



CTS e Sustentabilidade Ambiental: contribuições a partir da Química Verde

Carlos Alberto Marques¹

Leonardo Victor Marcelino²

Resumo: Caminhamos aceleradamente para o fim do planeta Terra assim como o conhecemos e a educação na perspectiva CTS tem se mostrado um caminho promissor para o enfrentamento dos desafios e dilemas atuais no campo ambiental, científico e tecnológico. A Química Verde (QV) se apresenta como uma possibilidade para a evolução da Química na perspectiva da sustentabilidade e vários pesquisadores têm buscado oferecer fundamentos para uma educação em QV na perspectiva CTS. Esse trabalho discute a imbricada relação entre a educação CTS e a abordagem sobre a natureza, dimensões e consequências da crise ambiental, na perspectiva da sustentabilidade, tomando como referência possíveis contribuições da QV. Adicionalmente, expõem-se alguns pressupostos e bases sobre o ensino da QV em consonância com a perspectiva crítica CTS, inter-relacionando-os com pressupostos educacionais de Paulo Freire, para defender uma educação científica e tecnológica crítica e humanizadora.

Palavras-chave: CTS. Sustentabilidade Ambiental. Química Verde. Paulo Freire.

STS and Environmental Sustainability: contributions from Green Chemistry


Abstract: We are rapidly moving towards the end of planet Earth as we know it, and education under the STS perspective has shown to be a promising way to face the current challenges and dilemmas in the environmental, scientific and technological fields. Green Chemistry (GC) presents itself as a possibility for the evolution of Chemistry from the perspective of sustainability, and several researchers have sought to offer foundations for a GC education from the STS perspective. This work discusses the intertwined relationship between STS education and the approach to the nature, dimensions and consequences of the environmental crisis, from the perspective of sustainability, taking as reference possible contributions of GC. Additionally, some assumptions on and bases for GC teaching are exposed in line with the critical STS perspective, interrelating them with some of Paulo Freire's educational assumptions, in order to defend a critical and humanizing scientific and technological education.

Keywords: STS. Environmental Sustainability. Green Chemistry. Paulo Freire.

CTS y Sostenibilidad Ambiental: aportes de la Química Verde

Resumen: Estamos moviendo rápidamente hacia el final del planeta Tierra tal como lo conocemos, y la educación desde la perspectiva CTS ha demostrado ser una forma prometedora de enfrentar los desafíos y dilemas actuales en los campos ambiental, científico y tecnológico. La Química Verde (QV) se presenta como una posibilidad para la evolución de la Química desde la perspectiva de la sustentabilidad, y varios

¹ Universidade Federal de Santa Catarina — Santa Catarina, Brasil. ✉ bebetomarques07@gmail.com 
<https://orcid.org/0000-0002-4024-7695>.

² Universidade Federal de Santa Catarina — Santa Catarina, Brasil. ✉ leovmarcelino@gmail.com 
<https://orcid.org/0000-0002-2684-5656>.

investigadores han buscado ofrecer bases para una educación en QV desde la perspectiva CTS. Este trabajo discute la relación entrelazada entre la educación CTS y el abordaje de la naturaleza, dimensiones y consecuencias de la crisis ambiental, desde la perspectiva de la sustentabilidad, tomando como referencia posibles aportes de la QV. Además, se exponen algunos supuestos y bases sobre la enseñanza de la QV en la línea de la perspectiva crítica CTS, interrelacionándose con los presupuestos educativos de Paulo Freire, para defender una educación científica y tecnológica crítica y humanizadora.

Palabras clave: CTS. Sostenibilidad Ambiental. Química Verde. Paulo Freire.

1 Introdução

Em seu discurso de abertura na COP-27, o Secretário-Geral da ONU afirmou “Estamos na estrada para o inferno climático, com um pé no acelerador” (CAMARGO, 2022). Nesse âmbito, um estudo recente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (GATTI *et al.*, 2022) revelou que a Amazônia, a maior floresta tropical do planeta, deixou de ser um sorvedouro e se tornou uma fonte emissora de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global.

