

Estudos de caso: possibilidades para uma abordagem da tecnologia de tratamento de água em um curso técnico de química

André Luís Viegas¹

Tania Denise Miskinis Salgado²

Resumo

Este artigo apresenta a aplicação da metodologia de Estudos de Caso, para abordagem da tecnologia de tratamento de águas, no quarto ano de um curso técnico de química, na modalidade integrada ao ensino médio. Como parte do processo de avaliação, os estudantes elaboraram textos argumentativos que foram submetidos à Análise Textual Discursiva, possibilitando maior compreensão sobre os argumentos e alternativas de solução apresentadas. O desenvolvimento dos conhecimentos específicos e a habilidade de investigação foram as contribuições da atividade mais destacadas pelos participantes. Conclui-se que a proposta é uma alternativa de ensino adequada ao contexto investigado, favorecendo o exercício de autoria, autonomia e a criatividade por parte dos futuros profissionais da química.

Palavras-chave: Estudos de Caso. Curso técnico de química. Análise Textual Discursiva (ATD).

Abstract

This paper presents the implementation of case studies methodology to approach the water treatment technology in the fourth year of a chemical technician course in integrated mode to high school. As part of the performance evaluation process, students developed argumentative texts, which were submitted to Textual Discursive Analysis, enabling greater understanding of the arguments and presented alternative solutions. The development of specific knowledge and research skills were the contributions of activity most highlighted by participants. It is concluded that the proposal is an alternative to proper education context investigated, favoring the exercise of authorship, autonomy and creativity on the part of future professionals of chemistry.

Keywords: Case studies. Chemistry technical course. Textual Discursive Analysis.

¹ Mestre em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. Professor do curso técnico em química da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: viegas@liberato.com.br.

² Doutora em Física pela UFRGS. Professora e coordenadora do PIBID-Química da UFRGS. E-mail: tania.salgado@ufrgs.br

1 Introdução

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional nº 9.394, de 1996, determina que

[...] a educação, inspirada nos princípios de liberdade e nos ideais de solidariedade humana, tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, *seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho* (BRASIL, 1996) [grifo nosso].

Estabelece, ainda, que o currículo do ensino médio deve destacar “a educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes”, e que os conteúdos, metodologias e formas de avaliação sejam organizados de forma que o egresso desse nível de ensino demonstre “*domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna*” (BRASIL, 1996) [grifo nosso]. Integrando essas exigências à formação profissional na área da química, o presente trabalho propôs-se a analisar a aplicação da metodologia de Estudos de Caso no contexto da disciplina de Processos Industriais de um curso técnico de química, na modalidade integrada ao ensino médio, de uma escola de Novo Hamburgo-RS, articulando competências, bases científicas e tecnológicas inerentes ao componente curricular com o perfil profissional estabelecido no Plano do Curso (FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA, 2009), favorecendo, assim, novas possibilidades de ensino e aprendizagem.

Ao abordar a formação profissional, é importante estabelecer um entendimento sobre o termo *competência*. Ela pode ser definida como

[...] *um conjunto de saberes e capacidades* que os profissionais incorporam por meio da formação e da experiência, somados à capacidade de integrá-los, utilizá-los e transferi-los em diferentes situações profissionais. (WERLANG, 2010, p. 29) [grifo nosso].

Demo (2011, p. 67), estabelece que

[...] do ponto de vista da educação, prevalece necessariamente a definição de competência como processo de formação do sujeito histórico capaz de inovar, mas sobretudo, de *humanizar a inovação*. [grifos do autor].

Como pode ser observado, tanto sob o olhar mais específico da formação profissional, quanto no âmbito educacional mais abrangente, o termo *capacidade* está contemplado. Entendemos que, para desenvolver capacidade no campo da formação profissional, há a necessidade de proporcionar condições que as exijam e articulem no ambiente de aprendizado da escola técnica. Nesse sentido,

[...] não se sustenta a proposta de apenas ensinar a copiar, não só porque significa mero treinamento, mas sobretudo porque implica inequívoca imbecilização. (DEMO, 2011, p. 67).

Ainda, o trabalho aqui apresentado está alicerçado no que expressa o Projeto Político Pedagógico da Instituição, onde foi desenvolvido, que expressa que

[...] a educação que queremos passa pela importância de construir e reconstruir conhecimento, despertar a curiosidade e desenvolver a autonomia” (FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA, 2017, p. 22).

A preocupação com a formação integral em consonância com o desenvolvimento científico e tecnológico, socialmente responsável, fundamentado na capacidade técnica para a pesquisa, está expressa nos objetivos estratégicos da escola, entre os quais: “desenvolver valores que promovam uma educação para a paz, a ética e o desenvolvimento sustentável; adotar a pesquisa como prática pedagógica” (FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA, 2008).

1.1 O método de Estudos de Caso

O Estudo de Caso é considerado uma variante do método ABP (Aprendizagem Baseada em Problemas), cuja origem remete à Escola de Medicina da Universidade de McMaster (Canadá). No âmbito do ensino de química do Brasil, merece destaque o trabalho desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do Instituto de Química de São Carlos, da USP (SÁ; QUEIROZ, 2009). Herreid (1998) e Sá e Queiroz (2009) afirmam que um caso deve ter utilidade pedagógica, ser relevante ao leitor, despertar o interesse pela questão, ser atual, ser curto, provocar um conflito, criar empatia com

os personagens centrais, forçar uma decisão, ter generalizações, narrar uma história e incluir citações. Os mesmos autores relatam como possíveis estratégias para a condução da atividade: i) aula expositiva, com o caso sendo contado pelo professor; ii) discussão, com o caso sendo apresentado pelo professor como um dilema; iii) atividade em pequenos grupos; iv) tarefa individual.

O trabalho desenvolvido por Velloso (2009, p. 83) considera que a proposta de Estudos de Caso é

[...] adequada para o desenvolvimento de habilidades de caráter formativo, como a argumentação, a comunicação oral, a busca em fontes bibliográficas e a realização de trabalhos em grupo.

Em seu trabalho, a pesquisadora avaliou a estrutura dos argumentos apresentados pelos alunos para a solução dos casos, valendo-se das apresentações orais. Registrou, entretanto, a possibilidade de maior destaque ser dado em oportunidades futuras, à produção textual. É, nesse sentido, que o trabalho, aqui descrito, utiliza-se de textos argumentativos produzidos pelos estudantes como soluções para o caso para analisar a validade da metodologia como proposta pedagógica.

1.2 Articulações com o educar pela pesquisa e Análise Textual Discursiva

Entende-se que o uso do Estudo de Caso, por exigir como construção do aluno, não apenas uma resposta que possa ser considerada correta, mas também um processo que envolve investigação e senso crítico para construção de argumentos que sustentem uma solução para um problema, é uma forma de *educar pela pesquisa* - levando em conta seus pressupostos de incompletude e contínua reconstrução. Moraes e Galiazzi (2006) sustentam justamente que “a competência argumentativa é uma das metas de toda educação pela pesquisa”.

Procurou-se identificar a mobilização dos conhecimentos específicos de estudantes concluintes do curso técnico de química para a resolução de um problema complexo. Para isso, foi escolhida a metodologia de Análise Textual Discursiva (ATD), cujo objetivo é a produção

de metatextos, a partir dos textos do *corpus* (MORAES, 2003), podendo ser entendida como

[...] um processo auto-organizado de construção de novos significados em relação a determinados objetos de estudo, a partir de materiais textuais, referentes a esses fenômenos (MORAES, 2003, p. 209).

Na busca desses novos significados, entendemos que “a análise textual discursiva cria espaços de reconstrução” (MORAES; GALIAZZI, 2006, p. 118) desejáveis ao maior entendimento da importância da proposta de Estudos de Caso no contexto aqui descrito.

