular, automaticamente, o ajuste da interface. Informações sobre o nível de dificuldade enfrentado pelos usuários serão armazenadas para analisar a necessidade de serem realizados ajustes remotos por meio de atualizações. Cabe ressaltar que o aplicativo contará com avisos legais, dentro da seção de créditos, que incluirão informações sobre a coleta de dados.

A fixação de conteúdo é apoiada por textos inseridos em diversos momentos. O aplicativo conta com texto de tutorial, apresentado toda vez que for aberto, explicando seus objetivos e funcionamento; textos de apresentação sobre materiais e substâncias presentes no esgoto, impactos e possibilidades de reaproveitamento, exibidos toda vez que uma nova categoria for

adicionada, o que ocorre gradualmente para reforçar o entendimento; textos relacionados aos upgrades visuais, mostrados para descrever o funcionamento da ETE e as alternativas de valorização dos subprodutos sólidos, líquidos e gasosos; e textos associados aos upgrades de jogabilidade, expostos para descrever medidas de sensibilização e detalhes gerenciais da ETE. Há, também, as “wikis” concentrando o conteúdo, de forma a permitir a leitura a qualquer momento. Respostas para as questões do quiz poderão ser encontradas nos diversos textos educativos. Todo o material textual adicional, não apresentado anteriormente, está disposto no Apêndice L.

Programas de utilização não obrigatória – como aplicativos de entretenimento – dependem de meios de divulgação para alcançar maior visibilidade e ampliar o número de usuários, principalmente em fase inicial, logo após o lançamento em plataformas concentradoras, como a Play Store do sistema Android. Dessa forma, identificou-se a necessidade de serem estabelecidas estratégias para atrair a curiosidade da população em ambientes de maior circulação de pessoas. Um sistema de leitura de códigos QR foi, então, utilizado para direcionar acessos para a versão de navegadores e para a página de download do software no Android.

Códigos QR exploram a curiosidade para a descoberta de informações e, por isso, são atrativos. No sistema Android, são amplamente escaneados por diversos aplicativos de detecção e leitura, e têm se tornado cada vez mais populares. Podem também ser escaneados por programas de computador. Ou seja, há elevado potencial de impacto, sem que exista complexidade para a implementação, tendo em vista que podem ser baseados em simples codificação de links em imagens.

Os códigos referentes ao aplicativo podem ser divulgados em instituições educacionais – durante aulas ou não – e supermercados, bem como podem ser impressos nos rótulos de produtos que não devem ser descartados no esgoto, como o óleo de cozinha. Existe a possibilidade do estabelecimento de parcerias com fabricantes de produtos e embalagens, cabendo ressaltar que a imagem de maior consciência ambiental favorece a publicidade das empresas e, conseqüentemente, o relacionamento com clientes. Admite-se, contudo, que essa situação seja menos comum, e a proposta dependeria de apoio governamental para promover a inserção nesses meios.

Por fim, um nome foi selecionado para o *serious game*: “**The Flush!**”. A expressão foi escolhida por atender, simultaneamente, a três significados: i) o ato de dar descarga na bacia sanitária; ii) a expressão das pessoas quando ficam envergonhadas, devido ao lançamento de materiais inapropriados no esgoto; e iii) o nivelamento do conhecimento para a sensibilização no contexto da ação sanitária. Além disso, há trocadilho com a expressão “flash”, que indica velocidade, sugerindo que os materiais devem ser coletados rapidamente, e correlação com o pôquer, indicando conexão com o contexto de jogos. Trata-se também de expressão divertida e de fácil comunicação entre pessoas.

Os créditos do aplicativo, disponibilizados a partir de um botão no menu de abertura, encontram-se retratados na Figura 30.

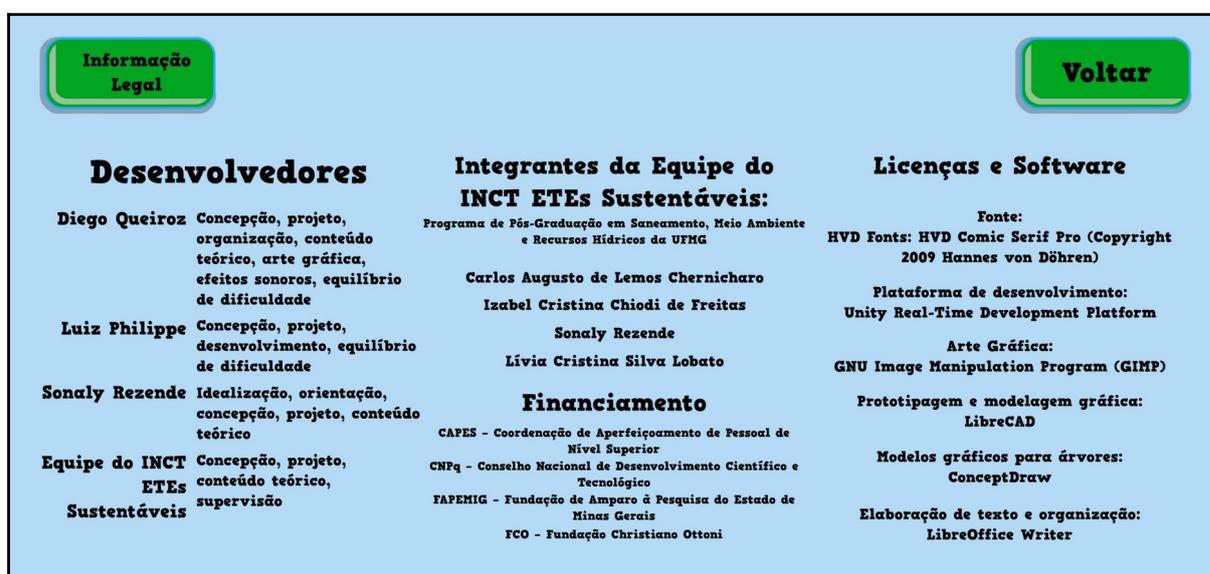


Figura 30: Créditos do aplicativo

Fonte: Autor (2021).

“The Flush!” pode ser encontrado, em versão para smartphones, na Play Store do sistema Android, através de pesquisa por nome. O link direto para acesso na loja é <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gaea.theflush>. A versão para navegadores, por sua vez, encontra-se disponibilizada no link <http://the-flush.s3-website-sa-east-1.amazonaws.com/>, também acessível como theflush.ddns.net. Os links foram convertidos em códigos QR.

Na Figura 31 encontra-se o código referente à versão para smartphones.



Figura 31: QR Code – Smartphone
Fonte: Autor (2021).

Na Figura 32 está disposto o código referente à versão para navegadores.

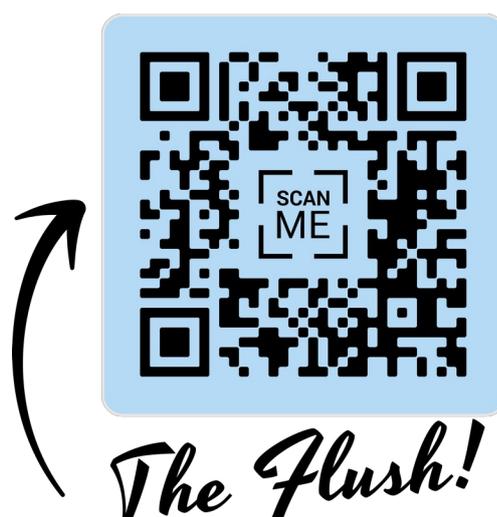


Figura 32: QR Code – Navegador
Fonte: Autor (2021).

Ressalta-se que o aplicativo, em suas múltiplas versões, continuará sendo atualizado e melhorado, e que a disponibilidade poderá sofrer interrupções temporárias. Os links e os códigos QR poderão, eventualmente, ser trocados, o que demandará atualização deste trabalho escrito. Espera-se fornecer suporte ao software por longo período de tempo. Caso os links não estejam funcionando, o leitor é convidado a enviar uma mensagem para o endereço de e-mail do Autor (augustus.senna@yahoo.com.br).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transformação digital, impulsionada pela Indústria 4.0, está modificando as relações humanas em ritmo acelerado. O progresso tecnológico – com destaque para os sistemas de informação e comunicação – traz consigo infinitas possibilidades, muitas positivas, algumas negativas. É necessário saber direcioná-lo. A prosperidade social passa pela Sociedade 5.0. Portanto, como resposta natural, é necessário que seja desenvolvido um “Saneamento 5.0”. A criação de novas tecnologias é capaz de delinear evoluções, mas saber aplicá-las promove revoluções. A tecnologia deve existir a serviço da sociedade, e não o contrário.

A atividade de “jogar” ou mesmo “brincar” não foi criada no contexto da transformação digital. Tampouco é exclusiva do ser humano. Trata-se, na realidade, de algo natural para muitos seres vivos. Contudo, alcançou novas possibilidades ao apoiar-se em conceitos como a aprendizagem móvel. O sucesso da gamificação e dos *serious games* em diversos setores, destacando-se principalmente a educação e a saúde, demonstram que o potencial dessas ferramentas não pode ser ignorado. Os jogos são capazes de promover a apropriação de conhecimentos de uma forma interativa que não poderia ser reproduzida em outros meios.

Existe, no Brasil, grande passivo histórico para o esgotamento sanitário. Há longo caminho a ser percorrido para o alcance da universalização, sendo necessário elevado aporte de investimentos. Nesse contexto, é importante buscar a máxima eficiência na operação dos serviços, o que depende, necessariamente, de ações estruturantes, pois, mesmo que as soluções escolhidas sejam adequadas, nada garante: i) que sua implementação será realizada de forma apropriada; ii) que não haverá conflitos culturais; e iii) que os usuários possuirão conhecimento para utilizá-las corretamente. A ausência de ações efetivas conduz, direta ou indiretamente, ao não cumprimento de princípios básicos estabelecidos pelo DHAES.

A revisão de literatura, as entrevistas e os grupos focais indicaram a existência de um consenso sobre a necessidade de se investir na educação da população no contexto do saneamento. Os níveis de entusiasmo e entrosamento dos participantes durante os GFs foram impressionantes e demonstraram não apenas interesse pelo jogo, mas também pelas questões sanitárias. Infere-se, portanto, que o engajamento dos usuários, especialmente os jovens, poderia ser muito mais incisivo caso o debate sobre o assunto – pouco frequente ou ausente – fosse adequadamente realizado nas escolas, desde a infância.

O software baseado em *serious games* proposto neste trabalho apresenta grande potencial de alcance e, simultaneamente, está associado a baixo custo de manutenção, tendo em vista o reduzido número de dados gerados e armazenados em servidor. Considerando os três fatores apontados como razões para a falta de engajamento dos usuários, infere-se que o jogo possa atuar na cultura, uma vez que aproxima os jogadores das consequências de suas ações – rompendo a ideia do simples afastamento dos materiais – e promove a apropriação de conhecimentos sobre mecanismos de descarte adequados, além de contribuir para o aprendizado sobre questões operacionais e gerenciais de sistemas de coleta e tratamento de esgotos. Dessa forma, espera-se que o usuário fique ciente de seu papel como agente de saneamento e passe a atuar de forma mais ativa.

Almeja-se que este trabalho também possa influenciar, mesmo que indiretamente – seria presunção imaginar impactos diretos –, na “correção” do segundo fator – o técnico. Afinal, evidenciou-se a importância de serem tomadas ações que considerem o inerente caráter multidisciplinar do saneamento e sua interface com a saúde. Dessa forma, deseja-se incentivar o aumento do número de pesquisas sobre o contexto das ações estruturantes, muitas vezes desprezadas pelos governantes e gestores responsáveis pela elaboração das políticas públicas. A apropriação de conhecimento, pelos usuários de soluções de saneamento, deve ser considerada como ação de longo prazo, incentivada de forma duradoura, a ponto de transformar-se em algo cotidiano para, então, poder efetivamente conduzir a mudanças de comportamento. Trata-se de um investimento capaz de gerar retorno e, ao longo do tempo, contribuir para que as marcas históricas – portanto, o primeiro fator – sejam reduzidas.

Este trabalho está sendo publicado em período ainda marcado por impactos e incertezas da pandemia de COVID-19 que, lamentavelmente, foi responsável pela perda prematura de inúmeras vidas. As medidas de isolamento social, necessárias para o combate à doença, alteraram profundamente as atividades desenvolvidas nos mais variados ambientes de aprendizado e trabalho. Repercutiram, conseqüentemente, no processo de delineamento e construção deste projeto, que dependia necessariamente de múltiplas etapas metodológicas, cada uma associada a inúmeros atores. O processo de desenvolvimento do software mostrou-se, também, complexo, uma vez que avançou para além das fronteiras inicialmente imaginadas e exigiu, tanto do Autor quanto do Programador, competências relacionadas a diversas áreas.

A temática proposta neste projeto explora possibilidades de compartilhamento de conhecimento à distância. O contexto da pandemia acabou reforçando a necessidade de serem desenvolvidas novas ferramentas. Espera-se que o software resultante contribua com a sociedade e seja utilizado como referência para aplicações criadas visando aos mais diversos setores e situações, destacando-se principalmente o ambiente estudantil.

Espera-se também que a questão apresentada possa reforçar a importância do tratamento preliminar em ETEs e incentivar o desenvolvimento de estudos voltados ao assunto, tendo em vista que, historicamente e infelizmente, tais abordagens são demasiadamente raras, muito embora essa etapa seja responsável por considerável parcela dos custos e impactos ambientais associados ao tratamento de esgotos.

6 RECOMENDAÇÕES

A temática de caracterização qualiquantitativa dos efluentes, proposta no contexto do INCT ETEs Sustentáveis, objetiva, dentre outros aspectos, a determinação da influência de variáveis educacionais, econômicas, laborais, sociais e de gênero no entendimento da questão. Grupos focais seriam capazes de atender a esse critério, uma vez que possibilitam a realização simultânea da coleta de relatos e da comparação entre distintos perfis populacionais. Durante a etapa de elaboração deste trabalho, foi prevista a realização de GFs com diferentes públicos: i) pessoas que realizam tarefas associadas ao descarte de materiais e à higienização de aparelhos sanitários, como funcionários responsáveis pela limpeza em repartições públicas; ii) pessoas de maior nível de escolaridade e renda, tomando como referência moradores de um condomínio de padrão médio/alto; iii) estudantes do ensino fundamental provenientes de escolas privadas; e iv) estudantes do ensino fundamental provenientes de escolas públicas.

A escolha, para o primeiro perfil, justificava-se porque funções laborais são capazes de moldar visão diferenciada sobre o saneamento. Para o segundo, questionava-se se o maior nível de escolaridade e renda poderia influenciar na sensibilização, bem como condicionar maior facilidade de acesso a meios adequados de descarte de resíduos sólidos. Nos dois últimos, objetivava-se compreender a perspectiva de crianças e adolescentes sobre o tema, pois pessoas nessa faixa etária tendem a dedicar algum tempo ao uso de equipamentos eletrônicos e também poderiam demonstrar visão distinta com relação aos aparelhos sanitários, uma vez que são influenciadas pelo ambiente escolar. Ao tomar como referência instituições particulares e públicas, esperava-se avaliar diferenças socioeconômicas.

O contato com profissionais que realizam funções de limpeza ocorreria em uma instituição de ensino superior pública, enquanto o encontro com pessoas de maior nível de escolaridade e renda seria realizado em um condomínio. Devido à pandemia de COVID-19 e às medidas de isolamento social, o diálogo inicial, voltado ao convite de participantes, foi dificultado. Além disso, previa-se que os grupos ocorreriam nos próprios locais de trabalho e residência, respectivamente, uma vez que esses perfis estariam menos dispostos a realizar reuniões digitais. A efetivação desses encontros presenciais não seria possível durante todo o período de elaboração do trabalho.

Os documentos necessários para a participação dos perfis escolares, por sua vez, foram elaborados e enviados ao COEP-UFMG. Contudo, considerando todos os trâmites necessários para a realização de grupos focais com menores em meio ao contexto de pandemia e os desafios decorrentes da metodologia digital (que demanda cautela para evitar desvios de atenção, especialmente ao considerar crianças e adolescentes), bem como o limitado prazo para coleta e análise de dados, optou-se por desconsiderá-los. A realização das reuniões nas próprias escolas também seria inviável devido à adoção de medidas cada vez mais rígidas de isolamento e ao fechamento preventivo das instituições.