A esse respeito, o Relatório do IPCC 2022 adverte que é urgente e necessário respeitar o Acordo de Paris de cortar as emissões de CO₂ em 45% até 2030, e chegar a nível zero líquido em 2050, para que se consiga limitar em 1,5 °C o nível máximo de elevação da temperatura do planeta (IPCC, 2022). Afirma ainda que não faz mais sentido financiar os combustíveis fósseis, e que seria possível considerar criminosa a atitude de seguir financiando-os; mais do que desacelerar o uso dos fósseis, é importante aumentar imediatamente a produção de energia verde, a única que dá segurança energética. Mesmo em um mundo com baixas emissões de anidrido carbônico, o fato é que já comprometemos e reduzimos nossa capacidade de produzir alimentos e fornecer água potável, apontando que 8% da terra cultivável atualmente se tornará inutilizável até 2100. Tudo isso afetará, de forma diferente e desigual, a população mundo afora – por exemplo, os cerca de 1 bilhão de pessoas que vivem em favelas, e em áreas precárias e periféricas nas cidades em diferentes continentes, normalmente já afetadas e mais expostas a efeitos climáticos (ONU, 2022). Isso mostra, portanto, que a crise ambiental é também social.

Nada animadoras, tais informações ilustram e reforçam a necessidade de medidas urgentes para a diminuição das emissões de gás carbônico antropogênico, tais como a substituição de combustíveis fósseis por energias mais limpas, a contenção dos desmatamentos e queimadas, o emprego de tecnologias menos

poluentes em processos industriais e na agricultura, a diminuição do consumo e das desigualdades sociais.

São sinais de alerta para a necessidade de cumprirmos os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (UNESCO, 2005), caso contrário caminhamos aceleradamente para o fim do planeta Terra assim como o conhecemos, tornando-o inóspito às diferentes formas de vida, incluindo a humana. Muito longe de ser alarmismo ou catastrofismos, são evidências de problemas socioambientais cada vez mais graves e impactantes, que se acoplam às leis da Física (os postulados termodinâmicos), as quais envolvem o inexorável destino final do planeta na seta do tempo cosmológico – a sua morte térmica e/ou o caos termodinâmico. A questão posta é se desejamos ou não encurtar esse tempo, precipitando tal destino, considerando que se continua com uma postura antiecológica.

Logo, necessitamos mudar nosso modo de vida, apontar soluções preventivas, mitigar problemas e/ou solucioná-los definitivamente. Porém, isso concorre com a crença de que “daremos um jeito”, ou que tudo se resolverá para o bem, pois encontraremos alguma solução tecnológica – um imaginário social constituinte dos mitos sobre a C&T (AULER; DELIZOICOV, 2001).

A desinformação, o comportamento individualista e egoísta, a falta de uma adequada alfabetização científica, a ausência de legislação ambiental ou de punição aos infratores, a prevalência dos interesses econômicos em detrimento do ambiente são fatores que contribuem negativamente à situação que nos encontramos. A questão, portanto, é como enfrentar tudo isso a partir do campo da Educação Científica e Tecnológica (ECT).

A educação na perspectiva CTS tem se mostrado um caminho promissor para o enfrentamento dos inúmeros desafios e dilemas atuais no campo ambiental, por meio das suas interfaces com as questões científicas e tecnológicas. No âmbito da Química, uma vertente de estudos e pesquisas que se associa a tais desafios, contribuindo com uma base teórica e metodológica para a evolução da Química na perspectiva da sustentabilidade, é a chamada *Química Verde* (QV). Vários pesquisadores têm buscado oferecer fundamentos para uma formação científica e socioambiental na perspectiva CTS e crítica, com base em uma educação reflexiva e humanística na formação dos químicos – são objetivos que contam com a colaboração do Grupo de Investigação para o Ensino de Química (GIEQ, www.ufsc.br/gieq).