2 Desenvolvimento

2.1 Contexto e proposta

Os Estudos de Caso, descritos neste artigo, foram aplicados a três turmas de 4º ano do curso técnico de química integrado ao ensino médio, de Novo Hamburgo-RS, inseridos na disciplina teórico-prática de Processos Industriais, de 4 horas/aula semanais, no ano letivo de 2015, contemplando as tecnologias de tratamento de água para potabilização, águas industriais (vapor e resfriamento) e águas residuárias – além das tecnologias de processamento de couros e de alimentos. A abordagem das tecnologias relacionadas ao tratamento de água, objeto dos Estudos de Caso, ocupou o primeiro trimestre letivo, alternando com aulas expositivas e práticas. O proponente da atividade, autor deste artigo, atuou entre os anos letivos de 2011 a 2014 na docência da disciplina, sendo que, em 2015, atuou de forma compartilhada com a docente regente no planejamento e avaliação da aplicação dos Estudos de Caso. Foram elaborados quatro (4) diferentes casos, sendo que cada uma das três (3) turmas foi dividida em oito (8) grupos de livre escolha, com três (3) ou quatro (4) integrantes, de forma que, em cada turma, cada um dos quatro (4) casos fosse analisado por dois (2) grupos diferentes. Para a realização da atividade, foram destinados três (3) encontros presenciais com cada turma, da seguinte forma: i) *primeiro encontro*: lançamento da proposta, quando cada grupo de alunos recebeu uma pasta, contendo o caso e um

guia com orientações para a resolução e com os critérios de avaliação; ii) *segundo encontro*: no laboratório de informática, os grupos receberam orientação para pesquisas em bases de dados *online* com acompanhamento do professor-proponente; iii) *encontro final*: com a apresentação das propostas de resolução, debate e entrega de texto escrito com a proposta de resolução do caso. Os critérios de avaliação do desempenho dos estudantes foram: i) proposta de solução para o caso (considerando o texto e a apresentação oral; ii) apresentação oral da solução do caso; iii) texto argumentativo.

Além desses aspectos, os professores e os estudantes também fizeram observações livres ao longo das apresentações finais, quando cada caso teve suas resoluções apresentadas pelos dois grupos que o pesquisaram, seguidas de um debate. Os estudantes que estavam na *plateia* também recebiam uma ficha para seus apontamentos sobre a qualidade das apresentações dos colegas, seguindo os mesmos critérios dos docentes, valorizando, assim, sua participação no processo de avaliação. A conclusão da proposta

deu-se com a avaliação da atividade por parte dos estudantes – questionário com perguntas fechadas e espaço para observações e sugestões de aprimoramento da proposta – e a entrega a cada grupo de uma ficha com o *feedback* dos colegas sobre suas apresentações e com as observações dos professores sobre cada aspecto avaliativo. Foi obtido o consentimento dos estudantes para a divulgação dos resultados da análise da proposta, por meio de termo informado.

2.2 Os casos: temas, abordagens e relação com o curso técnico de química

Os casos elaborados foram inspirados em publicações de natureza diversa, priorizando abordagens de problemas, relacionados à futura atuação do técnico em química. Buscou-se a articulação dos temas com aspectos relacionados aos valores e questões éticas, condição defendida por Santos e Mortimer (2001), para o ensino de ciências para a ação social. O quadro 1 apresenta uma síntese de cada abordagem e de suas fontes de inspiração.

Quadro 1 – Casos elaborados e respectivas fontes de inspiração

Síntese e fonte de inspiração dos casos
Caso 1: <i>Conflito Engarrafado</i> . Um estudante de um curso técnico de química é provocado por seu pai, um administrador, com parcos conhecimentos na matéria, a esclarecer uma inserção na mídia que estimulava o consumo de água da torneira, em detrimento do consumo de água engarrafada, alegando o controle eficaz e a segurança da água de abastecimento público, e denunciando os altos custos e impactos ambientais da água engarrafada. Fonte de inspiração: Notícia veiculada em rádios, pelo Sindicato Médico do Rio Grande do Sul (SINDICATO MÉDICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2015).
Caso 2: <i>Água cafeïnada</i> . Uma equipe de laboratoristas é convocada pelo seu coordenador para estudar o significado analítico da presença de traços de cafeína em amostras de água de um manancial, estabelecendo sua importância como indicador de poluição a ser controlado rotineiramente. Além disso, a equipe tem a responsabilidade de buscar métodos analíticos, limites de detecção, e compreender o conceito de contaminantes emergentes. Fonte de inspiração: Artigo publicado na Revista Ciência Hoje. (KUGLER, 2013).
Caso 3: <i>Água leitosa</i> . Um grupo de estagiários de química recebe a tarefa de elaborar um desenho do processo de tratamento de efluentes para uma indústria de laticínios, prevendo formas adequadas de controle da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), de acordo com as legislações vigentes, além de incorporar na proposta a avaliação sobre possibilidades de reuso de água no processo. Fonte de inspiração: Publicação Série Sistema de Gestão Ambiental, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa (MG) (SILVA, 2011).
Caso 4: <i>Pra onde eu mando esse lodo?</i> A geração de lodo nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) é abordada nesse caso, no qual os estudantes devem propor pelo menos duas alternativas de destinação. O caso apresenta a realidade da maioria das ETAs do país, que “devolvem” o lodo, proveniente do tratamento de potabilização, para o manancial de onde a água bruta foi captada. Fonte de inspiração: Notícia publicada no Jornal JÁ. (BONES, 2007).

Fonte: Os autores (2015).

Para a elaboração dos casos, foram observadas as competências específicas e bases tecnológicas, previstas no plano do curso técnico de química da Instituição (FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA, 2009), conforme síntese apresentada no quadro 2.

Quadro 2 – Competências específicas e bases tecnológicas da disciplina com as abordagens de cada caso

Competências específicas	Casos			
	1	2	3	4
Avaliar e comparar resultados e padrões.	x	x	x	x
Identificar e aplicar métodos e princípios analíticos no controle de qualidade de água potável.	x			
Identificar, monitorar e avaliar os processos de tratamento de água potável.	x			
Monitorar as etapas dos processos de tratamento de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas.		x		
Identificar métodos e princípios analíticos no controle de qualidade de águas industriais, resíduos líquidos e sólidos.		x	x	x
Identificar e avaliar processos de geração de vapor e tratamento de águas para fins industriais.			x	
Monitorar as etapas dos processos de tratamento de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas.			x	x
Bases Tecnológicas				
Processos de tratamento para potabilizar água para fins de consumo.	x	x		
Análises físico-químicas de água potável.	x	x		
Análises físico-químicas de águas industriais e efluentes líquidos.			x	
Tratamento anaeróbico e aeróbico de resíduos e autorregeneração em cursos d'água [...], medidas preventivas, minimização e reciclagem de resíduos industriais e domésticos.		x	x	x
Tratamento primário, secundário e terciário de resíduos líquidos oriundos de processos.			x	x
Identificação e caracterização de resíduos em tecnologias diversas.			x	x
Análises físico-químicas de resíduos sólidos.				x

Fonte: Adaptado pelos autores de Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (2009).

2.3 As resoluções: Análise Textual Discursiva dos relatos produzidos

As composições textuais, elaboradas pelos estudantes como resolução aos casos, foram analisadas, aplicando-se a metodologia de *Análise Textual Discursiva* (ATD), proposta por Moraes (2003), buscando-se maior compreensão do potencial da proposta, enquanto processo pedagógico na formação profissional do técnico em química.

Conforme descrito anteriormente, os Estudos de Caso foram aplicados de forma concomitante a três (3) turmas do Curso Técnico de Química, gerando duas resoluções

para um mesmo caso em cada turma, compondo ao final seis (6) textos argumentativos para cada um dos casos. Esses textos constituem o *corpus* de análise. A referência individual aos documentos foi padronizada da seguinte forma: as turmas foram numeradas de 1 a 3 e, dentro de cada turma, os grupos que resolveram um mesmo caso foram identificados com a letra A ou B. Assim, para cada caso, têm-se as referências: T1GA, T1GB, T2GA, T2GB, T3GA e T3GB. A título de exemplo, um documento com a referência T1GA identifica que o texto foi produzido na *turma 1*, pelo *grupo A*, do respectivo caso.

3 Resultados e discussão

3.1 Análise Textual Discursiva: os metatextos construídos, a partir das soluções dos casos

3.1.1 O Caso 1: *Conflito engarrafado*: análise dos seis textos argumentativos

Como o caso abordava, entre outros aspectos, o custo da água engarrafada em comparação ao

custo da água encanada, uma categoria de análise, definida *a priori*, foi a forma como cada grupo investigou esse aspecto, confirmando ou não a informação fornecida no caso, referenciada por Sindicato Médico do Rio Grande do Sul (2015): “Produzir um litro de água engarrafada é 600 vezes mais caro que a da torneira”. O quadro 3 apresenta as categorias e as informações contidas nos textos de cada grupo, referente a esse aspecto.