Portanto, recomenda-se, para pesquisas futuras, a realização de grupos focais com distintos perfis da população – buscando-se identificar lacunas de compreensão que condicionam o descarte de um ou mais materiais em bacias sanitárias e redes de coleta de esgotos – e a análise da influência de variáveis externas, relevantes para a orientação de políticas públicas.

Recomenda-se, também, a condução de estudos detalhados, junto às ETEs, para determinar, com maior precisão, valores referenciais e estratificados da presença de detritos, resíduos e substâncias descartados incorretamente nos esgotos, de forma a estabelecer parâmetros representativos da realidade nacional.

Embora este projeto considere o problema do descarte de materiais em ambiente urbano, onde são mais comuns os sistemas de esgotamento coletivos baseados em grandes redes de coleta e ETEs convencionais, há potencial para serem desenvolvidas aplicações para o ambiente rural e outros componentes do saneamento. Ressalta-se que o Autor participou, em regime de iniciação científica, durante o Bacharelado em Engenharia Civil na UFMG, do processo de construção do PNSR, que evidenciou o grande déficit de saneamento nas áreas rurais do País. Recomenda-se, portanto, que esta pesquisa seja continuada para explorar novas possibilidades de desenvolvimento de aplicativos baseados em gamificação ou *serious games*.

O aplicativo desenvolvido neste trabalho não foi publicado em versão para o sistema operacional iOS, presente em smartphones e tablets da Apple. A plataforma não deixa de ser, contudo, relevante ao considerar o número de usuários, e espera-se que versão apropriada seja desenvolvida e lançada em um futuro próximo. Visando ao alcance internacional, pretende-se elaborar também traduções para o Inglês. Destaca-se, por fim, a importância de que sejam executadas pesquisas para avaliar o impacto obtido após a publicação oficial do software.

O conceito de “Saneamento 5.0” não pode ficar restrito a este trabalho. Espera-se que seja apropriado e aplicado em novas pesquisas, incentivando a utilização de tecnologias para fins de valorização dos Direitos Humanos, universalização de serviços e melhoria das condições de vida da população. Não é admissível, em pleno século XXI, que pessoas ainda convivam com todas as dificuldades associadas à falta de saneamento. É também inaceitável que não tenham acesso a informações para compreender sua própria realidade.

O momento, voltado à Indústria 4.0 e à Sociedade 5.0, é propício para que sejam realizados avanços em diversos setores. Nesse contexto, o sistema educacional – que atualmente vive uma transição para modelos de ensino híbridos – terá papel determinante. O “Saneamento 5.0” pode e deve ser desenvolvido de forma multidisciplinar, sempre considerando ações estruturantes em conjunto com ações estruturais. A educação assumirá o papel da fundação – não se constrói uma casa a partir do telhado...

REFERÊNCIAS

ABELE, E. *et al.* Learning Factories for research, education and training. **Procedia CIRP**, v. 32, p. 1-6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>.

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Epusp/PHD, 1999.

ALLEN, A.; D DÁVILA, J.; HOFMANN, P. The peri-urban water poor: citizens or consumers? **Environment & Urbanization**, v. 18, n. 2, p. 333-351, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0956247806069608>.

ALMEIDA, F.; SIMOES, J. The Role of Serious Games, Gamification and Industry 4.0 Tools in the Education 4.0 Paradigm. **Contemporary Educational Technology**, v. 10, n. 2, p. 120-136, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30935/cet.554469>.

ALMEIDA, G. A. de V. e. **Consequências do uso inadequado de equipamentos sanitários sobre duas estações de tratamento de esgotos em Minas Gerais**. 2020. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT/CB-029 – Comitê Brasileiro de Celulose e Papel. **Desagregação de papel tissue**. São Paulo, 2017.

AVVANAVAR, S. M.; MANI, M. A conceptual model of people's approach to sanitation. **Science of the Total Environment**, v. 390, n. 1, p. 1-12, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.018>.

BAGAMUHUNDA, G.; KIMANZI, G. In the light of experience – water policy and usage in Uganda. **Waterlines**, v. 16, n. 3, p. 19-20, 1998. DOI: <https://doi.org/10.3362/0262-8104.1998.009>.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1988. 223 p.

BERZIN, G. Considerações sobre detritos sólidos nos esgotos e contribuição para fixação de parâmetros para projetos de EEs e ETes. **Revista DAE**, v. 133, 1983. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_133_n_1133.pdf. Acesso: 20 mai. 2021.

BORGES, N. B. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto**. 2014. 238 p. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.18.2014.tde-16012015-153958>.

BORGES, N. B.; CAMPOS, J. R.; FERREIRA, G. T. Caracterização e aproveitamento dos resíduos removidos nos gradeamentos e desarenadores de estações de tratamento de esgoto. *In*: CONGRESSO ABES/FENASAN 2017 – O MAIOR ENCONTRO DE SANEAMENTO AMBIENTAL DAS AMÉRICAS, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017, 11 p. Disponível em: <https://bit.ly/37v58pO>. Acesso: 4 mai. 2020.

BORRELY, S. I. *et al.* Contaminação das águas por resíduos de medicamentos: ênfase ao cloridato de fluoxetina. **O Mundo da Saúde**, v. 36, n. 5, p. 556-563, 2012. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/artigos/mundo_saude/contaminacao_aguas_residuos_medicamentos_enfase.pdf. Acesso: 10 nov. 2019.

BRAADBAART, O. A transferência Norte-Sul do paradigma da água canalizada: o papel do setor público nos serviços de água e esgotos. *In*: HELLER, L.; CASTRO, J. E. (Org.). **Política pública e gestão de serviços de saneamento**. Edição ampliada. Belo Horizonte: Editora UFMG; Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2013, cap. 4, p. 116-134.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde – CNS. **Resolução nº 466**, de 12 de dezembro de 2012. Aprova as diretrizes e normas reguladoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Recuperado de: <http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>. Acesso: 20 jun. 2020.

BRASIL. Decreto nº 10.388, de 5 de junho de 2020. Regulamenta o § 1º do caput do art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e institui o sistema de logística reversa de medicamentos domiciliares vencidos ou em desuso, de uso humano, industrializados e manipulados, e de suas embalagens após o descarte pelos consumidores. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2020a. Recuperado de: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=10388&ano=2020&ato=65ag3Y65EM ZpWT04c>. Acesso: 6 fev. 2021.

BRASIL. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, 1989. Recuperado de: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7802.htm. Acesso: 20 jul. 2021.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2007. Recuperado de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso: 12 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2010. Recuperado de: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso: 20 jul. 2021.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2000, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015 e nº 13.529/2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2020b. Recuperado de: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso: 20 nov. 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2008. Recuperado de: <http://siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8694>. Acesso: 20 jul. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2011. Recuperado de: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso: 18 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília: Funasa, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde. **Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica**. Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

BRICEÑO-LEÓN, R. Siete tesis sobre educación para la participación. In: BARATA, R. e BRICEÑO-LEÓN, R. (Eds). **Doenças endêmicas: abordagens sociais, culturais e comportamentais**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000.

BRITTO, A. L. N. de P. *et al.* Da fragmentação à articulação: A Política Nacional de Saneamento e seu Legado Histórico. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 1, p. 65-83, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.22296/2317-1529.2012v14n1p65>.

BROCHADO, R. P. S. **Características do papel higiênico e suas implicações no sistema de esgotamento sanitário e na gestão de resíduos sólidos**. 2018. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

CAIRNCROSS, S. *et al.* Water, sanitation and hygiene for the prevention of diarrhoea. **International Journal of Epidemiology**, v. 39, p. 193-205, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/ije/dyq035>.

CALDEIRA, R. S. D. N.; GARCIA, R. A. Panorama do saneamento ambiental brasileiro: revisões e perspectivas. **Cadernos do Leste**, v. 15, n. 15, p. 102-131, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/13026/10298>. Acesso: 13 mai. 2021.

CAREGNATO, R. C. A.; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: Análise de Discurso versus Análise de Conteúdo. **Texto & Contexto Enfermagem**, v. 15, n. 4, p. 679-684, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/tce/v15n4/v15n4a17.pdf>. Acesso: 16 nov. 2020.

CARTER, R. C.; TYRREL, S. F.; HOWSAM, P. The impact and sustainability of community water supply and sanitation programmes in developing countries. **Water and Environment**

Journal, v. 13, n. 4, 1999, p. 292-296, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1999.tb01050.x>.

CAVALCANTE, R. S. **Esgoto não é lixo: um pensar reflexivo a cerca de resíduos sólidos presentes nos esgotos**. 2014. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4277/1/MD_GAMUNI_2014_2_64.pdf. Acesso: 19 abr. 2020.

CLAY, S. *et al.* Developing acceptable sewage screening practices. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 12, p. 229-234, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00477-5](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00477-5).

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (COEP-UFMG). Comitê de Ética em Pesquisa – COEP, 2006. Disponível em: <http://www.ufmg.br/bioetica/coep/>. Acesso: 20 nov. 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE JUNDIAÍ (CSJ). Esgoto NÃO é lixo: porque evitar o descarte inadequado de resíduos. 2020. Disponível em: <https://saneamento.com.br/noticias/esgoto-nao-e-lixo-porque-evitar-o-descarte-inadequado-de-residuos/>. Acesso: 26 jun. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). O Sistema de Esgotos. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/esgotamento-sanitario/o-sistema-de-esgoto>. Acesso: 12 abr. 2021.

COSTA, S. S. da; RIBEIRO, W. A. Dos porões à luz do dia: um itinerário dos aspectos jurídico-institucionais do saneamento básico no Brasil. *In*: HELLER, L.; CASTRO, J. E. (Org.). **Política pública e gestão de serviços de saneamento**. Edição ampliada. Belo Horizonte: Editora UFMG; Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2013, cap. 22, p. 467-482.

DETERDING, S. *et al.* From game design elements to gamefulness: Defining “gamification”. *In*: INTERNATIONAL ACADEMIC MINDTREK CONFERENCE: ENVISIONING FUTURE MEDIA ENVIRONMENTS, 15., 2011, Tampere. **Anais...** New York: Association for Computing Machinery, 2011, p. 9-15. DOI: <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>.

DOUGLAS, M. **Pureza e perigo: ensaio sobre as noções de poluição e tabu**. Lisboa: Edições 70. 1991.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>.

ELKINGTON, J.; ROWLANDS, I. H. Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. **Alternatives Journal**, v. 25, n. 4, p. 42-43, 1999.

ENTERTAINMENT SOFTWARE ASSOCIATION (ESA). **2020 Essential Facts About the Video Game Industry**. 2020. Disponível em: https://www.theesa.com/wp-content/uploads/2021/03/Final-Edited-2020-ESA_Essential_facts.pdf. Acesso: 10 mai. 2021.

ES BRASIL. Prefeitura retira 50 toneladas de lixo das estações de bombeamento em três dias. 2018. Disponível em: <https://esbrasil.com.br/prefeitura-retira-toneladas-de-lixo-das-estacoes-de-bombeamento/>. Acesso: 15 nov. 2020.

FEDERAÇÃO EMPRESARIAL DO JAPÃO (KEIDANREN). **Society 5.0**: Co-creating the future. 2017. Disponível em: https://www.keidanren.or.jp/en/policy/2018/095_booklet.pdf. Acesso: 10 mai. 2020.

FERREIRA, A. F.; MELO, G. A.; PADILHA, M. M. A. A Logística Reversa e sua regulamentação no Brasil: A Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 63024-63037, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-603>.

FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa**: um guia para iniciantes. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2013. 256 p.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>.

FREIRE, P. Ideologia e educação: reflexão sobre a não neutralidade da educação. In: GADOTTI, M. **A educação contra a educação: o esquecimento da educação através da educação permanente**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, p. 15-19, 1981.

G1. Falta de cadastro atrapalha obras em redes de esgoto no Grande Recife. 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2013/10/falta-de-cadastro-atrapalha-obras-em-redes-de-esgoto-no-grande-recife.html>. Acesso: 15 nov. 2020.

G1. Moradores usam telhas para sinalizar bueiro aberto em SP. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/moradores-usam-telhas-para-sinalizar-bueiro-aberto-em-sp.ghtml>. Acesso: 15 nov. 2020.

GAMES 4 SUSTAINABILITY. FloodSim. 2008. Disponível em: <https://games4sustainability.org/gamepedia/floodsim/>. Acesso: <https://games4sustainability.org/gamepedia/floodsim/>.

GAMES FOR CHANGE. Darfur is Dying. 2006. Disponível em: <http://www.gamesforchange.org/game/darfur-is-dying/>. Acesso: 17 set. 2020.

GASPARIM, J. C. **Viabilidade de aproveitamento de resíduos de tratamento de esgotos na construção civil**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 227 p., 2013.

GNIPPER, S. F. Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR 8160:1999 como tanques de flotação natural. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 119-132, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5362/3287>. Acesso: 17 dez. 2019.

GOHN, M. G. **Educação não formal e o educador social. Atuação no desenvolvimento de projetos sociais**. São Paulo: Cortez, 2010. 104 p.

GOMEZ-GALVEZ, P.; MEJÍAS, C. S.; FERNANDEZ-LUQUE, L. Social Media for Empowering People with Diabetes: Current Status and Future Trends. **Conference Proceedings IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, p. 2135-2138, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318811>.

GOOGLE PLAY. Candy Crush Saga. 2021a. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.king.candycrushsaga&hl=pt_BR&gl=US. Acesso: 25 mai. 2021.

GOOGLE PLAY. Perguntados. 2021b. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.etermax.perguntados.lite&hl=pt_BR&gl=US. Acesso: 25 mai. 2021.

GUIMARÃES, A. K. V. *et al.* Avaliação estatística da determinação do teor de óleos e graxas em efluente doméstico. *In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL*, 6., 2002, Vitória. **Anais...** Vitória: ABES, 2002. 6 p.

HELLER, L. *et al.* Overview of 12 Years of Special Rapporteurs on the Human Rights to Water and Sanitation: Looking Forward to Future Challenges. **Water**, v. 12, n. 9, 22 p., 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092598>.

HELLER, L.; NASCIMENTO, N. de O. Pesquisa e desenvolvimento na área de saneamento no Brasil: necessidades e tendências. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 24-35, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000100004>.

HELLER, H.; REZENDE, S. **Planejamento em saneamento básico: aspectos teórico-metodológicos**. Fundação Vale, 2013.

IGN BRASIL. Guitar Hero: Por que precisamos de um remaster da franquia. 2020. Disponível em: <https://br.ign.com/guitar-hero-1/81790/feature/guitar-hero-por-que-precisamos-de-um-remaster-da-franquia>. Acesso: 15 mai. 2021.

INCT ETES SUSTENTÁVEIS. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgotos. 2020. Disponível em: <https://etes-sustentaveis.org/>. Acesso: 2 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**: Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**: Notas técnicas. Versão 1.8. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b.

INTERNATIONAL SOFTWARE BENCHMARKING STANDARDS GROUP (ISBSG). **Glossary of Terms for Software Project Development and Enhancement**. 2018. Disponível em: https://isbsg.org/wp-content/uploads/2016/10/ISBSG-Glossary_of_Terms-for-DE-and-MS.pdf. Acesso: 30 set. 2020.

JOHNSON, S. B.; BLUM, R. W.; GIEDD, J. N. Adolescent Maturity and the Brain: The Promise and Pitfalls of Neuroscience Research in Adolescent Health Policy. **Journal of Adolescent Health**, v. 45, p. 216-221, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2009.05.016>.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

KAGERMANN, H. *et al.* (Eds.). **Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners** (acatech STUDY). Munique: Herbert Utz Verlag, 2016.

KASRI, R. Y.; MOERSIDIK, S. S. Citizen engagement: An approach to sustaining Indonesian rural water supply and sanitation? *In*: ADI, I. R.; ACHWAN, R. (Eds.). **Competition and Cooperation in Social and Political Sciences**, 2018. Londres: Routledge, 2017, p. 297-305.