Assim, este texto objetiva argumentar em favor do reconhecimento da imbricada relação entre a educação CTS e a abordagem sobre a crise ambiental, em sua natureza, dimensões e consequências, na perspectiva da sustentabilidade, tomando como referência possíveis contribuições de um novo campo de pesquisas da Química, denominado *Química Verde*. Os argumentos são construídos a partir de entrelaçamentos teóricos, organizados como segue: a seção 2 apresenta as dimensões da crise ambiental; a seção 3 discute a polissemia do conceito *sustentável/sustentabilidade*; a seção 4 introduz elementos da educação em Química considerando o cenário da crise ambiental. A seção 5 discute especificamente possibilidades do enfoque CTS para abordar a dimensão ambiental, especialmente considerando as particularidades da QV, fazendo inferências para o ensino de Química. A seção 6 traz as considerações finais.

2 Dimensões da crise ambiental

O ambiente, como um bem comum, deveria ser tratado como público, tal como prevê nossa Constituição Federal de 1988 (e.g. art. 225). Contudo, não há um consenso universal sobre isso e, pelo contrário, há disputas por hegemonia entre projetos de sociedade, portados por sujeitos e segmentos relevantes da sociedade, os quais constroem a realidade social e política, sendo este fato parte da verdade histórica sinalizando o seu dinamismo.

Assim, tratar de ambiente e de crise ambiental é falar de conflitos, antagonismos e de fortes e variados interesses geopolíticos, econômicos e territoriais (LOUREIRO, 2002). A defesa de justiça social e do direito a vida saudável e sustentável significa problematizar as relações estabelecidas, e envolve processos antagônicos de interesses, os quais se dão entre agentes que disputam recursos naturais e buscam cada qual legitimar seus modos de vida. Portanto, deve-se analisar a crise ambiental contemporânea a partir e no interior da sociedade humana, que envolve contradições que não são biológicas, mas sociais.

Então, qual caminho seguir? Certamente a resposta não é única e depende das intenções de cada um. Atualmente, a principal resposta dos países à crise ambiental é materializada nos compromissos de empreender um novo modelo de desenvolvimento que seja sustentável. Porém, há nele pelo menos três dimensões: substantiva, epistêmica e ético-política.

A primeira é a *dimensão substantiva*, que se inscreve no próprio conceito de DS, visto como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (WCED, 1987). É um conceito intergeracional e polissêmico, e disso se pode inferir que não é propriamente uma solução, mas uma ideia-força, por isso sua adoção não é resolutiva.

No conceito de *DS*, como definido no livro *Nosso Futuro Comum* (WCED, 1987), está contida uma ideia da possibilidade de haver um equilíbrio entre economia e ambiente ou uma relação estreita entre economia e ambiente/natureza. Porém, como argumenta Marques (2018, p. 58), para que um sistema socioeconômico seja sustentável, há alguns peremptórios condicionantes:

1. A atividade econômica não destruir a biodiversidade e não alterar as coordenadas ambientais em uma velocidade superior à sua capacidade de regeneração e adaptação;
2. A atividade econômica ser capaz de “satisfazer às necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias”. Ou seja, “esse sistema só é sustentável se puder compatibilizar o humano e a diversidade do não humano, o que equivale a dizer: compatibilizar o homem de hoje e o de amanhã”.

Para Herman Daly (apud GEORGESCU-ROEGEN, 2012), o termo *DS* faz sentido para a economia, mas apenas se for compreendido como desenvolvimento sem crescimento (e, acrescentamos, sem acumulação). O que parece é que defensores do DS acreditam que é possível sempre haver mais desenvolvimento (no sentido de crescimento), pois a Terra permanecerá mais ou menos como agora ao longo do tempo, mesmo havendo inexoravelmente geração de entropia pelo próprio crescimento (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

Como nos lembra Georgescu-Roegen (2012), nas teorias econômicas clássicas, a representação usual do processo econômico é um diagrama circular e fechado, que se mantém sem a produção de resíduos, consumindo integralmente todos os recursos materiais e energéticos envolvidos.

A segunda dimensão da crise ambiental é *epistêmica*, pois temos a necessidade de um novo paradigma, uma nova forma de pensar, baseado no pensamento sistêmico. Até o momento, sabemos que precisamos pensar de forma sistêmica, mas não sabemos como aplicar e como formar as pessoas para o mesmo.