Quadro 3 - Categorização para o processo de investigação do custo da água engarrafada

Categoria inicial	Relação de custo <i>água engarrafada</i> x <i>água da torneira</i> :
Utilizada experiência local, cálculos executados pelos alunos (4 grupos).	- 1066 vezes mais cara; - 790 vezes mais cara; - 627 vezes mais cara; - 1056 vezes mais cara.
Utilizadas somente referências de outro Estado (2 grupos).	- até 2.000 vezes mais cara; - 530 vezes mais cara.

Fonte: Os autores (2015).

É importante ressaltar que a redação do caso apresentava o questionamento do dado fornecido pela referência que o inspirou. Quatro dos seis grupos realizaram o cálculo, a partir de dados consultados em contas de água de suas casas e preços de água engarrafada no bar da escola ou de um supermercado. Esse era um dos objetivos do questionamento: conduzir os estudantes a produzir um dado *com mão própria* e confrontá-lo com um dado referenciado. A divergência encontrada nos valores deve-se às variações no preço da água engarrafada e encanada, em diferentes cidades e

estabelecimentos. Dois grupos se detiveram apenas em referências de outro Estado.

Constituindo-se um aspecto inerente aos Estudos de Caso, a expressão de uma decisão, por parte dos autores do texto, foi conformada como uma categoria de análise definida *a priori* (quadro 4). Frente à necessidade de posicionamento, quanto ao consumo de água encanada ou água engarrafada, quatro grupos apresentaram suas decisões de forma que pode ser considerada *explícita*, cada qual com sua forma de apresentação e relação com o texto inicial.

Quadro 4 - Categoria *expressão da decisão* sobre o consumo de água engarrafada

Categoria inicial	Unidade de sentido: Excertos que expressam a decisão do grupo [grifos nossos]
Decisão explícita	T1GA: “[...] <i>conclui-se uma maior vantagem no uso de água da torneira</i> [...] o pai de Pedro <i>pode começar a economizar</i> sim com a água engarrafada, <i>utilizando</i> a da torneira...” T1GB: “Tendo em vista todos os dados apresentados, <i>conclui-se que a água de torneira é a melhor escolha para consumo</i> , pois apresenta vantagens tanto para o consumidor, quanto para o planeta”. T2GA: “ <i>Deve-se suprimir</i> o uso da água engarrafada”. T3GB: “...seu pai implantou em sua empresa um projeto semelhante ao Água na Jarra que <i>promove a valorização do consumo da água da torneira e evita o consumo de água engarrafada</i> ...”
Decisão implícita	T3GA: “O que cabe a nós <i>é colocar todos esses aspectos na balança e decidir</i> , se é realmente viável o consumo descontrolado de água engarrafada, quando a água fornecida pela rede pública está aí para nos servir”. T2GB: “a utilização da água da torneira é uma grande <i>possibilidade</i> ...” “o uso rotineiro dessa água [da torneira] <i>não pode ser desconsiderado</i> ”.

Fonte: Os autores (2015).

Para além dos excertos apresentados, o posicionamento crítico, a partir da pesquisa realizada pelos grupos para produção textual foi nítido. A título de exemplo, o texto T2GA, além de manifestar que o uso da água engarrafada deveria ser suprimido, trouxe uma reflexão contundente sobre o tema:

[...] quando analisada, a ideia de vender-se água engarrafada - não para praticidade, mas para substituir a água encanada em todos os momentos - é tão absurda quanto sempre foi.

A criticidade esteve presente também no texto T2GB, cuja decisão foi expressa de forma considerada implícita. A *grande possibilidade*, que o uso da água da torneira representa, está ligada, segundo os estudantes autores, ao conjunto de legislações existentes para sua utilização, além de não gerar descarte de embalagens. Entretanto, também é apresentada a ressalva:

[...] porém, a limpeza e manutenção de tubulações para o envasamento dessa água da torneira deve ser verificada para uma água bem tratada e sem riscos de impurezas graves.

Ainda é apresentada, nesse mesmo texto, a alternativa de utilização de água de poço, desde que seja feita a manutenção semestral do mesmo.

Como categoria emergente da análise dos textos, são apresentados *os argumentos e dados técnicos* que fundamentaram as decisões dos estudantes – o número ao lado de cada unidade de sentido expressa em quantos textos ela foi identificada (quadro 5). Ressalta-se, aqui, que a proposta não é a análise da estrutura argumentativa, mas sim, a categorização dos *motivos* que fundamentaram os estudantes para as decisões apresentadas.

Quadro 5 - Categorização dos *argumentos e dados técnicos*, no *Caso 1*

Categoria inicial	Unidade de sentido:
Normas e padrões de qualidade	Controle de qualidade da água da torneira é mais rígido que a água engarrafada. – 6 Evidências de possíveis contaminações na água engarrafada (desinfetantes, fertilizantes, produtos farmacêuticos, ftalato, agrotóxicos). – 5 Água engarrafada pode ser benéfica, dependendo dos íons presentes. – 1 Muitas águas minerais têm teor de sódio maior que uma garrafa de refrigerante. – 1
Impactos ambientais	Para cada litro de água engarrafada, estima-se o consumo de 200 mL de petróleo (produção, embalagem, transporte e refrigeração). – 3 Potencial emissão de 60 mil t/ano de gases do efeito estufa. – 2 Cerca de 80% das garrafas plásticas vão para aterros ou são incineradas. – 3 Superexploração de aquíferos. – 2
Impactos sociais e econômicos	Carência mundial de água de boa qualidade por mais de 750 milhões de pessoas. - 6 Diferença de preço entre água engarrafada e encanada. – 5 Em torno de 90% do custo da água engarrafada refere-se à embalagem e rotulagem. - 3 Falta de informação por parte da população. – 3 Hábito da população de consumir água engarrafada. – 2

Fonte: Os autores (2015).

Fica evidenciado que o conhecimento do processo de tratamento de potabilização da água, da legislação brasileira e dos padrões normativos foi balizador para os estudantes corroborarem a orientação médica trazida na origem do caso e recomendarem o consumo de água encanada. A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) é estudada na disciplina e considerada, na avaliação dos estudantes, uma

normatização rigorosa que, se seguida, garante a segurança do consumo da água de abastecimento público no país. Legislações e normas, referentes à água engarrafada, não são estudadas rotineiramente na disciplina – a consulta, interpretação e comparação com a legislação da água potável foi procedimento autônomo dos estudantes, que identificaram problemas de qualidade e contaminações na água engarrafada ao

comparar padrões e consultar bancos de dados de pesquisas. Desinfetantes, fertilizantes, fármacos e agrotóxicos estão entre os contaminantes citados em cinco dos seis textos argumentativos.

Os elementos fortemente contrários ao consumo de água engarrafada, devido aos impactos ambientais, estiveram presentes em todos os textos analisados. A emissão de poluentes e o risco da superexploração de aquíferos foram mencionados. Dois excertos exemplificam o rigor das manifestações: “(...) uma das principais fontes de poluição dos corpos hídricos é a indústria de produção de plásticos” (T2GA); “(...) olha a ironia, para produzir uma garrafa de um litro, são necessários 3 litros de água” (T3GB).

Ainda na categoria dos argumentos, o preço e o mercado da água engarrafada, além dos hábitos já constituídos de consumo por parte da população - especialmente por falta de informação sobre seus efeitos - podem ser apresentados como os principais impactos sociais e econômicos, relacionados ao consumo da

água engarrafada. O dado, mencionado por três grupos, de que 90% do custo da água engarrafada deve-se à embalagem e rotulagem, que geram resíduos, traz um entrelaçamento entre o impacto social e o ambiental. A falta de acesso à água de boa qualidade por uma parcela muito grande da população mundial foi destacada por todos os grupos - embora com variações quanto ao número, dependendo da atualização da fonte utilizada.

3.1.2 O Caso 2: *Água cafeïnada*: análise dos seis textos argumentativos

A tomada de decisão referiu-se à realização de análises químicas para a quantificação do teor de cafeína na água de um rio. A partir de pesquisas, os estudantes deveriam posicionar-se como uma equipe de um laboratório, ratificando ou não a importância de realizar a análise química e indicando pelo menos um método analítico para isso. A categorização dos *métodos analíticos* propostos é apresentada no quadro 6.

Quadro 6 – Categorização de *métodos analíticos*, no Caso 2

Categoria inicial	Unidade de sentido: métodos de análise apresentados
Citação de método(s) considerado(s) mais adequado(s)	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à espectrometria de massas (CLAE-EM) – 4 Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a Ultra Violeta (CLAE-UV) – 2 Cromatografia Gasosa (CG) – 2 Cromatografia Gasosa por Captura de Elétrons (CG-CE) - 1 Espectroscopia de Absorção Atômica (EAA) - 1 Cromatografia de Camada Fina (Delgada) (CCD) - 1 Bioensaio Yeast Estrogen Screening (BYES) – 1

Fonte: Os autores (2015).