KINGDON, J. W. **Agendas, Alternatives, and Public Policies**. 2. ed. Nova Iorque: Longman, 1985.

KLAASSEN, R. *et al.* Design and Evaluation of a Pervasive Coaching and Gamification Platform for Young Diabetes Patients. **Sensors**, v. 18, n. 402, 27 p., 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18020402>.

KOOTTATEP, T.; COOKEY, P. E.; POLPRASERT, C. **Regenerative Sanitation: A New Paradigm For Sanitation 4.0**. Londres: IWA Publishing, 2019.

LANTADA, A. D. Engineering Education 5.0: Continuously Evolving Engineering Education. **International Journal of Engineering Education**, v. 36, n. 6, p. 1814-1832, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345141439_Engineering_Education_50_Continuously_Evolving_Engineering_Education. Acesso: 10 ago. 2021.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.

LE HYARIC, R. *et al.* Characterization of screenings from three municipal wastewater treatment plants in the Region Rhône-Alpes. **Water, Science & Technology**, v. 60, n. 2, p. 525-531, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.391>.

LENARDUZZI, V.; MORASCA, S.; TAIBI, D. Estimating software development effort based on phases. *In*: EUROMICRO CONFERENCE SERIES ON SOFTWARE ENGINEERING AND ADVANCED APPLICATIONS, 40., 2014, Verona. **Anais...** Verona: Conference Publishing Services (CPS), 2014, p. 305-308. DOI: <https://doi.org/10.1109/SEAA.2014.54>.

LOPES, R. C.; BALDIN, N. Educação ambiental para a reutilização do óleo de cozinha na produção de sabão - Projeto "Ecolimpo". *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - EDUCERE, 9., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PUCPR, 2009, p. 1035-1042. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2009/2078_1012.pdf. Acesso: 15 dez. 2019.

LORENZI, D. *et al.* Enhancing the government service experience through QR codes on mobile platforms. **Government Information Quarterly**, v. 31, p. 6-16, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2013.05.025>.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.

MA, M.; OIKONOMOU, A. (Eds). **Serious Games and Edutainment Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

MAKRIDES, G. The evolution of Education 1.0 to Education 4.0: is it an evolution or a revolution? *In*: ANNIVERSARY SCIENTIFIC CONFERENCE “SYNERGETICS AND REFLECTION IN MATHEMATICS EDUCATION”, 2020, Pamporovo. **Anais...** 2020, p. 271-276. Disponível em: https://www.l-cloud.eu/wp-content/uploads/2019/03/Evolution_of_Education.pdf. Acesso: 4 ago. 2021.

MCCALLUM, S. Gamification and serious games for personalized health. **Studies in Health Technology and Informatics**, v. 177, p. 85-96, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-069-7-85>.

MCGONIGAL, J. **Reality is broken: Why games make us better and how they can change the world**. Nova Iorque: Penguin Press, 2011.

MENICUCCI, T.; D'ALBUQUERQUE, R. Política de saneamento vis-à-vis à política de saúde: encontros, desencontros e seus efeitos. *In*: HELLER, L. (Org.). **Saneamento como política pública: um olhar a partir dos desafios do SUS**. Rio de Janeiro: Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz, 2018, cap. 1, p. 9-52.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. Boston: McGraw-Hill, 2003.

MORGAN, D. L. **Qualitative Research Methods: Focus groups as qualitative research**. 2 ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1997.

NAHAVANDI, S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 16, 13 p., 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11164371>.

NEVES-SILVA, P.; HELLER, L. O direito humano à água e ao esgotamento sanitário como instrumento para promoção da saúde de populações vulneráveis. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 6, p. 1861-1869, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015216.03422016>.

O GLOBO. Chuva causa alagamentos no Rio. 2020. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/fotogalerias/chuva-causa-alagamentos-no-rio-24186581?hcb=1>. Acesso: 15 nov. 2020.

ONU. The human right to water and sanitation: Resolution adopted by the General Assembly 64/292: New York, 2010. Recuperado de: <https://digitallibrary.un.org/record/687002#record-files-collapse-header>. Acesso: 16 set. 2018.

ORSSATTO, F.; HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A. Eficiência de remoção de óleos e graxas de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, Cascavel - Paraná. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 4, p. 249-256, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/3vrqBsx>. Acesso: 15 dez. 2019.

OZDAMLI, F.; CAVUS, N. Basic elements and characteristics of mobile learning. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 28, p. 937-942, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.11.173>.

ÖZDEMİR, V.; HEKİM, N. Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, “the Internet of Things” and Next-Generation Technology Policy. **OMICS: A Journal of Integrative Biology**, v. 22, n. 1, p. 65-76, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1089/omi.2017.0194>.

PENG, W.; LEE, M.; HEETER, C. The effects of a serious game on role-taking and willingness to help. **Journal of Communication**, v. 60, n. 4, p. 723-742, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2010.01511.x>.

PEREIRA, R. C. S.; DINIS, M. A. P.; GOUVEIA, L. B. The Use of Mobile Devices in Environmental Education. *In*: LEAL FILHO, W.; TORTATO, U.; FRANKENBERGER, F. (Eds.). **Universities and Sustainable Communities: Meeting the Goals of the Agenda 2030**. World Sustainability Series. Cham: Springer International Publishing, 2020, p. 643-649. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30306-8_38.

POLAT, L.; ERKOLLAR, A. Industry 4.0 vs Society 5.0. *In*: DURAKBASA, N. M.; GENÇYILMAZ, M. G. (Eds.). **Digital Conversion on the Way to Industry 4.0**. Springer, 2020, p. 333-345. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-62784-3_28.

POTOCAN, V.; MULEJ, M.; NEDELKO, Z. Society 5.0: balancing of Industry 4.0, economic advancement and social problems. **Kybernetes**, v. 50, n. 3, p. 794-811, 2020. <https://doi.org/10.1108/K-12-2019-0858>.

PRADO, G. S. do. **Concepção e estudo de uma unidade compacta para tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial**. 2006. 268 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3p5ualj>. Acesso: 18 jun. 2020.

REBOLLEDO-MENDEZ, G. *et al.* Societal impact of a serious game on raising public awareness: The case of FloodSim. *In*: ACM SIGGRAPH SYMPOSIUM ON VIDEO GAMES, 9., 2009, New Orleans. **Anais...** New York: Association for Computing Machinery, 2009, p. 15-22. DOI: <https://doi.org/10.1145/1581073.1581076>.

REZENDE, S. *et al.* Integrando oferta e demanda de serviços de saneamento: análise hierárquica do panorama urbano brasileiro no ano 2000. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 90-101, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000100011>.

REZENDE, S.; HELLER, L.; QUEIROZ, A. C. L. Agua, saneamiento y salud en Brasil: intersecciones y desacuerdos. **Anuario de Estudios Americanos**, v. 66, n. 2, p. 57-80, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/aeamer.2009.v66.i2.317>.

RIGOTTI, J. I. R.; HADAD, R. PNSR – Delimitação das áreas rurais brasileiras. *In*: REZENDE, S (Org). **Aspectos conceituais da ruralidade no Brasil e interfaces com o saneamento básico**. Série Subsídios ao PNSR. Volume I. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2021. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/670>. Acesso: 20 nov. 2021.

RIO DE JANEIRO. Controladoria Geral do Município. Fundação Getúlio Vargas. Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia SCO – RIO. **Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2018. Recuperado de: http://aerj.net.br/file/2018/noticias/DO_31-10-2018.pdf. Acesso: 10 set. 2021.

RUBINGER, S. D. **Desvendando o conceito de saneamento no Brasil: uma análise da percepção da população e do discurso técnico contemporâneo**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 213 p., 2008.

SCHUH, G. *et al.* (Eds.). **Industry 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies** (acatech STUDY). Munique: Herbert Utz Verlag, 2016.

SEMIONATO, S. *et al.* Isolamento e caracterização de bactérias lipolíticas em sistema de pré-tratamento de esgoto doméstico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005, 5 p.

SENNA, D. A.; RIBEIRO, J. S. de A. N. Conexão entre conhecimento e aprendizado na Indústria 4.0: análise do estado da arte. **International Journal of Knowledge Engineering and Management**, v. 9, n. 24, p. 53-79, 2020. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJKEM/article/view/5859/5698>. Acesso: 12 jan. 2020.

SENNA, D. A. *et al.* Saneamento rural no Estado do Rio de Janeiro: realidade vivenciada e integração com o urbano. *In*: MONTENEGRO, M. H. *et al.* (Ed.). **Realização dos Direitos Humanos à Água e ao Saneamento: influências da remuneração e da cobrança pela prestação dos serviços de saneamento**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2021, cap. 7, p. 157-179.

SIDWICK, J. M. The Preliminary Treatment of Wastewater. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 52, n. 3, p. 291-300, 1991. DOI: <http://doi.org/10.1002/jctb.280520302>.

SILVA, M. F. da; CARVALHO, E. H. de. Otimização do tratamento preliminar da ETE Goiânia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, 9 p.

SORDI, V. F.; NAKAYAMA, M. K.; BINOTTO, E. Compartilhamento de conhecimento nas organizações: um modelo analítico sob a ótica da ação cooperativa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 8, n. 1, p. 44-66, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21714/2236-417X2018v8n1p44>.

STATCOUNTER. Mobile Operating System Market Share in Brazil – April 2021. 2021a. Disponível em: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/brazil>. Acesso: 8 mai. 2021.

STATCOUNTER. What methodology is used to calculate Statcounter Global Stats? 2021b. Disponível em: <https://gs.statcounter.com/faq#methodology>. Acesso: 8 mai. 2021.

STEAM. Bloons TD 6. 2018. Disponível em: https://store.steampowered.com/app/960090/Bloons_TD_6/. Acesso: 25 mai. 2021.

STEAM. Plants vs. Zombies GOTY Edition. 2009. Disponível em: https://store.steampowered.com/app/3590/Plants_vs_Zombies_GOTY_Edition/. Acesso: 25 mai. 2021.

STEAM. Timberman. 2015. Disponível em: <https://store.steampowered.com/app/398710/Timberman/?l=portuguese>. Acesso: 25 mai. 2021.

SUPER INTERESSANTE. “Darfur is Dying” – Quando os newsgames tentam mudar o mundo. 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/blog/newsgames/8220-darfur-is-dying-8221-8211-quando-os-newsgames-tentam-mudar-o-mundo/>. Acesso: 17 set. 2020.

SWYNGEDOUW, E. Transformando Águas Locais em Dinheiro Global. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 6, n. 1, p. 33-53, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.22296/2317-1529.2004v6n1p33>.

TETRA PAK. Tetra Pak investe em realidade aumentada para promover novas interações com os consumidores. 2019. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/about-tetrapak/news-and-events/newsarchive/tetra-pak-investe-em-realidade-aumentada-para-promover-novas-interacoes-com-os-consumidores>. Acesso: 25 abr. 2020.

THOMAS, C. *et al.* What makes people recycle? An evaluation of attitudes and behaviour in London Western Riverside. *In: INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION WORLD CONGRESS, 2003, Melbourne. Anais...* Melbourne: The Open University, 2003, 11 p. Disponível em: http://oro.open.ac.uk/3976/1/What_makes_people_recycle_C.Thooms.pdf. Acesso: 16 fev. 2021.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 4 ed., v. 1. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WALLACE, T. *et al.* International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management – A review. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 424-435, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.003>

WILSON, A. S. *et al.* Factors Associated with Player Satisfaction and Educational Value of Serious Games. *In: MA, M.; OIKONOMOU, A. (Eds). Serious Games and Edutainment Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2017, cap. 23, p. 513-535.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ROTEIRO SEMIESTRUTURADO PARA ENTREVISTAS EM ETES

ID. ETE:		Identificação Entrevista:	
Data:	Início (h):	Fim (h):	
Observações:			

Bloco	Temática	Questões de interesse	OK?
I	Chegada de materiais à ETE	a) Que tipos de resíduos sólidos (detritos) chegam ao tratamento preliminar? Quais são os mais comuns?	
		b) O sistema de gradeamento, peneiramento e remoção de areia é suficiente para lidar com o problema? O volume removido corresponde ao esperado?	
		c) Que tipos de resíduos não ficam retidos no peneiramento e alcançam o desarenador?	
		d) Há problemas de entupimento dos canais e tubos da rede? E da ETE?	
		e) Há aumento do volume de sólidos grosseiros, areia e outros resíduos em alguma época do ano? Qual?	
		f) Durante a estação chuvosa o volume de esgotos que chega à ETE aumenta em função da entrada das águas pluviais no sistema? Você acha que existem muitas ligações residenciais irregulares?	
II	Consequências para a operação e a limpeza	a) Como é a rotina de limpeza do tratamento preliminar? É manual ou mecanizada?	
		b) Já houve algum evento crítico, como acidentes ou extravasamento de alguma unidade? Como foi?	
		c) Como seria a rotina de manutenção na etapa preliminar se menos resíduos chegassem à ETE?	
III	Consequências para o tratamento	a) Como o tratamento é realizado quando há paralização para limpeza do sistema preliminar?	
		b) Quando há excesso de sólidos grosseiros, areia ou contaminantes no afluente, como fica a qualidade do efluente?	
		c) Há caracterização físico-química da fase líquida (antes e após tratamento) para identificar a concentração e a eficiência de remoção de detergentes, óleos e outras substâncias? Quais são os efeitos dessas substâncias no tratamento? Poderia citar mais alguma?	
		d) Você saberia relatar algum evento de desgaste ou danos causados por sólidos grosseiros ou contaminantes a algum equipamento?	
IV	Destinação final do material coletado	a) Qual é o tipo de preparação para transporte e descarte dos sólidos grosseiros e do lodo?	
		b) Quantos caminhões (e com qual volume) são retirados por dia contendo sólidos? E lodo?	
		c) Qual é o destino final do material retido no sistema preliminar? E do lodo?	
		d) Como é considerada a contaminação do lodo por fármacos (medicamentos) e outras substâncias?	
		e) Você saberia dizer se o local de disposição final já recusou o recebimento do material alguma vez? Por quê?	
V	Medidas para sensibilização e educação continuada	a) Você poderia relatar se a ETE já esteve envolvida em alguma medida de sensibilização da população? Teve apoio governamental? Como funcionava?	
		b) Você conhece programas de capacitação continuada para operadores?	
		c) Como os operadores incentivam medidas no convívio familiar e com pessoas próximas para contribuir com a boa utilização dos aparelhos sanitários? Você acha que alguma ferramenta educacional poderia ajudar? Qual? (Apresentar a ideia da plataforma digital gamificada).	

APÊNDICE B – CARTA DE ANUÊNCIA ENVIADA PARA A DIRETORIA DAS ETES

Prezados Pesquisadores,

Permitimos a execução da pesquisa, voltada à temática do uso inadequado dos aparelhos sanitários pela população e impactos sobre o sistema de esgotamento sanitário, mediante a participação de funcionários. Esta pesquisa é parte dos estudos necessários para o desenvolvimento de trabalhos de conclusão de curso (Trabalho Integralizador Multidisciplinar III – Engenharia Civil) e mestrado (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE - UFMG). Está registrada com o número CAAE 32821720.7.0000.5149, sendo a coleta de dados conduzida após aprovação.

O trabalho apresenta, como objetivo central, o desenvolvimento de um meio pedagógico para a educação dos usuários de serviços de saneamento. Envolve, dentre outras atividades, o conhecimento dos impactos em estações de tratamento de esgotos (ETEs). A gestão do saneamento no Brasil é historicamente complexa, sendo a educação da população em torno da utilização dos serviços fator de grande importância. Nesse sentido, novas metodologias de aprendizado podem melhor orientar os usuários sobre o descarte de resíduos sólidos em aparelhos sanitários. O desenvolvimento dessas metodologias justifica a coleta de dados em ETEs para melhor compreensão da questão.