Todos os grupos manifestaram-se favoráveis à realização das análises químicas de cafeína, sendo utilizados os termos: *importante* (duas vezes); *relevante*; *necessária*; *deve ser feita*; *válido*. O excerto: “A equipe responsável pela pesquisa [...] acredita que a utilização da análise da cafeína seria importante...” [grifo nosso], exemplifica a decisão do grupo T1GA. Já em relação aos métodos analíticos, sete alternativas foram citadas pelos grupos, sendo que um único grupo (T3GB) chegou a apresentar cinco (5) opções; dois grupos (T1GB e T3GA) apresentaram duas opções e os grupos T1GA; T2GA; e T3GA apresentaram apenas um método analítico.

É importante considerar que, num processo

decisório sobre a realização de uma análise química, uma das primeiras ações necessárias é avaliar a possibilidade de realização, de acordo com a estrutura, reagentes e equipamentos disponíveis no laboratório. Não há, no caso apresentado, o detalhamento sobre essas condições. Dessa forma, a variação entre as alternativas apresentadas é compreensível.

A partir da categoria intermediária *argumentos e dados técnicos apresentados* (quadro 7), outras 6 categorias iniciais foram identificadas, todas emergentes do processo de análise e desconstrução dos textos. Em relação à obrigatoriedade de análises e controles sobre a presença da cafeína e contaminantes emergentes, todos

os grupos citaram o fato da legislação atual não exigir a análise e não estabelecer um parâmetro para isso, como exemplifica o excerto “ (...) sabemos que existem, hoje, pelo menos 500 contaminantes ignorados pela legislação nos esgotos” (T2GB), referenciando pesquisas do Instituto de Química da Unicamp. Os possíveis motivos para essa lacuna também constituíram tema dos relatos, merecendo destaque o pouco conhecimento acumulado sobre os efeitos dos contaminantes emergentes e o fato da cafeína, principal indicador investigado, não trazer especificamente nenhum mal aos seres humanos, quando presente na água potável em pequenas concentrações. Também foi objeto de todos os

relatos a demanda por parâmetros regulatórios mais seguros à população, em especial, nesse caso, que envolve a água potável de fornecimento público. A proposta de inclusão do limite máximo de 0,1 micrograma de cafeína por litro de água potável foi referenciada (T2GA), citando Pescara (2014). A existência de propostas de um limite máximo permitido é um indicativo de que métodos confiáveis de análise já foram desenvolvidos, e os aspectos relativos à robustez do método e estabilidade do analito foram tratados – sendo essa outra categoria identificada nos textos. A sensibilidade dos métodos propostos chega à ordem de nanogramas por litro, dado presente na maioria dos textos elaborados.

Quadro 7 - Categorização dos *argumentos e dados técnicos*, para decisão do Caso 2

Categoria inicial	Unidade de sentido
Normatização para a cafeína e contaminantes emergentes	A legislação atual não inclui parâmetros de diversas substâncias, não sendo obrigatória a análise da cafeína e de outros contaminantes emergentes – 6 Mudança na legislação necessária, a partir dos estudos acadêmicos sobre cafeína e contaminantes emergentes – 6
Estabilidade do analito (cafeína) e robustez dos métodos estudados	A cafeína é detectável em baixas quantidades, (limite mínimo de detecção chegando até a ordem de nanogramas por litro). - 4 Cafeína possui razoável solubilidade, persistência ao longo da coluna d'água, baixa associação com os sedimentos e volatilidade desprezível. - 1 O método cromatográfico mostrou-se rápido, seletivo, exato e preciso [...]. - 1 Para análises rotineiras ou frequentes, o método CG-CE pode ser usado, já que a CLAE requer muita sofisticação. - 1
Correlação da cafeína com outros contaminantes	A detecção de cafeína na água é de extrema importância por ser um indicativo de ineficiência das estações de tratamento, já que sua presença está relacionada a outros contaminantes, como os emergentes, que são interferentes endócrinos. - 6 Correlação com contaminação por esgoto, por ser de origem antropogênica - 6 Quanto maior a concentração de cafeína, maior a probabilidade de que uma dada amostra de água apresente atividade estrogênica. - 3 Efeitos nocivos da cafeína para outros organismos. - 3
Processos de remoção da cafeína e contaminantes emergentes	Processos de remoção descritos brevemente: processos oxidativos como a ozonização e pós-cloração; lodo ativado, carvão ativado; processos de osmose reversa e nanofiltração; membranas de microfiltração e ultrafiltração. - 4 Necessário combate à poluição dos mananciais, ampliação do tratamento de esgotos, combatendo a causa do problema dos contaminantes emergentes. - 4 Para minimizar o impacto dos contaminantes emergentes, pode-se usar um filtro de água doméstico, porém o mesmo não elimina totalmente os contaminantes existentes e, se não houver manutenção, pode se tornar mais prejudicial ainda. - 2 Remoção da cafeína por lodo ativado (podendo chegar a 98%). - 1 Tratamento para degradação de estrógenos por meio de um biofilme. - 1
Custos para as soluções investigadas	Custo dos equipamentos e/ou insumos para análise química como um fator interferente para implantação desse controle. - 2 Custo dos processos de remoção dos contaminantes emergentes acarreta a não aplicação dos mesmos, visto que não é obrigatório. - 2
Situação local	Devido à ausência de limites para os contaminantes emergentes, as Estações de Tratamento locais não realizam esses controles. - 2

Fonte: Os autores (2015).

Uma ressalva importante, quanto ao *significado* do resultado analítico e seus limite são ilustrados, a partir do excerto do grupo T1GA:

[...] a cafeína pode ser utilizada como um ótimo método de avaliação da poluição por parte do esgoto doméstico, se detectada. Porém não sendo detectada também não significa que a água está livre de contaminação por meio de resíduos gerados pela população, bem como dos compostos presentes neles (T1GA).

É necessário ressaltar que os estudos existentes sobre a presença de cafeína em água potável e em mananciais originam-se de um grande problema do Brasil: o saneamento precário. A presença de cafeína indica a contaminação pela ação antrópica, e levanta a suspeita sobre a presença de outros contaminantes, como os interferentes endócrinos, provenientes dos lançamentos de esgotos, sem o tratamento adequado. É, nesse sentido, a argumentação sobre as ações prioritárias para resolver esse problema: “(...) achamos que a solução está em combater a *causa*, ou seja, uma melhoria na rede de tratamento de esgoto” (T2GB) [grifo nosso]. Importante citar que o lodo ativado, tratamento já bastante disseminado, pode ser considerado uma solução ao problema do saneamento. Em um dos textos, foi descrita resumidamente uma pesquisa desenvolvida por estudantes da própria escola, na qual a proposta foi aplicada (SPOHR *et al.*, 2014), que investigaram

a utilização de filtro biológico para degradação de hormônios estrógenos, ilustrando o potencial de desenvolvimento de tecnologias localmente.

Por fim, o fator *custo* também foi considerado para a realização das análises de controle e para o tratamento da água para eliminação dos poluentes. Evidentemente que o custo se entrelaça com a regulamentação, pois, havendo obrigatoriedade, o sistema como um todo precisa se adequar às exigências, mesmo que isso acarrete maiores custos à população final no preço da água. Trazendo para o contexto da proposta – o Vale dos Sinos – a falta de parâmetros e o custo e sofisticado, envolvidos no controle dos contaminantes emergentes, acarreta o resultado lógico: o não monitoramento desse tipo de poluente, fato mencionado em dois relatos.

3.1.3 O Caso 3: *Água leitosa*: análise dos seis textos argumentativos

O Caso 3 abordou o problema do tratamento de efluentes de uma empresa de laticínios em processo de ampliação. Como resposta, os estudantes deveriam apresentar um *desenho de processo* - categoria de análise definida *a priori* - (quadro 8), sendo a escolha adequada das etapas, seu fundamento técnico, medidas preventivas e de reaproveitamento, as principais exigências para a resolução do caso.

Quadro 8 - Categorização da tomada de decisão, *desenho do processo*, no Caso 3

Grupo	Pré-tratamento	Primário	Secundário	Terciário
T1GA	Gradeamento; caixa de gordura, tanque de equalização	Flotação; clarificação; decantador primário; filtração	Lagoa de estabilização facultativa	Lagoa de estabilização de maturação
T1GB	Gradeamento; Caixa de gordura	Flotação	Lodo ativado; lagoa aerada	Lagoa de estabilização
T2GA	Gradeamento; Caixa de areia	Tanque de equalização; caixa de gordura; flotação	Lodo ativado; tanque de aeração; decantador secundário	Filtração por membrana (ultrafiltração)
T2GB	Gradeamento; equalização	Flotação e coagulação química	Lodo ativado; lodo por digestão anaeróbia	Lagoa de maturação
T3GA	Gradeamento; equalização	Flotação; filtração	Tanque de aeração; decantador; tratamento do lodo	Não citado
T3GB	Peneiramento; equalização; bacia de emergência	Flotação	Lodo ativado	Lagoa facultativa

Fonte: Os autores (2015).

Houve pouca variação entre os grupos na definição dos processos de tratamento. Entre as etapas de pré-tratamento e tratamento primário, por exemplo, ficou evidente a necessidade de remoção de sólidos grosseiros por meio de gradeamento (peneiramento) e da eficiente retirada da gordura, conforme mostra o excerto do grupo T1GB: “O pré-tratamento *foi a etapa mais fácil de decidir* o que teria de ser feito...” [grifo nosso]. Mesmo que, apenas dois grupos tenham citado a caixa de gordura, para remoção, houve referência à necessidade de sua completa eliminação no processo de flotação, esse sim, referenciado por todos. Novamente, o relato do grupo T1GB esclarece:

[...] *deve haver um controle rigoroso*, para que essa etapa seja eficiente na remoção do restante de gordura, caso contrário, pode se ter problemas nas etapas posteriores” [grifo nosso].

O lodo ativado foi o processo escolhido por cinco dos seis grupos – outro grupo escolheu a lagoa de estabilização facultativa. Prevalece o entendimento de que o processo aeróbico é mais eficiente, especialmente para o tratamento de efluentes com alta DBO, como ilustra o excerto:

Com uma lagoa aeróbia, o espaço utilizado é muito grande e, com uma anaeróbia, o custo pode se tornar elevado por ser mais profunda e fechada (para evitar a presença de oxigênio) (T1GA)

Foi mencionado o fato do lodo ativado poder reduzir até 98% da DBO do efluente. A escolha da lagoa facultativa foi justificada por funcionar tanto na presença como na ausência de oxigênio. Essa alternativa foi apresentada pela maioria dos grupos como opção para o tratamento terciário – o que, na verdade, compõe uma alternativa tecnicamente mais adequada, considerando as condições propostas no caso – quando o processo de lodo ativado já teria removido a maior carga de DBO. Os motivos apresentados para a escolha das etapas de tratamento constituíram uma categoria inicial, dentro da categoria intermediária *Argumentos e dados técnicos apresentados* (quadro 9). “Eficiência e custo” (T2GA) e “eficácia” (T3GB), ainda, nessa categoria, foram mencionados como elementos de motivação para as escolhas das etapas.

As considerações de diferentes possibilidades no tratamento de efluentes, a descrição do próprio processo de decisão, com as dúvidas surgidas e as ressalvas envolvidas estiveram no texto do grupo T1GB, ilustrado pelo excerto:

A grande dúvida foi se usaríamos um processo biológico aeróbico, um processo anaeróbico ou uma mescla dos dois. *Analizamos* as vantagens e desvantagens de cada e *decidimos* pelo processo aeróbico. Pois, apesar de o processo anaeróbico exigir um espaço menor, de ter um custo um pouco menor, e da possibilidade de usarmos o produto metano. Esse processo não seria o mais adequado para o nosso efluente, por não reduzir a matéria orgânica com tanta eficiência, quanto ao processo aeróbico. Como a matéria orgânica no efluente estará presente em grandes quantidades, seria necessário um tratamento posterior ao anaeróbico (T1GB). [grifos nossos].

Percebe-se, assim, um entrelaçamento entre diferentes aspectos considerados no processo de decisão, ficando bem explícitos e fundamentados os argumentos do grupo.

A apresentação de medidas preventivas e de reuso da água também constituiu uma categoria primária emergente da análise dos dados. Como o caso informava que a empresa fictícia tinha planos de ampliação, implementando a produção de doce de leite, cujo processo de concentração de sólidos gera água com poucas impurezas, sugestões sobre o seu reuso foram abordados por cinco grupos. É relevante notar que todos os encaminhamentos foram diversos entre si: desde “reutilizar sem nenhum tratamento no processo” (T1GA), até um tratamento complexo com a sequência “filtração (por carvão ativado), microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa” (-T1GB), sendo que ambos não especificaram a finalidade de uso da água, após o tratamento. Por outro lado, o Grupo T2GA sugeriu o encaminhamento para lavagem de pisos, pátios e caminhões de entrega e o T2GB para caldeiras e trocadores de calor, porém, ambos não citaram necessidade de tratamento prévio. Finalmente, o Grupo T3GB apresentou o procedimento escolhido de forma mais completa,

definindo o reuso da água em máquinas de pasteurização, com a prévia remoção do cálcio que poderia ter sido arrastado no processo de evaporação e, também, com controle de pH.

Quadro 9 - Categorização dos *argumentos e dados técnicos*, para decisão do *Caso 3*

Categoria inicial	Unidade de sentido
Motivos para a escolha das etapas do processo	<ul style="list-style-type: none"> - Pré-tratamento e tratamento primário: Tanque de equalização: evitar “picos de atividade”, devido à variação na vazão. - 1 Flotação escolhido por sua eficácia e pequena área necessária para operação. - 1 Flotação e coagulação química com sulfato de alumínio e polieletrólitos: bom resultado e pouco consumo de reagente. - 1 Sistema por injeção de ar é mais eficiente que a caixa de gordura, e demanda menor de área para instalação. - 1 - Tratamento secundário: Lodo ativado: tem maior rendimento, removendo até 98% da DBO. - 5 Lagoa de estabilização: menor custo e espaço; atuação com ou sem oxigênio. - 1 - Tratamento terciário: Lagoa de estabilização: possui alta eficiência para efluentes com baixa quantidade de matéria orgânica, por isso foi usada no final do processo. - 1 Ultrafiltração por membrana: recomendado para efluentes biologicamente tratados. - 1 - Geral: Eficiência e custo. - 1 - Eficácia. - 1
Reuso e medidas preventivas	<ul style="list-style-type: none"> - Água gerada na concentração de sólidos (produção de doce de leite): Reutilizada no processo sem nenhum tratamento - 1 Carvão ativado, microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa - 1 Lavagem de pisos, pátios e caminhões de entrega - 1 Uso em caldeiras e trocadores de calor - 1 Uso em máquinas de pasteurização, após tratamento - 1 - Recirculação e circuito fechado: Recirculação em águas de resfriamento e caldeiras - 2 Reuso da água de efluente tratada nas caldeiras - 1 Reuso da água de efluente clarificada na limpeza de pisos, caminhões, tubulações. - 1 - Medidas preventivas: Separação de efluentes, conforme processo, diminuindo resíduo com alta DBO. - 1 Resto de calda removido: encaminhamento para tanque de recozimento. - 1 Proposta de reaproveitamentos que diminui em 60% o volume de água gasto. - 1 Gordura: reutilização na padronização do leite; soro: alimentação animal. - 1 Lavagem inicial de tubulações com um pequeno jato de água, antes do enxágue. - 1
Composição do resíduo da indústria de laticínios	<ul style="list-style-type: none"> Principal constituinte é o leite e seus produtos. O leite é composto por duas partes: uma úmida, representada pela água, e outra sólida, representada pelo extrato seco total. - 1 Os efluentes [...] apresentam uma grande quantidade de matéria orgânica, gorduras, sólidos suspensos, nutrientes, detergentes e óleos. - 1 Entre 50% e 95% do efluente é gerado em lavagem e limpeza de latões de leite, tanques e tubulações, a fim de remover resíduos do leite e outras impurezas. - 1 Os resíduos contêm muito mais do que leite e derivados, sendo possível encontrar areia, detergentes, lubrificantes, açúcar, pedaços de frutas, essências e condimentos diversos, além de sólidos diversos, oriundos dos processos de limpeza. - 3 Os resíduos líquidos da indústria de laticínios são originários de diversas atividades (processo de higienização; descartes e descargas; vazamentos e derramamentos). - 1

Fonte: Os autores (2015).