A coleta de dados será realizada por meio de entrevistas semiestruturadas à distância (dadas as condições sanitárias para combate à COVID-19). Nessas entrevistas, o participante responde oralmente, de forma livre, a algumas questões temáticas norteadoras, propostas para orientar a conversa. Uma outra pessoa estará presente, além do entrevistador, para realizar anotações sobre a discussão. Estima-se duração aproximada de 30 minutos. Deseja-se, se possível, entrevistar uma pessoa em cargo de gerência, que tenha visão geral dos processos de tratamento e logística, e um operador, que acompanhe diariamente a etapa de tratamento preliminar.

A participação na pesquisa apresenta caráter opcional e não haverá benefício individual aos participantes. Os entrevistados poderão, a qualquer momento, deixar de responder as questões

propostas, bem como retirar o consentimento, sem qualquer penalização, conforme apresentado em Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O áudio (e apenas o áudio) das entrevistas precisa ser gravado para possibilitar a posterior análise do conteúdo pelos pesquisadores. Contudo, como forma de minimização de riscos para os participantes e ETes, evitando-se a exposição, as respostas não serão associadas a qualquer informação pessoal ou da unidade, sendo a participação anônima. Por se tratar de pesquisa de opinião, não existem respostas corretas ou incorretas.

De forma a complementar o trabalho de caracterização dos efeitos em ETes, serão fornecidos, se possível, dados quantitativos mensais sobre a população atendida, as vazões médias de projeto e operação, os picos de vazão, a massa do material coletado em cada unidade de pré-tratamento (como grades grossas, grades finas, desarenadores e peneiras), as características dos resíduos retidos, a massa e o teor de umidade do lodo desidratado, o número total de caminhões enviados ao aterro e condições gerais de tratamento, considerando a elaboração de série histórica, sendo essencial principalmente o período de 2017 até a atualidade.

INFORMAÇÕES PARA CONTATO

Dúvidas de aspecto ético podem ser esclarecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG).

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), a ser apresentado aos entrevistados, foi encaminhado em anexo para análise. Os pesquisadores estão disponíveis para prestar esclarecimentos e podem ser contatados. A orientadora é a pesquisadora responsável pelo projeto, respondendo por sua consistência jurídica.

APÊNDICE C – TCLE PARA PARTICIPAÇÃO EM ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Prezado(a) Senhor(a),

Por meio deste termo convidamos você a participar de uma pesquisa que servirá para entendermos melhor como o uso inadequado dos equipamentos sanitários pela população pode causar impactos no sistema de esgotamento sanitário. Caso não compreenda alguma das palavras ou tenha dúvidas sobre o conteúdo, por favor pergunte aos pesquisadores.

Buscando caracterizar a situação, utilizaremos a metodologia de entrevistas semiestruturadas, realizadas à distância e por meios digitais. Nessas entrevistas, o participante responde oralmente, de forma livre, a algumas questões temáticas propostas para orientar a conversa. Além do entrevistador, uma outra pessoa realiza anotações sobre a discussão. Estima-se duração aproximada de 30 minutos.

A participação na pesquisa é opcional e não haverá recompensa financeira ou privilégio. Caso exista desconforto em decorrência de alguma questão proposta, você tem total liberdade para deixar de responder, evitando o incômodo. Você pode, também, retirar seu consentimento ou parar a entrevista a qualquer momento, sem qualquer tipo de penalização, bastando informar a decisão aos pesquisadores. Ressaltamos que objetiva-se apenas conhecer sua opinião e não existem, portanto, respostas corretas ou incorretas.

O áudio (e apenas o áudio) das entrevistas será gravado para permitir a análise do conteúdo pelos pesquisadores em graduação e mestrado. Contudo, como forma de minimização de riscos, evitando-se a exposição, as respostas não serão associadas a qualquer tipo de informação pessoal, sendo a participação anônima. As identidades dos participantes e das estações de tratamento de esgotos (ETEs) serão mantidas em total sigilo, seja em estudos acadêmicos ou para fins educacionais. Os Termos de Consentimento e as gravações serão armazenados em sala segura na Escola de Engenharia da UFMG e serão manipulados apenas pelos pesquisadores. O material será mantido por até 5 anos, caso necessário, para a utilização em pesquisas acadêmicas, sendo posteriormente eliminado.

Este Termo será lido em voz alta antes do início da entrevista e você poderá esclarecer suas dúvidas com os pesquisadores. Sua percepção é muito importante para a pesquisa e irá colaborar com o melhor entendimento de questões ligadas à educação para o saneamento no Brasil.

INFORMAÇÕES PARA CONTATO

Esta pesquisa é parte dos estudos necessários para o desenvolvimento de um meio pedagógico voltado à educação em saneamento, estando associada a trabalhos de conclusão de curso (Trabalho Integralizador Multidisciplinar III – Engenharia Civil) e mestrado (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE – UFMG). Está registrada com o número CAAE 32821720.7.0000.5149, sendo a coleta de dados conduzida após aprovação. Dúvidas de aspecto ético podem ser esclarecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG).

Os pesquisadores estão disponíveis para prestar esclarecimentos e podem ser contatados. A orientadora é a pesquisadora responsável pelo projeto, respondendo por sua consistência jurídica.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO

Declaro que as informações contidas neste termo foram lidas por mim ou explicadas por outra pessoa e que compreendo a linguagem técnica utilizada, sendo as minhas dúvidas esclarecidas pelos pesquisadores. Entendo, também, que posso me retirar do estudo em qualquer etapa, sem prejuízos. Confirmando que recebi a 2ª via deste documento e dou meu consentimento de livre e espontânea vontade para participar.

APÊNDICE D – CONVITE PARA PARTICIPAÇÃO EM GRUPO FOCAL

Olá! Meu nome é Diego e gostaria de lhe convidar para uma pesquisa que busca entender o quê as pessoas pensam sobre o esgotamento sanitário. Queremos apresentar e discutir novas abordagens educativas sobre ele.

Iremos realizar grupos focais, que são pequenas reuniões, com 6 a 8 pessoas, nas quais os participantes respondem oralmente, de forma livre, a algumas questões propostas. Essas reuniões serão à distância e irão durar entre 30 minutos e 1 hora. Os participantes serão todos jovens e em idade acadêmica.

As conversas serão conduzidas por mim, o moderador, e também contarão com a participação de outra pessoa para a realização de anotações. O áudio será gravado para que eu possa escutar posteriormente. Todas as respostas serão anônimas e não terão identificação dos participantes. A participação é opcional e você não é obrigado(a) a responder as questões propostas. Você também poderá deixar a reunião quando quiser, bem como retirar sua permissão.

Suas respostas são muito importantes para o estudo e a melhoria das condições de saneamento em nosso País! Seremos muito gratos caso você possa participar. Esta pesquisa está associada a meu trabalho de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Para entrarmos em contato, precisaremos das informações abaixo. Após definição de data e horário, será enviado um link para acesso à reunião.

Contato do pesquisador: telefone: (31) 98220-8640; e-mail: augustus.senna@yahoo.com.br.

INFORMAÇÕES PRELIMINARES PARA PARTICIPAÇÃO

- (1) Qual é o seu primeiro nome (ou apelido)?
- (2) Qual é a sua idade?
- (3) Qual é a sua escolaridade?

Opções: ensino fundamental incompleto, ensino fundamental completo, ensino médio incompleto ou em andamento, ensino médio completo, ensino superior incompleto ou em andamento, ensino superior completo, pós-graduação (em andamento ou concluída), prefiro não dizer.

(4) Qual é o seu curso de graduação? Caso não tenha, escreva “Nenhum”. Caso não queira informar, deixe em branco.

(5) Onde estuda (ou estudou) a graduação? Caso não tenha, escreva “Nenhum”. Caso não queira informar, deixe em branco.

(6) Qual é o seu telefone? Pode ser fixo ou celular. Caso não tenha, escreva “Nenhum”. Caso não queira informar, deixe em branco.

(7) Qual é o seu e-mail? Caso não tenha, escreva “Nenhum”.

(8) Qual é o melhor dia da semana para participar? Você pode selecionar mais de um.

Opções: segunda, terça, quarta, quinta, sexta, sábado, domingo.

(9) Qual é o melhor turno? Você pode escolher mais de um.

Opções: manhã, tarde, noite.

(10) Quais dessas plataformas digitais de conversa você pode ou prefere usar? É possível selecionar mais de uma opção. Todas podem ser usadas tanto no computador quanto no celular (smartphone).

Opções: Discord, Google Meet (Hangouts), Microsoft Teams, Skype, Zoom, não sei usar esses aplicativos, outros.

APÊNDICE E – ROTEIRO PARA CONDUÇÃO DE GRUPOS FOCAIS

Identificação do GF:		Plataforma Digital:	
Data:		Início (h):	Fim (h):

Bloco	Temática	Questões abordadas
S	Introdução	Primeiramente será enviado, aos participantes, o TCLE. O documento será lido em voz alta pelo moderador e haverá tempo para a resolução de dúvidas. A autorização verbal será, então, solicitada.
T1	O que é jogado nos aparelhos sanitários?	Nesta seção, as perguntas iniciais buscam incitar conversas mais descontraídas, capazes de promover o entrosamento do grupo. O andamento da discussão poderá provocar alterações nos demais blocos. <ul style="list-style-type: none"> • O que observam ser depositado em aparelhos sanitários (pias, vasos sanitários, tanques e outros)? E em “tampas de bueiro”? • O que mais imaginam ser depositado?
T2	Quais problemas são provocados?	A pergunta inicial deste bloco será ampla, buscando captar, de forma livre, os pensamentos dos usuários. Dependendo das respostas, questionamentos referentes aos itens apontados no bloco anterior serão realizados para direcionar a discussão. <ul style="list-style-type: none"> • Quais problemas e dificuldades são causados por esses lançamentos? Será fornecida breve explicação, com imagens, sobre os problemas condicionados por lançamentos inadequados em aparelhos sanitários e redes de coleta. • Quais detritos (e impactos) mais chamaram a atenção de vocês? • Entre os detritos “estranhos”, algum deixou vocês surpresos?
T3	Como o conhecimento poderia ser acessado?	Neste bloco, espera-se que os participantes identifiquem causas e apresentem soluções para o problema. <ul style="list-style-type: none"> • Por que isso ocorre? Por que as pessoas jogam essas coisas no esgoto? Como podemos resolver isso? Posteriormente, questiona-se sobre a questão da sensibilização: <ul style="list-style-type: none"> • Como o conhecimento sobre o assunto poderia ser acessado pela sociedade, facilitando o entendimento sobre a utilidade dos aparelhos sanitários e redes coletoras de esgoto?
T4	Como seria o aprendizado em plataforma digital?	Este bloco será iniciado pela primeira questão abaixo. Após discussão, será apresentada a plataforma gamificada, em vídeo, e então a segunda questão será proposta, buscando identificar reações e obter sugestões. <ul style="list-style-type: none"> • E se houvesse uma plataforma digital para compartilhar esse conhecimento? Como seria? • O que sugerem para o sucesso do projeto?

Observações:

APÊNDICE F – TCLE PARA PARTICIPAÇÃO EM GRUPO FOCAL

Prezado(a) Senhor(a),

Por meio deste termo convidamos você a participar de uma pesquisa que busca determinar percepções coletivas sobre o saneamento. Caso não compreenda alguma das palavras ou tenha dúvidas sobre o conteúdo, por favor pergunte aos pesquisadores.

Buscando estudar o que as pessoas pensam sobre o tema, serão realizados, por meios digitais, grupos focais, que são pequenas reuniões, com 8 a 12 pessoas, nas quais os participantes respondem oralmente, de forma livre, a algumas questões propostas por um moderador, que será acompanhado de uma ou duas pessoas para a realização de anotações sobre a discussão. Estima-se duração aproximada de 30 minutos a 1 hora. O único critério de seleção para este grupo focal é _____ (o texto foi inserido conforme o grupo a que se destina: 1. estar matriculado(a) em algum curso de ensino médio ou superior; 2. ser funcionário(a) de repartição pública e trabalhar com limpeza; 3. residir em algum imóvel pertencente a seu condomínio). Todos os participantes serão maiores de idade.

A participação na pesquisa é opcional e não haverá recompensa financeira ou privilégio. Por haver diálogo com outras pessoas, pode ocorrer exposição individual, e as questões propostas e o debate resultante podem eventualmente causar algum desconforto. Visando evitar o incômodo, os participantes têm total liberdade para deixar de responder, estando o moderador – devidamente preparado – também presente para fornecer apoio e reorientar a discussão. Os participantes podem também retirar seu consentimento ou deixar a reunião a qualquer momento, sem qualquer tipo de penalização, bastando informar a decisão aos pesquisadores. Ressaltamos que objetiva-se apenas conhecer a opinião de cada pessoa e não existem, portanto, respostas corretas ou incorretas.

O áudio (e apenas o áudio) das reuniões será gravado para permitir a análise do conteúdo pelo pesquisador em mestrado. Contudo, como forma de minimização de riscos para os participantes, evitando-se a exposição, as respostas não serão associadas a qualquer informação pessoal, sendo a participação anônima. As identidades dos participantes serão mantidas em total sigilo, seja em estudos acadêmicos ou para fins educacionais. Os resultados serão expressos como referentes ao grupo, e não aos indivíduos. Os Termos de

Consentimento, as fichas de caracterização e as gravações serão armazenados em sala segura na Escola de Engenharia da UFMG e serão manipulados apenas pelo pesquisador. O material será mantido por até 5 anos, caso necessário, para a utilização em pesquisas acadêmicas, sendo posteriormente eliminado. Sua percepção é muito importante para a pesquisa e irá colaborar com o melhor entendimento de questões ligadas à gestão do saneamento no Brasil.

Este Termo será lido em voz alta antes do início da reunião. Os participantes poderão tirar suas dúvidas e será solicitado o preenchimento de uma ficha de caracterização, contendo campos para primeiro nome, cor, emprego, escolaridade (anos de estudo), instituição de ensino onde estuda (ou estudou), idade, naturalidade e sexo. O preenchimento do questionário não é obrigatório e pode ser realizado total ou parcialmente.

INFORMAÇÕES PARA CONTATO

Esta pesquisa é parte dos estudos necessários para o desenvolvimento de um trabalho de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE – UFMG). Está registrada com o número CAAE 32821720.7.0000.5149, sendo a coleta de dados conduzida após aprovação. Dúvidas de aspecto ético podem ser esclarecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG).

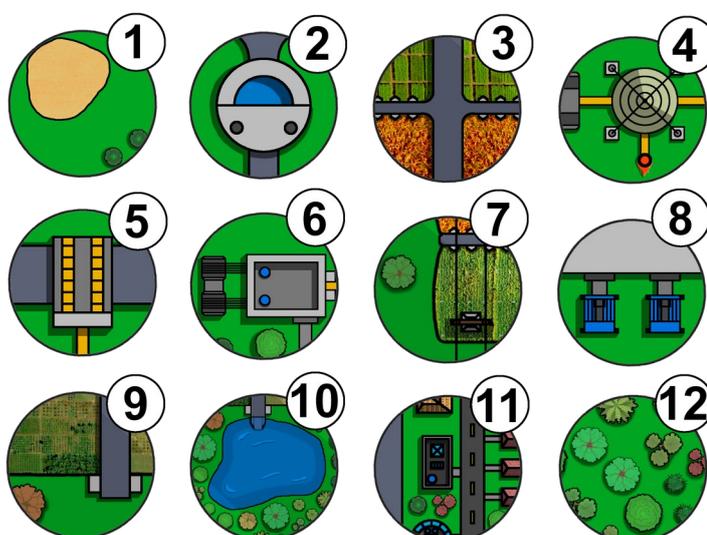
Os pesquisadores estão disponíveis para prestar esclarecimentos e podem ser contatados. A orientadora é a pesquisadora responsável pelo projeto, respondendo por sua consistência jurídica.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO

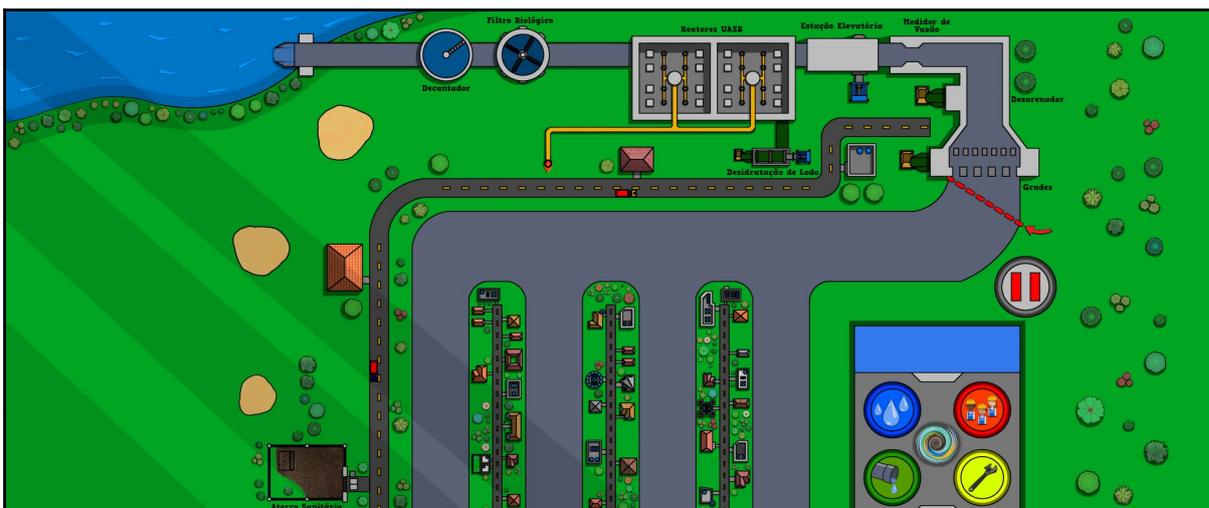
Declaro que as informações contidas neste termo foram lidas por mim ou explicadas por outra pessoa e que compreendo a linguagem técnica utilizada, sendo as minhas dúvidas esclarecidas pelos pesquisadores. Entendo, também, que posso me retirar do estudo em qualquer etapa, sem prejuízos. Confirmando que recebi a 2ª via deste documento e dou meu consentimento de livre e espontânea vontade para participar.