Considerando a necessidade do uso racional de água em todas as atividades humanas, a aplicação dos conceitos de recirculação e de circuito fechado é fundamental para a indústria. Nesse sentido, a recirculação da água em sistemas de geração de vapor e de resfriamento,

com o monitoramento e reposição de água tratada somente, quando necessário, é considerado um procedimento básico – citado apenas em dois textos. Já o circuito fechado refere-se ao reaproveitamento da água ao final do tratamento de efluentes do processo. Dois (2) relatos deram

conta dessa finalidade, sendo uma sugestão o uso na própria geração de vapor e, outra, o uso para fins menos nobres, como lavagem de pisos, tubulações e caminhões. Dentre as medidas preventivas, a separação de efluentes de processos diferentes para redução do volume de água com alta carga de DBO, o reaproveitamento que diminuiria o consumo e a destinação para os restos de calda, gordura e soro de leite, ilustram a importância da busca de diferentes possibilidades que diminuam os custos com instalação e controle do tratamento de efluentes. Mais do que a possibilidade real de implantação dessas medidas, que envolvem relativa complexidade e necessitam de conhecimento das condições reais de uma empresa, para a proposta de estudo de caso é valorizado o fato de terem sido *consideradas* pelos estudantes, na busca por processos de produção mais limpa.

A composição dos resíduos líquidos da indústria de laticínios e os parâmetros de lançamentos de efluentes constituem o ponto de partida e o ponto de chegada para a elaboração de uma proposta de tratamento de efluentes. Alguns dados básicos (DBO de 4.600 ppm O₂; DQO de 6.300 ppm O₂; vazão diária de 30.000L) foram fornecidos na proposta de caso, cabendo aos estudantes buscar maior detalhamento dos dados em referências bibliográficas. Da mesma forma, os parâmetros de lançamento de efluentes no Rio Grande do Sul estão descritos na Portaria 128/2006 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (RIO GRANDE DO SUL, 2006), que é estudada na disciplina, sendo esperada a aplicação desse conhecimento à resolução do Caso.

Além do leite e seus produtos, são resíduos provenientes das operações de limpeza realizadas com água, areia, detergentes, lubrificantes, açúcar, pedaços de frutas, essências e condimentos diversos, entre outros sólidos – conforme mencionado pelos grupos T2GA; T2GB e T3GB. A característica de elevada carga nutricional e a presença de gordura constituem a fundamentação para as etapas apresentadas anteriormente nos desenhos de processo de tratamento. A origem dos efluentes de laticínios está

principalmente nos processos de higienização; descarte e descargas; vazamentos e derramamentos (T3GA). A considerar que, entre 50 e 95% do efluente têm como origem as operações de lavagem e limpeza de latões, tanques e tubulações (T1GB), fica claro o principal aspecto a ser levado em conta nos procedimentos de segregação e reaproveitamentos internos – também anteriormente apresentados.

Em relação aos parâmetros de lançamento de efluentes, cinco grupos retomaram as informações fornecidas no caso, sendo registrada a consideração do alto valor para a DBO e para a DQO, por dois grupos. A identificação correta dos parâmetros exigidos (DBO de 150 ppm O₂ e DQO de 360 ppm O₂) permite inferir a necessidade de redução de aproximadamente 97% do valor inicial da DBO. As referências disponíveis sobre o percentual de redução dos principais processos tecnológicos existentes dão conta que dificilmente um desenho de processo atenderia às exigências, sem um tratamento terciário. O uso do lodo ativado, nesse sentido, justifica-se como preferencial para o tratamento secundário, por apresentar a maior eficiência na oxidação da matéria orgânica. Agregando-se, após, um tratamento com lagoa de estabilização, têm-se nova redução da concentração da matéria orgânica remanescente e o alcance do parâmetro de DBO. Dois grupos citaram a lagoa de maturação, que pode ser utilizada, porém seu objetivo original é a redução de patógenos, não exatamente da matéria orgânica. Pôde-se, assim, observar que a maior aproximação dos desenhos de processo, propostos pelos estudantes, com o praticado na realidade, foi obtida, quando foram devidamente considerados os dados iniciais, os parâmetros exigidos e os potenciais de remoção de DBO dos processos propostos.

3.1.4 O Caso 4: Para onde eu mando esse lodo: análise dos seis textos argumentativos

Para o Caso 4, o desafio dos grupos foi pesquisar alternativas para o encaminhamento dos resíduos sólidos (lodo), provenientes das

Estações de Tratamento de Água potável (ETAs) e das Estações de Tratamento de Esgoto sanitários (ETEs), tendo como base dados de uma cidade fictícia da região metropolitana do Rio

Grande do Sul. Foi solicitada a apresentação de duas alternativas de encaminhamento, constituindo esse requisito uma categoria de análise definida *a priori* (quadro 10).

Quadro 10 - Categorização da tomada de decisão *alternativas* para os lodos, no *Caso 4*

Categoria inicial	Unidade de sentido
Alternativas que envolvem o uso agrícola - 4	Uso como fertilizantes (ETE), após etapas de tratamento. - 2 Degradação microbiológica da matéria orgânica (ETA). - 2
Alternativas que envolvem geração de energia - 3	Uso como biomassa para produção de energia, passando por um processo anterior de pirólise (ETA e ETE). - 1 Combustível para altos-fornos da indústria cimenteira (ETE). - 1 Biodigestão e geração de energia como etapa de uso agrícola (ETE).-1
Alternativas que envolvem o uso em cerâmicas - 3	Fabricação de tijolos (ETE) - 1. Produção de cerâmica vermelha (ETE) - 1. Cerâmica: tijolos (ETE) - 1
Alternativas que envolvem o uso em concreto - 2	Alternativas que envolvem o uso em concreto - 2 Uso do lodo de ETAs em concreto, após retirada da água e preparação biológica - 1. Aproveitamento de cinza de lodo de ETEs, após incineração a 550°C, resfriamento e moagem. - 1
Alternativa que envolvem produtos ecológicos - 1	Tintas ecológicas (ETA). - 1

Fonte: Os autores (2015).

Assim, a partir da análise dos dados, foi identificada uma possível classificação, conforme a finalidade da alternativa sugerida. Prevaleceram sugestões de uso agrícola, com a produção de fertilizantes, após serem realizadas etapas de tratamento com o lodo de ETE e a compostagem, a partir do lodo de ETA. Sobre a última, é relevante considerar o excerto de um dos grupos que fez a proposta:

Tendo como base a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº375 de 2006, que estabelece critérios e procedimentos para o uso de lodo pós-compostagem em áreas agrícolas, serão realizadas análises do material. É válido ressaltar que, essa resolução refere-se a lodo de ETEs e que a proposta aqui contida tem como base utilizar o lodo de ETA. Isso *confere à proposta um caráter inovador e deve buscar a regulamentação específica para o caso em questão.* (T3GB) [grifo nosso]. (BRASIL, 2006a).

A referência a uma resolução específica para a proposta pesquisada pelo grupo, com a avaliação

da diferença entre a proposta e a normatização, demonstra preocupação com a fundamentação correta e a busca por inovações, a partir do já existente.

A opção para o lodo de ETE, apresentada pelo Grupo T2GB, levou em conta também a geração de energia como etapa intermediária, a partir do processo de queima dos gases gerados no processo de biodigestão, estando essa proposta também na categoria das alternativas que envolvem a geração de energia. Nessa categoria, foi classificado um processo que prevê uma etapa de pirólise, que gera produtos com maior potencial energético que, posteriormente, são utilizados para geração de energia. Por fim, o uso como combustível de altos-fornos, na indústria cimenteira, foi mencionado como alternativa pelo grupo T3GB.

A fabricação de tijolos e cerâmicas vermelhas compõem as alternativas que consideram a atividade oleira uma alternativa para os lodos da ETE.

O uso do lodo, juntamente com a argila como matéria-prima, é mencionado como possibilidade até de ganho de qualidade no produto final, além de reduzir o consumo da argila. Importante salientar que foi mencionado o processo exigido para a caracterização e preparo do lodo, para que o mesmo esteja apto a ser utilizado no processo.

Para o uso em concreto, uma das alternativas é a prévia incineração do lodo de ETE a 550° C, resfriamento e moagem das cinzas resultantes. Esse processo prévio, é importante ressaltar, diminui substancialmente o volume do material a ser incorporado ao concreto. O lodo da ETA também foi sugerido para esse uso, porém com um processo de tratamento biológico prévio e a eliminação da água.

Ainda uma última alternativa, distinta das demais, foi apresentada: a utilização do lodo de ETA para a fabricação de tintas ecológicas. A proposta permite obter tinta à base de água com baixa toxicidade. A ressalva necessária é que o grupo considerou que o lodo continha alto teor de ferro III, a partir do uso de hidróxido férrico como agente flocculante, o que não ocorre na maior parte das ETAs da região – o que não invalida o movimento do grupo em pesquisar alternativas *diferenciadas* para suas proposições.

A categoria intermediária *Argumentos e dados técnicos apresentados*, e suas categorias iniciais *Aspectos ambientais*, *Aspectos técnicos* e *Aspectos econômicos e sociais* podem ser consideradas emergentes dos dados analisados (quadro 11).

Quadro 11 - Categorização dos argumentos e dados técnicos, para o Caso 4

Categoria inicial	Unidade de sentido
Aspectos ambientais	<p>Lodos lançados em rios geram risco ao meio ambiente aquático, sendo uma prática questionável. - 4</p> <p>O fim que é dado na maioria das estações de tratamento atualmente é o encaminhamento do lodo da ETE para aterros sanitários (3); sendo essa alternativa a menos onerosa. - 1</p> <p>O lodo é classificado como resíduo classe IIA - Não inerte (pode ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água). - 3</p> <p>Necessidade de controle e monitoramento (Res. Conama 375/2006) para uso agrícola do lodo de ETE: metais pesados, elementos tóxicos e microorganismos patogênicos. - 3</p> <p>O lodo descartado em aterros está dentro de parâmetros permitidos, porém não é o fim ecologicamente mais adequado. - 2 (um grupo inclui economicamente)</p> <p>Destinar de forma inadequada resíduos de ETA e ETE gera impactos ambientais. - 2</p> <p>Crescimento da população e ampliação das estações de tratamento aumenta resíduo sólido (lodo das ETE's) gerado no tratamento. - 2</p> <p>Importância da reciclagem, reutilização e não geração de resíduos. - 2</p> <p>Alternativa reduziria impactos de atividades de extração de areia (uso em concreto); ou argila (tijolos cerâmicos). - 2</p> <p>Utilização do lodo, como material de combustão para geração de calor em forno de clínquer, contribui para redução na emissão de poluentes. - 1</p>
Aspectos técnicos	<p>Detalha processo e condições necessárias para viabilidade da solução proposta - 6</p> <p>Ressalta a composição dos lodos no estudo e definição das alternativas. - 6</p> <p>Citadas possíveis melhorias de qualidade em produtos, a partir da solução apresentada: 4</p> <p>Os lodos de ETEs e ETAs são normalmente ricos em matéria orgânica (...)- 2</p> <p>Lodo de ETA é composto, em geral, por material inerte, matéria orgânica e precipitados químicos, incluindo alumínio ou ferro, em grande quantidade. - 2</p> <p>Composição do lodo da ETE é muito variável, dependendo do processo de tratamento e de seu caráter sazonal. -1</p>
Aspectos econômicos e sociais	<p>Cita benefício econômico, além do ambiental das soluções apresentadas. - 5</p> <p>Considerou contexto do caso para sugerir solução (região metropolitana do RS) - 4</p> <p>A distribuição do lodo remanescente que geralmente é realizada em aterros sanitários, representa alto custo operacional (até 60%) de uma ETE. - 3</p> <p>Relevância de problemas e políticas sociais no contexto do caso. - 2</p>

Fonte: Os autores (2015).

A realidade da maior parte das ETAs, existentes na região do Vale dos Sinos – inclusive na situação apresentada no caso – quanto à destinação do lodo, proveniente do tratamento para potabilização, é, no mínimo questionável, do ponto de vista ambiental. Esse material é, salvo exceções, enviado, via rede de esgotos, de volta ao manancial de onde a água bruta foi captada, contribuindo para a queda de sua qualidade. Por outro lado, o envio de lodo das ETEs para aterros sanitários é a prática predominante. Deve-se considerar que, apesar de todas as ponderações possíveis, as práticas descritas no caso não constituem atualmente um crime ambiental. Assim mostra o excerto (T2GA):

O fim que é dado para o que, na maioria das estações de tratamento atualmente, inclusive no caso do município fictício, é o encaminhamento do lodo da ETE, para aterros sanitários, e a devolução do lodo da ETA para os mananciais de origem. Porém, quando observado sob olhos atentos, percebe-se que esse resíduo, na verdade, pode ter fins mais produtivos e menos poluentes, conhecendo a rica composição do lodo (T2GA).

A possibilidade de reaproveitamentos, dada a composição dos resíduos, permite o estudo e a proposição das alternativas anteriormente apresentadas, como reforça o excerto (T3GB): “Afirma-se que aquilo que motiva o repensar no destino dado ao lodo residual, apesar dele não estar sendo descartado de forma ilegal, é sua abundância e seu potencial como poluente e como matéria-prima”. De um modo geral, estiveram presentes no encaminhamento das resoluções do caso os princípios da reciclagem, reutilização e não geração de resíduos, já em pauta notadamente desde a Rio 92 e presentes na forma de lei na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

As normas e requisitos ambientais também devem ser considerados. O lodo é classificado como um resíduo Classe II A (não inerte) pela NBR 10.004/2004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), o que estabelece procedimentos para sua destinação. Além disso, cada nova possibilidade precisa ser avaliada, quanto à exigência de legislações específicas. O uso de lodo para

fins agrícolas é parametrizado pela Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 375/2006 (BRASIL, 2006a), que estabelece procedimentos para controle e monitoramento da presença de metais pesados, elementos tóxicos e micro-organismos patogênicos. Já a destinação a forno de clínquer precisa observar procedimentos estabelecidos pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 264/1999 (BRASIL, 1999) e nº 382/2006 (BRASIL, 2006b).

Entre os aspectos técnicos considerados pelos grupos para a proposição das soluções, constitui-se, como um ponto de partida, a composição dos lodos. A referência à sua variação esteve presente: questões sazonais e características do processo de tratamento interferem na composição dos lodos gerados. Entretanto, a abundância de matéria orgânica, em geral, pode ser permanentemente observada. Em todas as soluções propostas, houve, em algum nível, a consideração da composição dos resíduos como ponto de partida para sua destinação adequada.

A avaliação das condições de processo para reaproveitamento também são aspectos que qualificam uma proposta – fato observado em todos os relatos. A título de exemplo, o Grupo T2GA, ao propor o uso do lodo da ETE na indústria de tijolos e cerâmica, previu as etapas de desidratação, fragmentação e a realização de análises que permitam o enquadramento do material como resíduo sólido perigoso ou não perigoso, antes de entrar no processo de produção. Já o T2GB, ao sugerir o uso de lodo da ETA em blocos de concreto, mencionou a necessidade de observância da NBR 12655/96 para Concreto – preparo, controle e recebimento, “sempre com as devidas modificações para o uso do novo insumo adicionado”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996). De outra parte, a inclusão de resíduos, como matéria-prima, não deve ocasionar prejuízos de qualidade no produto a que se destina, sob pena de causar um problema ainda maior do que se tinha anteriormente para a destinação - quatro citações deram conta desse aspecto. O Grupo T2GB mencionou, com base em referências, que a adição de 3% de lodo na mistura para fabricação de blocos de concreto apresenta melhoria na resistência à

compressão, enquanto T1GB citou que o uso de lodo, adicionado à argila, favoreceria a qualidade dos tijolos assim fabricados.

Por fim, ao considerar que a destinação atual do lodo remanescente das ETE, para aterros sanitários, representa alto custo operacional (T1GB, T2GB e T3GA), cinco (5) dos seis (6) grupos ressaltaram que suas propostas, além do benefício ambiental, possuem potencial de propiciar benefícios econômicos.

O contexto do Caso, região metropolitana do Rio Grande do Sul, foi considerado em quatro propostas, como ilustra o excerto do Grupo T1GB: “O Rio Grande do Sul possui uma economia baseada na agricultura e possui diversas empresas produtoras de tijolos”. Também merece destaque a *visão de futuro* trazida por T3GB, que expressa a possibilidade do município fictício

[...] tornar-se referência no tratamento de água e esgoto, devido a seu tamanho como cidade, seu potencial econômico e as perspectivas de crescimento.