APÊNDICE G – PROGRESSÃO DA INTERFACE DO APLICATIVO

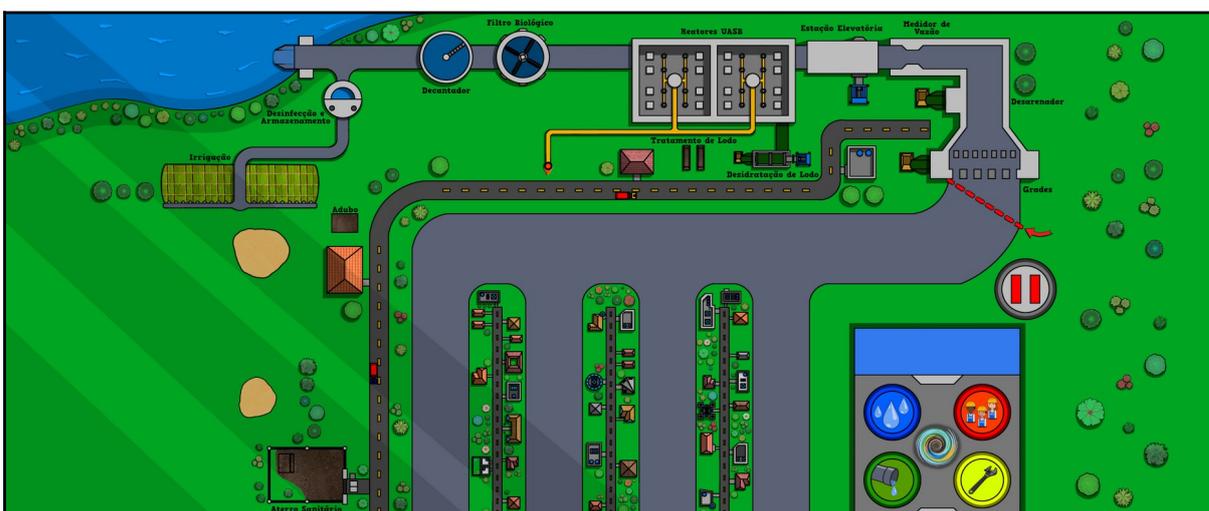
Nv.	Descrição
1	Ah, a pequena cidade de Belo Mirante dos Campos! Ela pode se desenvolver e a ETE pode ajudar. Podemos começar recuperando a área desmatada à esquerda.
2	Adicione uma unidade de desinfecção e armazenamento de água de reúso e a população poderá usar o esgoto tratado na agricultura. Adicione também um local para tratamento do lodo de esgoto por compostagem e teremos adubo!
3	A agricultura está dando certo! Que tal ajudá-la a crescer? Adicione mais área para o cultivo e plante algumas árvores para melhorar o ambiente da cidade!
4	Com a ajuda da ETE e a preservação do meio ambiente, mais pessoas estão vindo morar aqui. Veja as novas moradias! Com o aumento do volume de esgoto gerado, há mais biogás nos reatores UASB. Agora a ETE terá uma unidade de armazenamento e tratamento do biogás para uso como gás de cozinha.
5	Parte do biogás ainda fica dissolvido no esgoto após a saída do reator. Que tal adicionar uma unidade de dessorção de gases para recuperar o biogás que está sendo perdido? Plante também mais algumas árvores para melhorar o ambiente da cidade!
6	O biogás também pode ser utilizado para gerar calor e eletricidade! Adicione uma unidade para gerar essa energia.
7	Sua ETE está gerando muita energia! Que tal ajudar na distribuição de eletricidade da cidade? Adicione torres de transmissão! Mais pessoas estão chegando e a agricultura cresceu!
8	Novas edificações foram construídas! Com o aumento da população, precisamos de mais uma motobomba para transportar o esgoto dentro da ETE. Mais lodo de esgoto está sendo gerado, e então podemos ampliar a compostagem para transformá-lo em adubo. Que tal também plantar mais algumas árvores?
9	A plantação cresceu ainda mais e novas árvores foram adicionadas para ajudar na recuperação da mata de proteção perto do rio.
10	Que tal aproveitarmos mais esgoto tratado para construirmos uma área de recreação e reflorestamento? Crie um novo lago e melhore o meio ambiente em volta dele!
11	A cidade cresceu bastante! Veja como ficou bonita, com novas edificações e árvores!
12	A área de reflorestamento ao redor do lago se desenvolveu ainda mais. Criamos um ambiente bem legal! Parabéns!



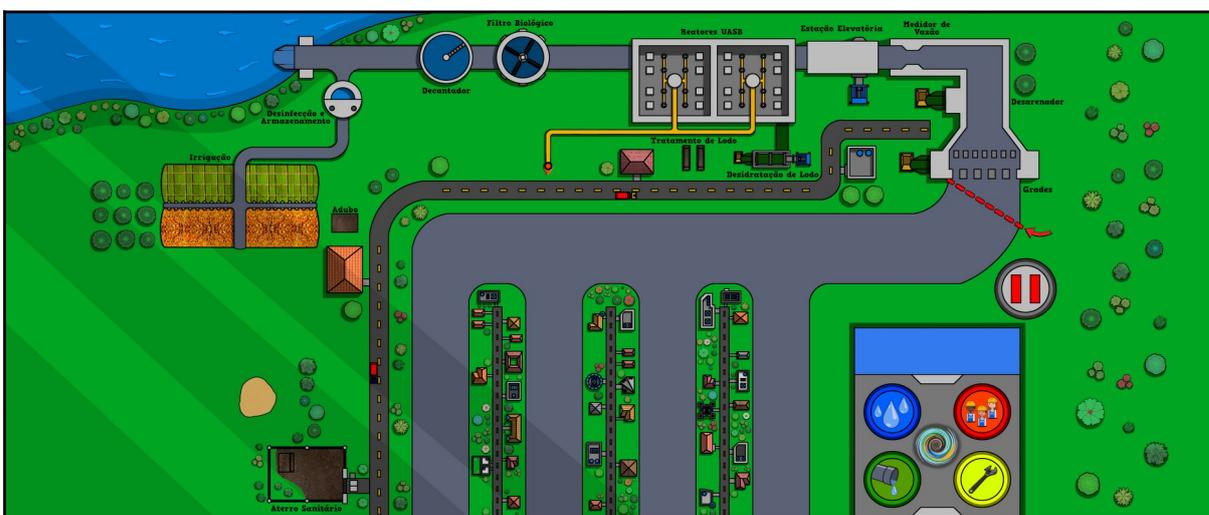
Nível 1:



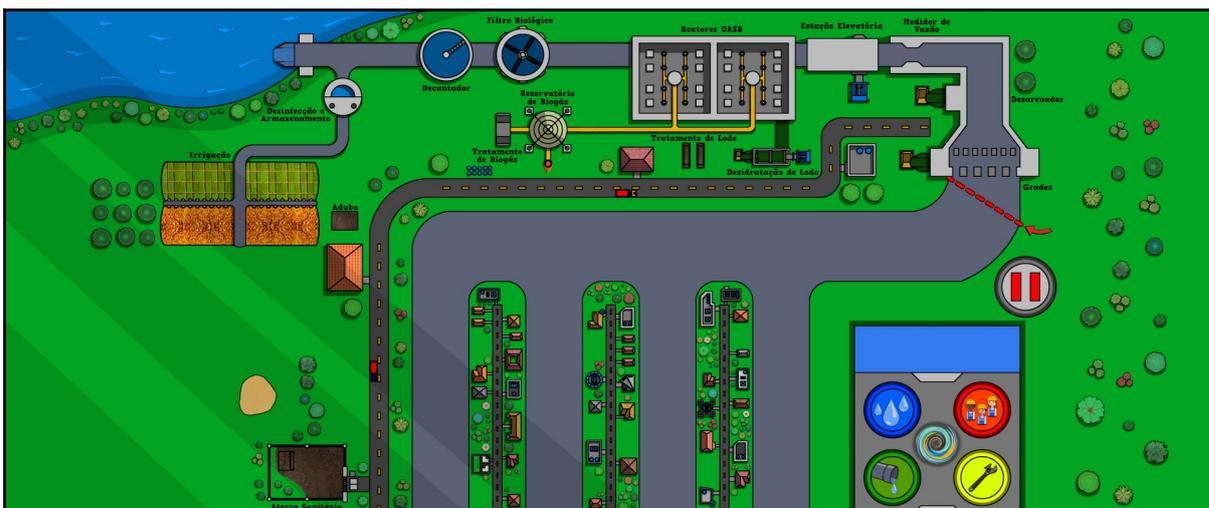
Nível 2:



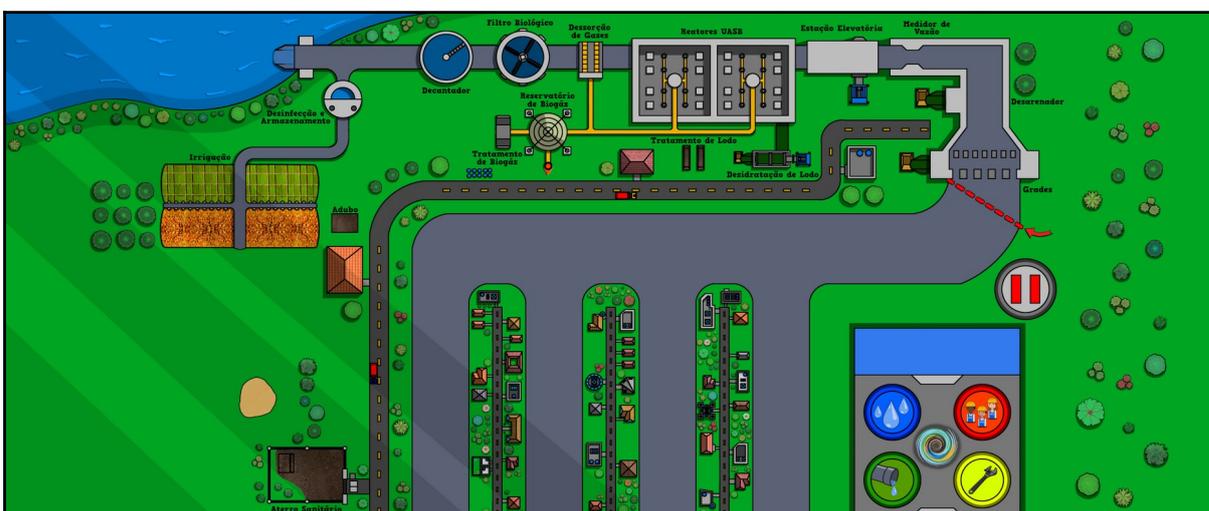
Nível 3:



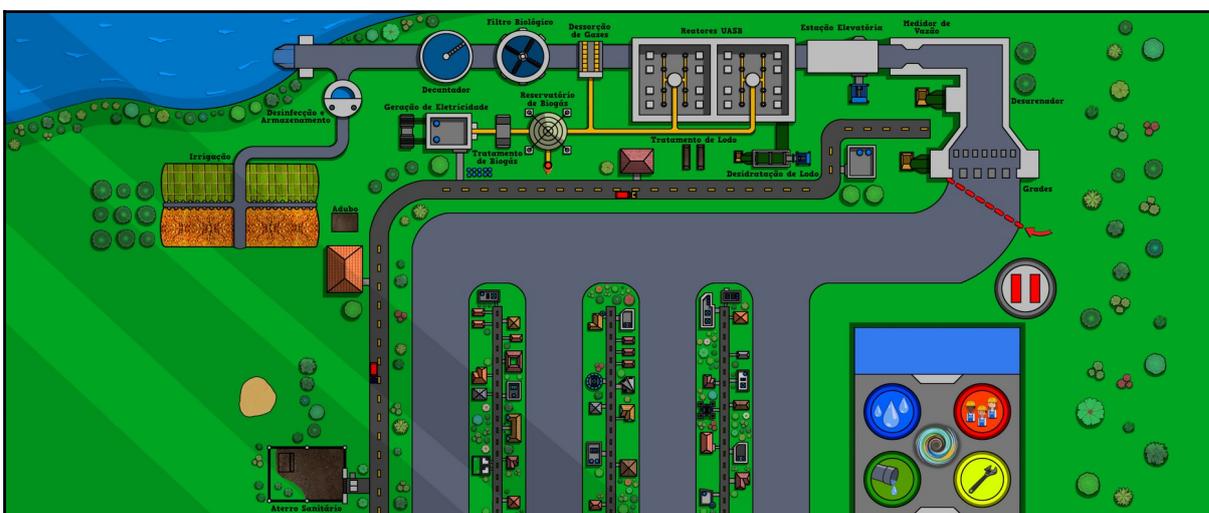
Nível 4:



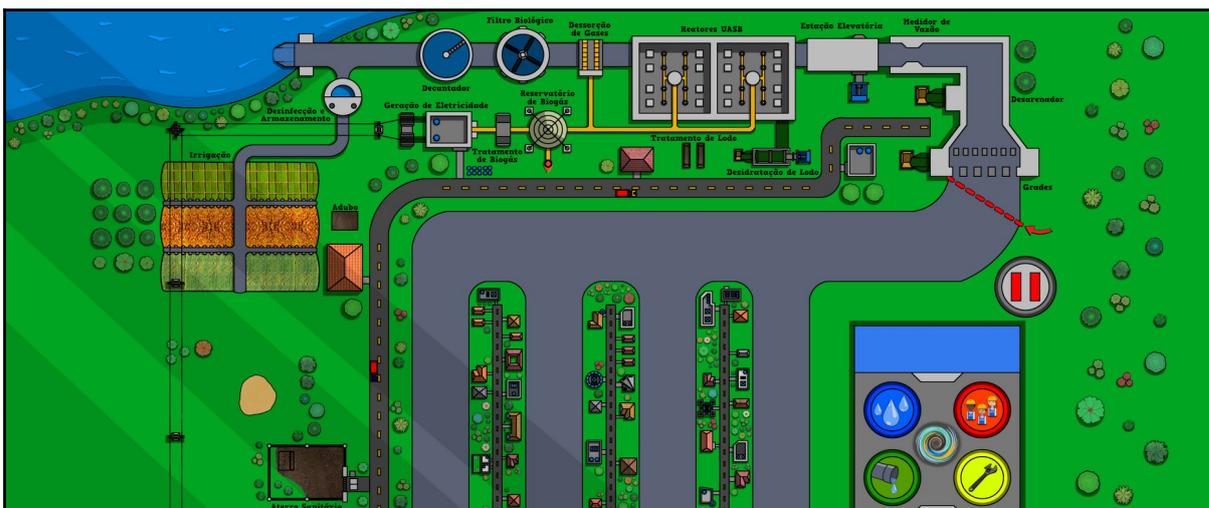
Nível 5:



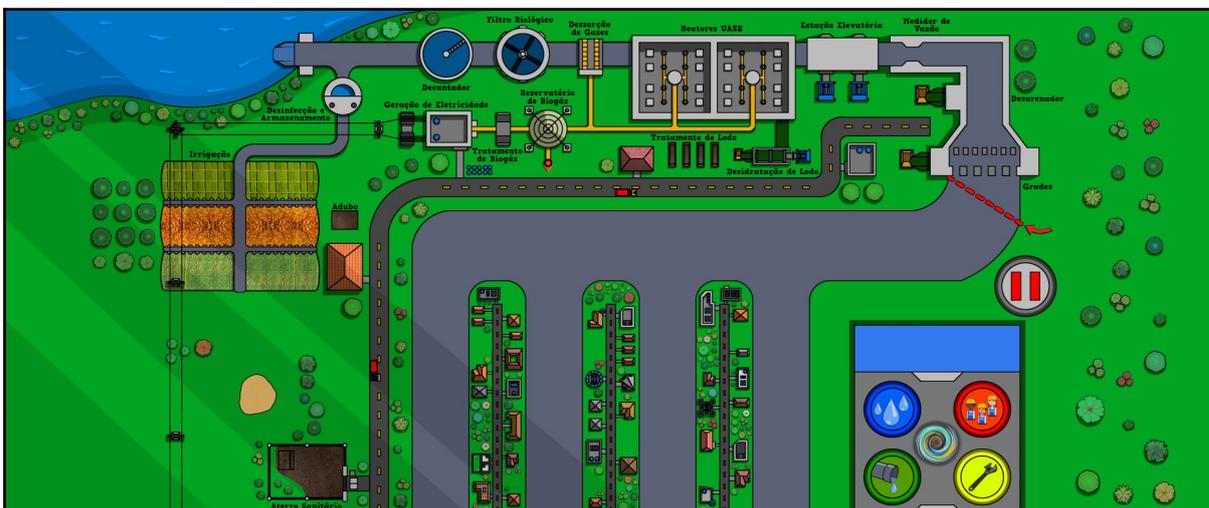
Nível 6:



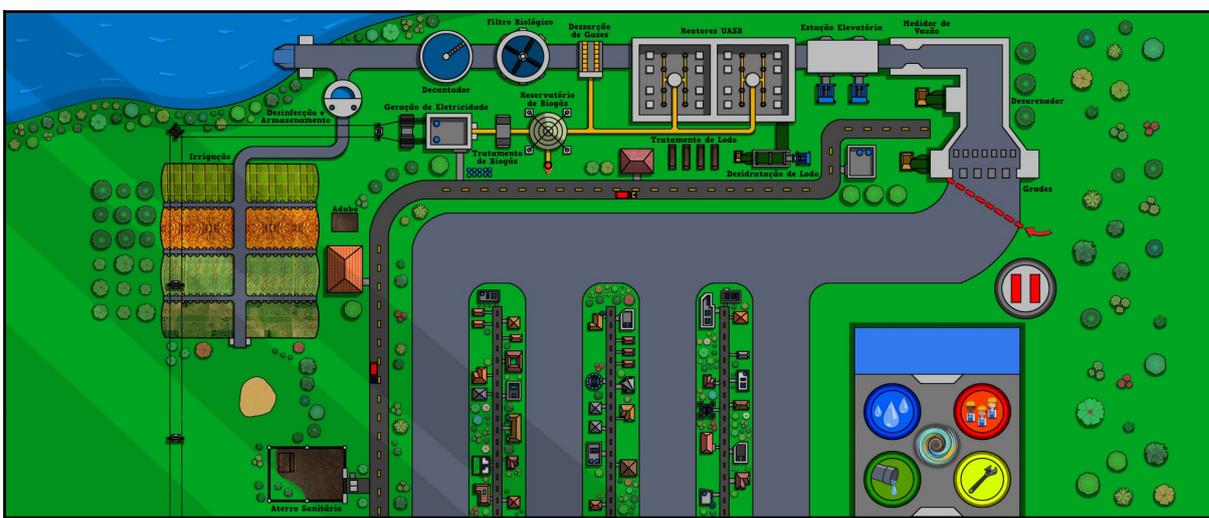
Nível 7:



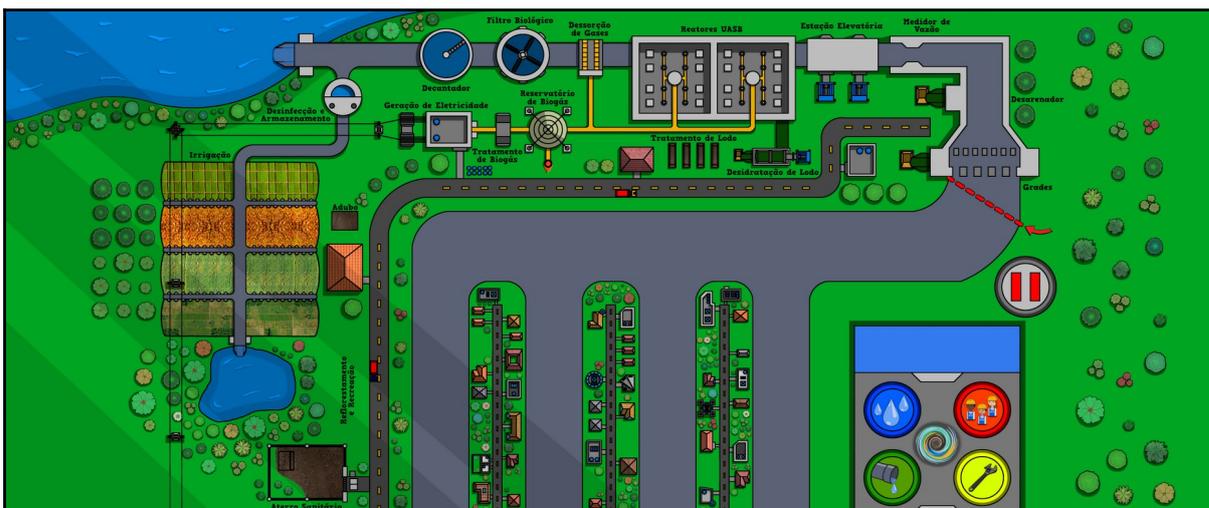
Nível 8:



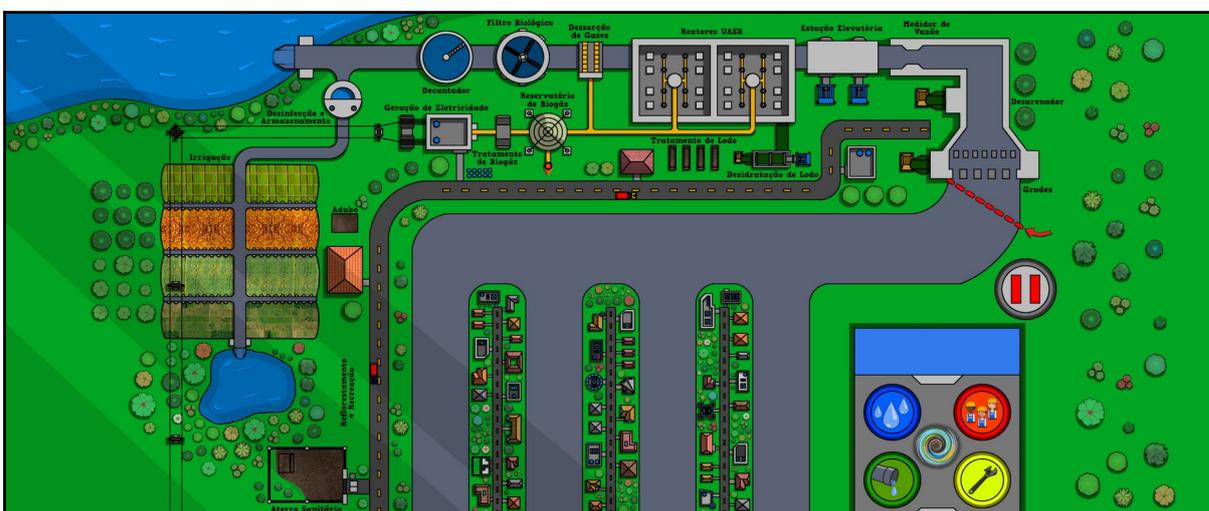
N vel 9:



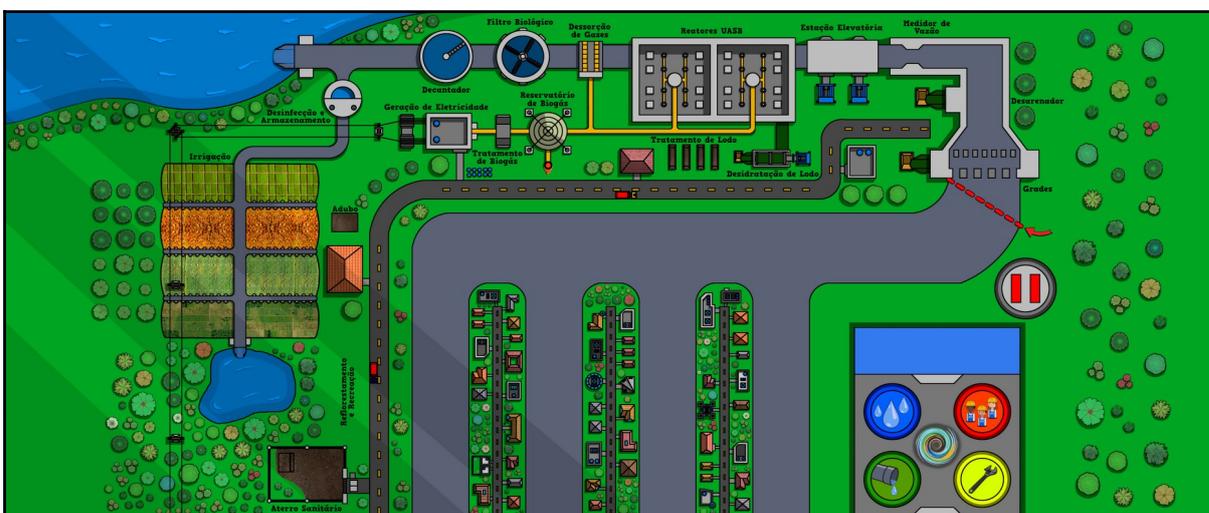
Nível 10:



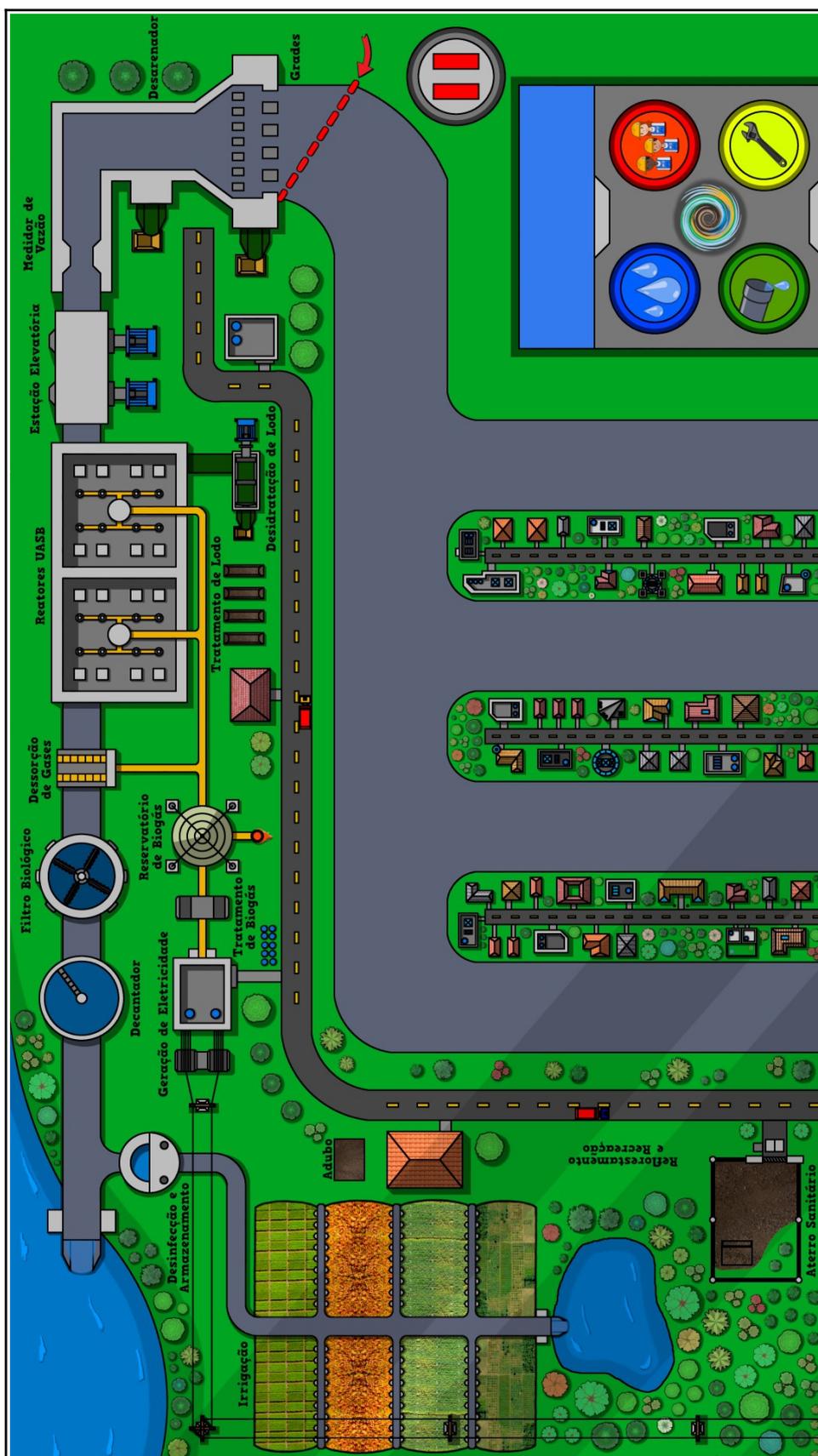
Nível 11:



Nível 12:

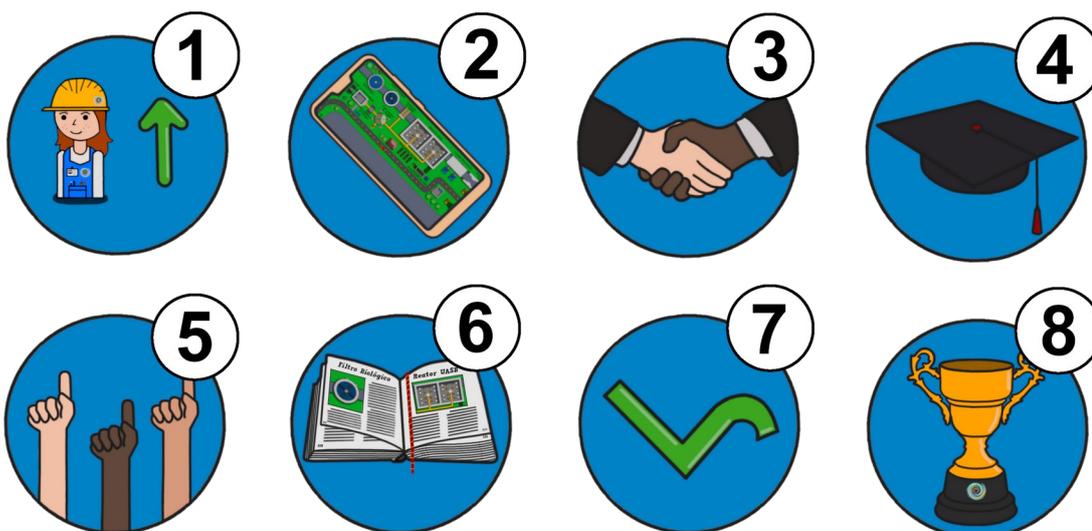


Arte ampliada (versão 16:9):



APÊNDICE H – DESCRIÇÃO DOS ITENS DE GESTÃO E EDUCAÇÃO DO APLICATIVO

Nv.	Descrição textual	Efeitos
1	Com um curso de treinamento, os operadores da ETE ficaram mais eficientes para desentupir os tubos.	O número de toques necessários para desentupir uma tubulação é reduzido em 1.
2	Um jogo sobre a ETE está ajudando a sensibilizar as pessoas, promovendo boas práticas sanitárias.	A perda de pontos por demorar a coletar resíduos é reduzida em 10%.
3	Os gestores da ETE estão conversando mais com o governo, e agora a ETE recebe mais apoio.	Aumenta o número de chances de 8 para 9.
4	Estão sendo desenvolvidas pesquisas junto com universidades. Foram descobertas novas tecnologias que podem melhorar o tratamento de esgoto!	A perda de pontuação por demorar a coletar resíduos é reduzida em 20%.
5	A ETE está mais acessível para a população e as pessoas podem visitar a unidade para conhecer as operações!	Aumenta o número de chances de 9 para 10.
6	Mais atividades foram criadas para treinar os operadores da ETE, que ficaram mais contentes com seu trabalho e carreira, melhorando a eficiência dos processos.	Aumenta o limite do inventário de cada <i>Power-Up</i> em 1 (totalizando 3 itens de cada tipo por nível).
7	Sua ETE é um exemplo para as outras. Os operadores trocam experiências com outros trabalhadores e todos saem ganhando!	Ganhe 10% de pontos adicionais em todos os níveis.
8	Parabéns! Você concluiu o jogo e aprendeu muitas coisas sobre a coleta e o tratamento de esgotos! Continue jogando e mostre sua pontuação no ranking! Não se esqueça de compartilhar seu conhecimento e nunca jogar lixo no vaso sanitário, na pia ou na rua.	Você ganha três chances adicionais caso esteja prestes a perder o jogo (apenas uma vez por nível).