O texto produzido por esse grupo traz ainda em seu desfecho, uma argumentação extremamente bem estruturada, considerada, pelos autores, como a *argumentação perfeita*, quando levados em conta os objetivos e o contexto da proposta:

Tendo em vista o potencial do lodo de esgoto como poluente e insumo, devido a sua

composição, bem como seu grande volume; tendo em vista a redução a valores aceitáveis de agentes poluentes lançados na atmosfera pelo processo de clínquerização na produção de cimento; tendo em vista a conservação de fontes naturais de insumos aos quais se propõe o lodo a substituir; e tendo em vista a redução de custos no tratamento de efluente e a geração de renda, propõe-se que o resíduo discutido nesta seção seja destinado à indústria cimenteira como combustível para seus altos-fornos (T3GB).

Como se pode notar, a apresentação da solução situa claramente o leitor no contexto do problema, encaminhando, a partir dos benefícios analisados sob diferentes aspectos, a solução considerada mais adequada dentre as investigadas. É um forte demonstrativo do desenvolvimento da capacidade comunicação escrita e persuasão na apresentação de conclusões de um trabalho investigativo.

3.2 Desenvolvimento de habilidades na ótica dos participantes

A contribuição da atividade de Estudos de Caso para o desenvolvimento de habilidades foi verificada, a partir de um formulário com afirmativas, as quais os participantes manifestaram seu nível de concordância com o uso da escala Likert (80 dos 85 participantes responderam ao formulário), sendo seus resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Respostas dos estudantes, quanto às contribuições do trabalho

Afirmações sobre desenvolvimento de habilidades	CT	CP	I	DP	DT	Total
1. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de minha capacidade de comunicação oral	37	23	16	2	1	79
2. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de minha capacidade de comunicação escrita	34	30	15	1	0	80
3. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de meus conhecimentos a respeito do tema Processos Industriais – Águas	53	25	2	0	0	80
4. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de minha capacidade de realizar trabalhos em grupo	29	25	23	2	1	80
5. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de minha habilidade de investigação na busca de soluções para resolver problemas	47	29	3	0	1	80
6. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de minha capacidade de argumentação diante de questionamentos	40	28	12	0	0	80
7. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de minha capacidade de persuasão na apresentação de minhas conclusões	25	44	10	1	0	80
8. Aprimorei meu entendimento sobre a forma como conhecimentos científicos e tecnológicos são construídos e aplicados	34	30	16	0	0	80
9. O trabalho contribuiu para o desenvolvimento de minha capacidade de tomar decisões diante de problemas além das atividades escolares	33	27	17	0	3	80

Legenda: CT: Concordo Totalmente; CP: Concordo Parcialmente; I: Indiferente; DP: Discordo Parcialmente; DT: Discordo Totalmente

Fonte: Os autores (2015).

Considerando as respostas, *concordo totalmente e concordo parcialmente*, o desenvolvimento dos conhecimentos específicos no tema Processo Industriais – Águas foi a maior contribuição proporcionada pela atividade (97,5% de concordância), seguido da habilidade de investigação na busca de soluções para resolver problemas (95% de concordância). Entre as menores contribuições estão a habilidade de realizar trabalhos em grupo (67,5%), a capacidade de tomar decisões diante de problemas, além das atividades escolares (75%) e a capacidade de comunicação oral (76%). Sá, Francisco e Queiroz (2007) destacam que o uso mais comum dos casos é o ensino de habilidades para tomada de decisão a profissionais, com menor ênfase no aprendizado do assunto científico. Entretanto, a aquisição de conhecimentos específicos também já fora percebida como a maior contribuição em proposta similar, no mesmo curso técnico, aplicada à tecnologia de couros, em 2015 (VIEGAS; SALGADO, 2015). Velloso (2009), ao aplicar a metodologia na disciplina Corrosão e Eletrodeposição, do sétimo (7º) semestre de um curso de bacharelado em química, também dedicou maior atenção ao aprendizado conceitual.

Esses dados e as sugestões encaminhadas por escrito pelos estudantes indicam a validade da proposta. Os principais pontos nos quais foram sugeridas modificações para aprimoramentos referem-se às orientações sobre a parte escrita, a dinâmica das apresentações e a escolha dos temas dos casos, destacou-se que alguns temas foram mais instigantes e, outros, mais teóricos, portanto, com maior complexidade para os participantes.

4 Considerações finais

A metodologia de Estudos de Caso apresentou-se como alternativa de ensino adequada aos objetivos do componente curricular Processos Industriais, na abordagem da tecnologia de tratamentos de água, do curso técnico de química na modalidade integrada ao ensino médio da

escola, onde foi conduzida a pesquisa.

O desafio apresentado aos futuros profissionais da química envolveu a necessidade de pesquisa, categorização, organização e elaboração de textos argumentativos, expressando decisão técnica devidamente fundamentada. É possível inferir que diferentes habilidades requeridas no exercício da profissão foram mobilizadas, merecendo destaque o aprimoramento dos conhecimentos técnicos a partir de uma necessidade de posicionamento frente a um problema real.

Os dados analisados apresentaram, como principais aspectos emergentes, a busca por referências técnicas adequadas às soluções dos problemas abordados nos casos, o cuidado com padrões, normas e legislações em geral, e a necessidade do estabelecimento de critérios éticos, ambientais e sociais na tomada de decisão. A proposta, nesse sentido, favoreceu exercícios de autoria, autonomia e criatividade, o que pôde ser observado pelo caráter singular das produções textuais dos estudantes.

A vivência do processo e a análise dos dados aqui apresentados sugerem que a proposta possui potencial de replicação a diferentes contextos do ensino técnico.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12.655**: concreto - preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996.

BONES, E. Lodos das estações de tratamento de água e esgoto começam a receber destino correto. **Jornal Já**, 12 jan. 2007. Disponível em: <<http://jornalja.com.br/lodos-das-estacoes-de-tratamento-de-agua-e-esgoto-comecam-a-receber-destino-correto/>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 264**, de 26 de agosto de 1999. Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos. 1999. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/>

port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>. Acesso em: 2 abr. 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 382**, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. 2006b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 2 abr. 2016.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 14 abr. 2016.

_____. Presidência da República. **Lei nº 9.394**, de 23 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 14 abr. 2016.

_____. Presidência da República. **Lei nº 12.305**, de 03 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. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 12 mar. 2015.

DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. 9. ed. Campinas: Autores Associados, 2011.

FUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRADA CUNHA. **Planejamento estratégico 2008-2015**. Novo Hamburgo, 2008.

_____. **Plano do curso Técnico de Química**. Novo Hamburgo, 2009.

_____. **Projeto Político Pedagógico**. Novo Hamburgo, 2017.

HERREID, C. F. Sorting potatoes for Miss Bonner: bringing order to case-study methodology through a classification scheme. **Journal of College Science Teaching**, v. 27, n. 4, p. 237-239, 1998.

KUGLER, H. Cristalina e contaminada. **Ciência Hoje**, v. 50, n. 300, p. 48-50, 2013.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

_____; GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

PESCARA, I. C. **Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto**. 2014. 167 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução 128/2006**. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. 2006. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id4887.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2015.

SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Estudos de caso em química. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 731-739, 2007.

_____; QUEIROZ, S. L. **Estudos de caso no ensino de química**. Campinas: Átomo, 2009.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2001.

SILVA, D. J. P. **Resíduos na indústria de laticínios**. 2011. Disponível em: <<https://www2.cead.ufv.br/sgal/files/apoio/saibaMais/saibaMais2.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

SINDICATO MÉDICO DO RIO GRANDE DO SUL. **Água engarrafada é 600 vezes mais cara**

que a da torneira. 2015. Disponível em: <<http://www.simers.org.br/2015/02/agua-engarrafada-e-600-vezes-mais-caro-que-de-torneira/>>. Acesso em: 8 mar. 2015.

SPOHR, D. L. *et al.* Utilização de microrganismos na degradação de hormônios estrógenos. **Revista Liberato**, v. 15, p. 105-166, 2014.

VELLOSO, A. M. S. **Casos investigativos no ensino de corrosão:** estratégia para o desenvolvimento de habilidades argumentativas de alunos de graduação em química. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado em Química

Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

VIEGAS, A. L.; SALGADO, T. D. M. Estudos de caso: possibilidade para abordagem da tecnologia do couro em um curso técnico de química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO, 10, 2015. **Anais...** Águas de Lindóia: Abrapec, 2015.

WERLANG, C. K. **Formação profissional baseada em competências.** 2. ed. Santa Maria: Multipress, 2010.