APÊNDICE I – MECANISMOS DE POWER-UP DO APLICATIVO

Item	Descrição textual	Efeitos
1 - Campanhas emergenciais	Campanhas emergenciais: em épocas chuvosas, converse com a população para remover tubos de água de chuva de telhados que estão ligados no esgoto. Com menos água de chuva no esgoto, o tratamento funciona bem melhor.	Zera a Barra de Extravasamento, voltando a ganhar pontos.
2 - Controle de ligações irregulares	Em épocas de chuva, peça a um grupo de funcionários para fiscalizar e remover ligações irregulares de águas pluviais no esgoto.	A Barra de Extravasamento irá encher com velocidade 30% menor por 15 segundos.
3 - Limpeza de emergência	Muitos resíduos ficaram presos na rede coletora. Faça uma ação de emergência chamando os operadores para desentupir rapidamente todos os tubos.	Limpa imediatamente todos os resíduos agarrados na tubulação.
4 - Inspeção das tubulações	Diga aos operadores para inspecionarem as tubulações da rede e da ETE. Ao remover a gordura e trocar alguns tubos, o esgoto passa mais facilmente.	Reduz a chance de resíduos ficarem presos em 30% por 15 segundos.

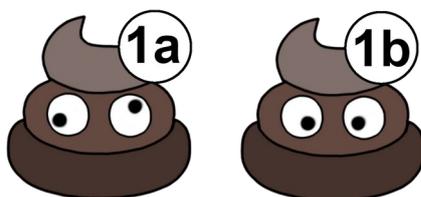


APÊNDICE J – DETRITOS E SUBSTÂNCIAS CONSIDERADOS NO APLICATIVO

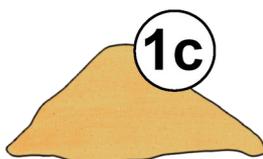
Nv.	Item	Material textual	Agarra?
1	Matéria orgânica	Você sabia que a principal função da ETE é remover a matéria orgânica (MO) presente no esgoto? Ou seja, NÃO clique em nosso amigo marrom ou você perderá pontos!	Não
	Ligações irregulares de águas pluviais	Sabia que a água de chuva coletada na calha do telhado e nos quintais não pode ser direcionada para a rede coletora de esgoto? Ela pode sobrecarregar a tubulação, retornando para as ruas e residências, e a ETE, danificando equipamentos, prejudicando o tratamento e causando o lançamento de esgoto não tratado nos cursos d'água. Faça campanhas para sensibilizar a população e evitar esse problema! Clique no primeiro botão à direita quando a barra azul encher ou você não ganhará pontos!	Não
	Areia	Junto com a água de chuva, muita areia chega à ETE. Ela sobrecarrega os desarenadores, entope tubos, danifica os equipamentos e se acumula no fundo dos tanques de tratamento de esgoto, afetando a eficiência do processo.	Não
	Resíduos	Sacolas e garrafas plásticas, canudinhos, embalagens de iogurte e creme dental, eletrônicos, fraldas, jornais... Esses materiais não podem ser jogados no vaso sanitário e nem na rua! Quando chegam ao esgoto, entopem os tubos. Na ETE, precisam ser removidos na grade.	Sim
2	Óleos e despejos gordurosos	Sabia que o óleo de cozinha jogado na pia prejudica muito a coleta e o tratamento do esgoto? Não devemos jogar óleos no esgoto! Além de entupirem os tubos, prejudicam o tratamento e podem até impermeabilizar os leitos dos rios!	Sim
3	Resíduos que aderem com facilidade às gorduras	Cotonetes, algodões, lenços, pedaços de cigarro... Esses resíduos se juntam às gorduras, entopem tubos, causam mau cheiro e atrapalham a transformação do lodo em adubo. Devem ser jogados na lixeira!	Sim
4	Absorventes e preservativos	Além de prejudicarem a passagem do esgoto, absorventes e preservativos podem transmitir doenças caso entrem em contato com outras pessoas.	Sim
5	Detergentes (em excesso)	Os detergentes são encontrados no esgoto. Mas, se estiverem em grande quantidade, podem prejudicar o tratamento e gerar espuma no esgoto tratado.	Não
6	Medicamentos	Não devemos jogar medicamentos na pia ou no vaso sanitário! Eles podem gerar inconvenientes ao meio ambiente e contribuem para a seleção de microrganismos resistentes, como o terrível Bacterix, vilão do jogo!	Não
7	Substâncias contaminantes e perigosas	Tintas, vernizes e solventes são produtos perigosos! Não devemos jogar essas e outras substâncias químicas no esgoto: elas devem ser retornadas em logística reversa, assim como os medicamentos.	Não

CATEGORIA 1

Item 1.1: Matéria orgânica (MO). Representações: amontoados de MO (1a, 1b).



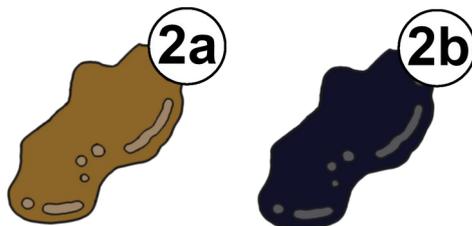
Item 1.3: Areia. Representação: grãos de areia arranjados em montes.



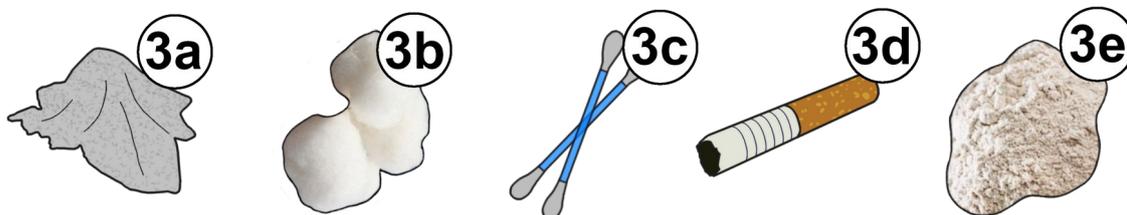
Item 1.4: Resíduos. Representações: sacolas plásticas (1d), garrafas plásticas (1e), copos de iogurte (1f), canudinhos plásticos (1g), recipientes de creme dental (1h), escovas de dente (1i), bijuterias (1j), bolas de brinquedo (1k), fraldas descartáveis (1l), jornais (1m), sapatos (1n), smartphones (1o), pilhas (1p) e pedaços de cabelo (1q).



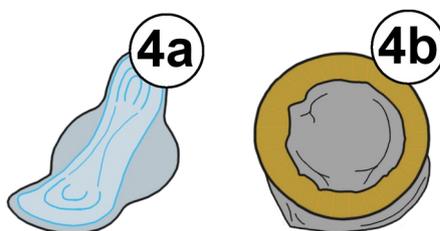
CATEGORIA 2: Óleos e despejos gordurosos. Representações: manchas oleosas douradas (2a) e escurecidas (2b).



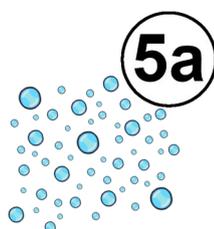
CATEGORIA 3: Resíduos que aderem com facilidade às gorduras. Representações: lenços descartáveis (3a), pedaços de algodão (3b), cotonetes (3c), “tocos” de cigarro (3d) e materiais pulverizados – farinha (3e).



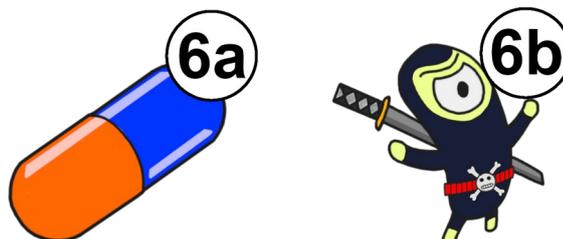
CATEGORIA 4: Absorventes e preservativos. Representações: absorventes (4a) e preservativos (4b).



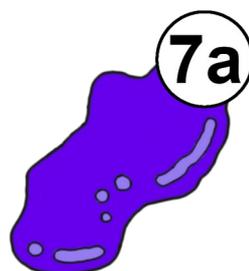
CATEGORIA 5: Detergentes (em excesso). Representação: detergentes em bolhas (5a).



CATEGORIA 6: Medicamentos. Representações: comprimidos (6a) e microrganismos “Bacterix” super-resistentes (6b).



CATEGORIA 7: Substâncias contaminantes e perigosas. Representação: tintas (7a).



APÊNDICE K – QUESTÕES DO QUIZ DO APLICATIVO

CATEGORIA 1 – Materiais que não devem ser jogados no esgoto e seu destino correto

Q1.1: O óleo de cozinha jogado na pia causa os seguintes problemas, exceto:

- A: Entope tubulações.
- B: Impermeabiliza leitos de rios.
- C: Contribui para criar bactérias resistentes.
- D: Acumula nos equipamentos da ETE.

Q1.2: Estações de tratamento de esgotos ficam sobrecarregadas em épocas de chuva porque:

- A: As pessoas usam mais água.
- B: Há tubos de água de chuva ligados na rede coletora de esgoto.
- C: A capacidade de tratamento diminui.
- D: Cai muita água nos equipamentos.

Q1.3: Não devemos jogar medicamentos na pia ou no vaso sanitário, porque:

- A: Alteram a cor da água.
- B: Ainda podem ser usados.
- C: Ficam presos na grade da ETE.
- D: Podem contaminar rios e selecionar organismos resistentes.

Q1.4: A matéria orgânica (MO) presente no esgoto:

- A. Deve ser removida na ETE.
- B. Prejudica o tratamento na ETE.
- C. Não pode ser removida.
- D. É composta principalmente por plásticos.

Q1.5: O excesso de areia é ruim para as estações de tratamento de esgotos, já que:

- A. Aumenta a quantidade de matéria orgânica no esgoto.
- B. Reduz o oxigênio dissolvido no esgoto.
- C. Diminui o volume útil das unidades e causa desgaste nos equipamentos.

D. Pode entupir as grades grossas.

Q1.6: Os detergentes:

A. Podem ser jogados no esgoto em qualquer quantidade.

B. Não podem ser jogados nas pias.

C. Em excesso, podem prejudicar o tratamento e causar a formação de espuma.

D. Prejudicam muito o tratamento de esgoto.

Q1.7: Não devemos jogar cotonetes, lenços e restos de cigarro no esgoto, já que:

A. Se juntam às gorduras, causam mau cheiro e entopem os tubos.

B. Aumentam a quantidade de matéria orgânica a ser retirada.

C. Matam as bactérias que consomem a matéria orgânica no esgoto.

D. Podem ser jogados diretamente nos rios.

Q1.8: Qual é a terceira substância mais comum do esgoto doméstico, sendo que não deveria ser jogada nele?

A. Matéria orgânica.

B. Sólidos sedimentáveis.

C. Óleos, gorduras e graxas.

D. Nutrientes.

Q1.9: Substâncias químicas como tintas, vernizes e solventes não devem ser jogadas no esgoto, pois podem provocar os seguintes problemas, **exceto**:

A. Aumentam o oxigênio dissolvido no esgoto.

B. Prejudicam o tratamento do esgoto.

C. Contaminam o meio ambiente.

D. Provocam doenças e morte de animais e plantas.

Q1.10: Não devemos jogar lixo nos terrenos e nas ruas. Esses materiais podem acabar chegando ao esgoto, pois:

A. Todos os “bueiros” descarregam no esgoto.

B. As chuvas empurram esses materiais para ligações irregulares.

C. Chegam aos córregos, que descarregam no esgoto.

D. Os caminhões de lixo coletam e jogam no esgoto.

Q1.11: Esses resíduos, além de entupirem as tubulações de coleta de esgotos, podem também transmitir doenças contagiosas caso entrem em contato com outras pessoas:

A. Detergentes diluídos.

B. Medicamentos vencidos.

C. Sacolas, garrafas, canudinhos e copinhos plásticos.

D. Absorventes e preservativos.

Q1.12: Cabelos e pelos devem ser recolhidos e jogados no lixo sempre que possível, evitando jogá-los na pia, no vaso sanitário ou no ralo, já que:

A. Adicionam muita matéria orgânica ao esgoto.

B. Se acumulam nas tubulações, grades e equipamentos da ETE.

C. Ajudam na seleção de bactérias resistentes.

D. Mudam as substâncias químicas no esgoto.

Q1.13: Não devemos jogar fraldas, lenços umedecidos e absorventes no vaso sanitário, porque:

A. São feitos de material resistente e não se dissolvem na água.

B. Entopem tubos tanto nas residências quanto na rede coletora de esgoto.

C. Se acumulam nas grades da ETE e precisam ser transportados ao aterro.

D. Todos os problemas citados.

Q1.14: O que são “fatbergs”?

A. Elementos formados por resíduos e gorduras na rede coletora de esgoto.

B. Gorduras consumidas pelos microrganismos na ETE.

C. Sabonetes fabricados a partir do óleo de cozinha usado.

D. Lodos de esgoto com grande quantidade de gorduras.

Q1.15: O que faz o “extravasor” em uma ETE?

A. Trata o esgoto.

- B. Lança, no rio, parte do esgoto sem tratar quando há muita água de chuva.
- C. Remove gorduras da tubulação.
- D. Coleta e recupera biogás do esgoto.

CATEGORIA 2 – Alternativas para aproveitamento de subprodutos e ganhos sociais, ambientais e econômicos

Q2.1: O lodo resultante do tratamento de esgotos:

- A. Não pode ser reaproveitado.
- B. Pode ser tratado e transformado em biossólido para uso na agricultura.
- C. Pode ser jogado em rios.
- D. Pode ser usado sem tratamento.

Q2.2: O lodo resultante do tratamento de esgotos:

- A. Tem valor como recurso.
- B. Pode ser tratado e usado na recuperação de áreas degradadas.
- C. Pode ser tratado e usado na fabricação de materiais de construção.
- D. Todas as demais alternativas.

Q2.3: O esgoto tratado:

- A. Pode ser usado em plantações após desinfecção.
- B. Não pode ser jogado em rios, pois polui.
- C. Deve ser sempre absorvido pelo solo.
- D. Não pode ser reaproveitado.

Q2.4: O óleo de cozinha usado:

- A. Não pode ser reaproveitado.
- B. Pode ser usado na fabricação de sabão.
- C. Pode ser jogado na pia.
- D. Pode ser jogado no vaso sanitário.

Q2.5: A estação de tratamento de esgotos (ETE):

- A. Gera apenas gastos, sem criar produtos úteis.
- B. Polui o meio ambiente com o esgoto tratado.
- C. Pode gerar renda e criar vários empregos.
- D. Sempre gasta muita energia.

Q2.6: O biogás resultante do tratamento do esgoto por processos anaeróbios (sem presença de oxigênio):

- A. Pode ser utilizado como gás de cozinha ou para gerar energia elétrica.
- B. Precisa ser armazenado para ser eliminado.
- C. É tóxico e deve ser liberado na atmosfera.
- D. Não pode ser reaproveitado.

Q2.7: Qual deve ser o destino dos materiais coletados nas grades da ETE?

- A. Lixões a céu aberto.
- B. Depósitos em terrenos próximos à ETE.
- C. Aterros sanitários, onde há coleta e tratamento do chorume.
- D. Eliminação por meio da queima.

Q2.8: O que é o “biossólido” produzido pelas ETEs?

- A. Conjunto de resíduos coletados nas grades.
- B. Material retirado diretamente do filtro biológico percolador.
- C. Produto do tratamento do lodo de esgoto para aproveitamento.
- D. Mistura de resíduos sólidos e gordura retirados dos tubos.

Q2.9: A eutrofização (excesso de reprodução de algas e cianobactérias em corpos d’água, causando a morte de animais e plantas) ocorre principalmente por qual poluente do esgoto?

- A. Matéria orgânica.
- B. Óleos, graxas e gorduras.
- C. Resíduos sólidos.
- D. Nutrientes, como nitrogênio e fósforo.

CATEGORIA 3 – Medidas de sensibilização e boas práticas sobre a disposição de resíduos

Q3.1: Quem é responsável pelo sucesso do saneamento?

- A. O governo.
- B. As empresas de saneamento.
- C. A população.
- D. Todos os citados.

Q3.2: Fazem parte do saneamento básico, **exceto**:

- A. Fornecimento de eletricidade.
- B. Drenagem e manejo das águas pluviais.
- C. Limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos.
- D. Abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Q3.3: São princípios do Direito Humano à Água e ao Esgotamento Sanitário (DHAES), **exceto**:

- A. Quantidade e qualidade dos serviços.
- B. Acessibilidade física e econômica.
- C. Aceitabilidade e respeito à cultura.
- D. Autonomia do governo, sem participação da população.

Q3.4: Políticas públicas para melhorar o acesso à água e ao esgotamento sanitário devem incentivar, **exceto**:

- A. Participação social e educação.
- B. Transparência das empresas e responsabilidade.
- C. A privatização de serviços, atendendo só quem pode pagar.
- D. Equidade, justiça e dignidade para todas as pessoas atendidas.

Q3.5: A componente do saneamento que interfere no esgotamento sanitário é:

- A. O abastecimento de água, porque altera o volume de esgoto gerado.
- B. O manejo de resíduos sólidos, pois o lixo na rua pode chegar ao esgoto.

- C. O manejo de águas pluviais, pois há ligações irregulares de água de chuva.
- D. Todos interferem, devendo ser tratados de forma integrada.

CATEGORIA 4 – Funcionamento de uma ETE e seus equipamentos

Q4.1: As grades grossas da ETE servem para:

- A. Impedir que a matéria orgânica entre na ETE.
- B. Fazer o tratamento biológico do esgoto.
- C. Reduzir a quantidade de esgoto que entra na ETE.
- D. Evitar que resíduos grandes entrem na ETE.

Q4.2: O reator biológico da ETE serve para:

- A. Remover a matéria orgânica presente no esgoto.
- B. Reduzir o plástico presente no esgoto.
- C. Retirar a areia do esgoto.
- D. Evaporar a água do esgoto.

Q4.3: O desarenador da ETE serve para:

- A. Adicionar areia ao esgoto.
- B. Remover areia do esgoto.
- C. Adicionar cal ao esgoto.
- D. Decantar a matéria orgânica do esgoto.

Q4.4: A unidade de dessorção de gases da ETE serve para:

- A. Misturar biogás no esgoto.
- B. Recuperar biogás dissolvido no esgoto.
- C. Transformar biogás em gás de cozinha.
- D. Aquecer o esgoto usando biogás.

Q4.5: A estação elevatória de esgoto da ETE serve para:

- A. Remover areia do esgoto.
- B. Remover matéria orgânica do esgoto.

C. Bombear o esgoto para as unidades de tratamento.

D. Aquecer o esgoto.

Q4.6: A unidade de desidratação de lodo da ETE serve para:

A. Adicionar água ao lodo de esgoto.

B. Remover água do lodo de esgoto, reduzindo o volume a ser transportado.

C. Gerar energia a partir do lodo de esgoto.

D. Eliminar o lodo de esgoto.

Q4.7: O filtro biológico percolador da ETE serve para:

A. Remover matéria orgânica do esgoto.

B. Decantar e remover sólidos após o tratamento no reator UASB.

C. Colocar mais oxigênio dissolvido no esgoto.

D. Recuperar biogás dissolvido no esgoto.

Q4.8: O decantador secundário da ETE serve principalmente para:

A. Remover oxigênio dissolvido no esgoto.

B. Remover matéria orgânica do esgoto.

C. Decantar e remover sólidos suspensos (biomassa) do reator biológico.

D. Remover água do lodo de esgoto.

CATEGORIA 5 – Boas práticas de projeto e operação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos

Q5.1: Os esgotos domésticos têm, geralmente:

A. 50% de água.

B. 75% de água.

C. 90% de água.

D. 99,9% de água.

Q5.2: Qual é a função do tratamento preliminar de esgoto?

A. Remover matéria orgânica do esgoto.

B. Remover sólidos grosseiros e areia do esgoto.

C. Remover microrganismos do esgoto.

D. Tratar o lodo de esgoto.

Q5.3: Qual é a principal função do tratamento secundário de esgoto?

A. Remover matéria orgânica do esgoto.

B. Remover lodo de esgoto.

C. Remover sólidos grandes e areia do esgoto.

D. Remover microrganismos do esgoto.

APÊNDICE L – COMPLEMENTO DO MATERIAL TEXTUAL DO APLICATIVO

I. TEXTO DE BOAS-VINDAS

Olá! Seja bem-vindo(a) ao The Flush! Nossa cidade, Belo Mirante dos Campos, está enfrentando problemas em seu sistema de esgotamento sanitário... Há diversos resíduos na rede coletora de esgoto que não deveriam estar lá! Você pode ajudar? Colete os materiais antes que alcancem a estação de tratamento de esgotos (ETE)!

II. TEXTO DE TUTORIAL DA LOJA

Hora de comprar alguns itens! Temos três tipos. Para completar o jogo, você precisa comprar todos os upgrades!

1. *Power-Ups*: ganhe uma vantagem temporária ao clicar no ícone. Cada compra corresponde a um uso e você poderá carregar no máximo dois de cada.
2. Upgrades de gestão e participação popular: você poderá sensibilizar a população e melhorar a gestão da ETE, ganhando bônus que vão ajudar no jogo.
3. Upgrades da ETE e da cidade: descubra novas possibilidades de recuperação de subprodutos e veja a cidade crescer e melhorar!

III. MATERIAL COMPLEMENTAR SOBRE O FUNCIONAMENTO DA ETE

Trajetória da Fase Líquida:

1. Grades: servem para evitar que resíduos, como embalagens plásticas, cotonetes e preservativos, entrem nos equipamentos usados no tratamento do esgoto, atrapalhando e causando danos.
2. Desarenador: serve para remover a maior parte da areia antes de começar o tratamento do esgoto. Ela poderia danificar os equipamentos e aumentar o volume de lodo.
3. Medidor de Vazão: é importante para conhecer o volume de esgoto que está chegando na ETE em determinado tempo. Dessa forma, os equipamentos usados no tratamento podem ser ajustados.

4. Estação Elevatória: tem bombas hidráulicas para transportar o esgoto para as unidades subsequentes da ETE. Quanto maior a vazão, mais bombas são necessárias.
5. Reator UASB: o reator biológico é um dos equipamentos mais importantes para o tratamento do esgoto na ETE. Ele contém microrganismos que consomem a matéria orgânica. Esse processo ocorre na natureza, mas o reator o deixa mais rápido.
6. Filtro Biológico Percolador (FBP): visa complementar a remoção da matéria orgânica não retirada no reator UASB. Ele também contém microrganismos, mas eles crescem aderidos a pedras ou outro material de enchimento.
7. Decantador Secundário: é colocado depois do reator biológico, no caso o filtro biológico percolador (FBP). Ele remove, por decantação, os sólidos suspensos (biomassa) que escapam do FBP. Os sólidos removidos no decantador secundário são chamados de lodo secundário ou lodo biológico.
8. Unidade de Desinfecção e Armazenamento de Água: para usar o esgoto tratado na fertirrigação, precisamos reduzir bastante a quantidade de microrganismos que poderiam transmitir doenças. No caso, usamos uma unidade de desinfecção, seguida de um tanque para armazenar a água para usarmos quando for necessário.
9. Irrigação: o esgoto tratado e desinfetado pode ser transportado por tubos para ser usado na fertirrigação de diferentes espécies de plantas e cereais, economizando água e ajudando o meio ambiente.
10. Área de Reflorestamento e Recreação: o esgoto tratado e desinfetado pode também ser usado para criar um pequeno lago, onde as pessoas poderão aproveitar atividades de recreação, e para irrigar árvores, ajudando na recuperação do meio ambiente.

Trajeto da Fase Sólida:

1. Unidade de Desidratação de Lodo: os reatores biológicos da ETE (reator UASB e filtro biológico percolador) produzem lodo de esgoto, que precisa passar por uma unidade de desidratação para remoção do excesso de água e redução de volume.
2. Processo de Tratamento do Lodo: após a desidratação, o lodo precisa ser tratado para reduzir microrganismos que podem transmitir doenças, além de eliminar o mau cheiro. Existem vários processos, como a compostagem. O resultado do processo é o

biossólido, que pode ser usado, por exemplo, como adubo ou para recuperar áreas degradadas.

3. Depósito de Biossólido: o biossólido pode ser armazenado na cooperativa agrícola para ser usado na plantação, ajudando diversas famílias.
4. Aterro Sanitário: os resíduos coletados nas grades e peneiras e no desarenador da ETE precisam ser enviados para o aterro sanitário como destinação final.

Trajetória da Fase Gasosa:

1. Unidade de Dessorção de Gases: o biogás gerado na ETE é produzido nos reatores anaeróbios (reatores UASB). Contudo, uma parte é perdida dissolvida no esgoto tratado. Esta pode ser recuperada em uma unidade de dessorção de gases.
2. Reservatório de Biogás: o biogás gerado na ETE pode ser tratado e armazenado para utilização. Por isso há um reservatório em formato de balão. O excesso de biogás é enviado ao queimador, para transformar o metano em gás carbônico, diminuindo o impacto ambiental.
3. Unidade de Tratamento de Biogás: o biogás gerado na ETE contém impurezas. Por isso ele passa por uma unidade de tratamento, onde é limpo para ser aproveitado como gás de cozinha ou para gerar calor e energia elétrica.
4. Estação de Geração de Eletricidade: a ETE pode gerar energia elétrica a partir do biogás. Para isso, precisamos de uma estação elétrica e de alguns transformadores. Além de usar parte da energia, a ETE pode enviar para a cidade usando torres de transmissão.

IV. CRÉDITOS

Desenvolvedores:

- Diego Augustus Senna Electo Queiroz (augustus.senna@yahoo.com.br) – Concepção, projeto, organização, conteúdo teórico, arte gráfica, efeitos sonoros, equilíbrio de dificuldade.
- Luiz Philippe Pereira Amaral (luizphilippe@gmail.com) – Concepção, projeto, programação, equilíbrio de dificuldade.

- Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima – Idealização, orientação, concepção, projeto, conteúdo teórico.
- Equipe do INCT ETEs Sustentáveis – Concepção, projeto, conteúdo teórico, supervisão.

Integrantes da Equipe do INCT ETEs Sustentáveis:

- Carlos Augusto de Lemos Chernicharo.
- Izabel Cristina Chiodi de Freitas.
- Livia Cristina Silva Lobato.

Fonte:

- HVD Fonts: HVD Comic Serif Pro (Copyright 2009 Hannes von Döhren).

Financiamento:

- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.
- FCO – Fundação Christiano Ottoni (apoiadora).

Softwares utilizados para o desenvolvimento deste aplicativo:

- Unity Real-Time Development Platform – Plataforma de desenvolvimento.
- Visual Studio Code – Edição do código-fonte.
- GitKraken – Manipulação do código-fonte.
- GNU Image Manipulation Program (GIMP) – Arte gráfica.
- LibreCAD – Prototipagem e modelagem da arte gráfica.
- ConceptDraw – Fornecimento de modelos para as árvores.
- LibreOffice Writer – Elaboração de texto e organização do conteúdo teórico.

V. AVISOS LEGAIS

Este software foi desenvolvido no contexto do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPG-SMARH), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em parceria com o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgotos (INCT ETEs Sustentáveis). A descrição completa do trabalho e de seu desenvolvimento pode ser encontrada na Dissertação de Diego Augustus Senna Electo Queiroz, intitulada “Saneamento 5.0: proposta de serious game para a educação inclusiva em esgotamento sanitário no contexto da Sociedade 5.0”.

Este software opera em caráter educacional e sua distribuição é gratuita. Versão instalável pode ser obtida na Play Store do sistema Android, enquanto versão para navegadores pode ser executada através de acesso por link direto. Atualizações, visando o melhoramento contínuo do projeto, serão fornecidas gratuitamente ao longo do tempo, sendo importante, para os usuários de smartphone, que exista autorização para download.

A cópia, modificação ou redistribuição deste software ou de qualquer de seus componentes é expressamente proibida sem a devida autorização dos desenvolvedores. O código fonte, a arte gráfica, o conteúdo teórico e textual, a música, os sons e a fonte utilizados neste produto constituem propriedades intelectuais dos respectivos autores, cabendo os devidos créditos.

Para adaptar-se à tela e fornecer a melhor experiência, este software coleta, de forma confidencial, dados sobre o modelo do hardware e a resolução de exibição. O número de chances perdidas em cada nível é também coletado, sem identificação do jogador, para fins de equilíbrio de dificuldade.

As informações inseridas pelos usuários ao submeterem pontuações para o ranking são de inteira responsabilidade dos mesmos. Os desenvolvedores reservam o direito de apagar, sem prévio aviso, mensagens que considerem impróprias.

A fonte HDV Comic Serif Pro é propriedade intelectual de Hannes von Döhren, licenciada sob a licença Creative Commons Attribution 3.0. Não pode ser extraída ou comercializada separadamente.

ANEXO

ANEXO A – COMPROVANTE DE ENVIO DA ÚLTIMA VERSÃO DO PROJETO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: A Indústria 4.0 e seus impactos no saneamento: proposta de plataforma digital com gamificação para a educação inclusiva em esgotamento sanitário.

Pesquisador: Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima

Versão: 4

CAAE: 32821720.7.0000.5149

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante:

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Informamos que o projeto A Indústria 4.0 e seus impactos no saneamento: proposta de plataforma digital com gamificação para a educação inclusiva em esgotamento sanitário, que tem como pesquisador responsável Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima, foi recebido para análise ética no CEP Universidade Federal de Minas Gerais em 24/09/2020 às 17:48.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad S1 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br