E, como lembra Prigogine (1996, p. 14), “a emergência de uma ciência que não está mais limitada a situações simplificadoras, idealizadas, [...] [portanto] nos coloca diante da complexidade do mundo real”.

Tal mudança paradigmática traria mudanças na forma de pensar, de praticar a Ciência e a Tecnologia, bem como do seu ensino, mas também transformaria o objeto do conhecimento e o conhecimento a ser construído. Como se pode observar na afirmação de Leff (2002, p. 207-218) “A crise ambiental é a primeira crise do mundo real produzida pelo desconhecimento do conhecimento [...] e que [ele] constitui um chamado à reconstrução social do mundo: apreender a complexidade ambiental”. Já no ano 2000, Thornton (2000) denunciava a falta de investigações sobre os impactos e interações ambientais da maioria das substâncias produzidas pela Química, alertando para a dificuldade de prever e analisar interações sinérgicas que podem acontecer no ambiente, e para a bioacumulação de compostos químicos através da cadeia alimentar. Pautado no princípio da precaução, o autor propõe o Paradigma Ecológico na gestão de riscos químicos, baseado em quatro pilares: 1) emissão zero de poluentes, considerando que não há limite seguro para emissão no ambiente de substâncias conhecidamente perigosas; 2) produção limpa, planejando substâncias e processos que sejam seguras e produzam poucos resíduos (ideia basilar da QV); 3) inversão do ônus da prova, colocando a responsabilidade no criador da substância em provar que ela é segura; 4) gestão de classes de produtos, em vez de gestão individual. Assim, a dimensão epistêmica conclama para mudanças na nossa forma de compreender e representar o ambiente a partir da sua complexidade: das múltiplas interações e incertezas que surgem na relação homem-natureza.

A terceira dimensão é *ético-política*, pois traz a reflexão sobre o estilo de vida e de relações sociais que devem ou podem ser sustentadas. Podemos elencar o movimento por Justiça Ambiental ou Justiça Climática como um dos expoentes dessa dimensão (ACSERLRAD; HERCULANO; PÁDUA, 2004). O conceito de *Justiça Ambiental* vem a se opor ao paradigma gerencial da proteção ambiental, considerando a escassez de recursos naturais e a poluição como o cerne da crise ambiental, sendo que todos os seres humanos compartilhariam a mesma responsabilidade nesse problema. Para a Justiça Ambiental, grupos sociais distintos têm parcelas de responsabilidade diferentes e são afetados de formas desiguais pelos impactos da crise ambiental, refletindo relações de poder historicamente construídas.

Tal movimento cobra, portanto, o fim da política de exportação de riscos, em que atividades perigosas são transferidas para países em desenvolvimento, bem como propõe considerar a maior responsabilidade e capacidade dos países desenvolvidos para lidar com as causas e efeitos da crise ambiental. Entre esses efeitos, há de se considerar o maior impacto que as mudanças climáticas têm causado em países em desenvolvimento e em grupos sociais vulnerabilizados, tais como negros, mulheres, populações originárias, entre outros. (EBI, 2009; TYREE & GREENLEAF, 2009).

Um conceito fundamental na dimensão ético-política da crise ambiental é o da *troca ecológica desigual*. Bellamy-Foster e Holleman (2014) argumentam que nações no centro do capitalismo tardio (os ditos *países desenvolvidos*) têm se apropriado dos recursos ecológicos de nações periféricas. Assim, enquanto os países desenvolvidos acumulam os benefícios da exploração do meio ambiente e desenvolvem estratégias para lidar com a crise ambiental em seus territórios, as nações periféricas sofrem com maior intensidade os seus impactos.

Compreender essas dimensões e desenvolver ações voltadas ao enfrentamento da crise ambiental exigem mudanças posturais das pessoas, agentes públicos e privados. Exige principalmente uma mudança de racionalidade da Ciência. A primeira mudança envolve o reconhecimento de que a crise é complexa e, portanto, não serve mais a racionalidade instrumental baseada no cartesianismo binário, baseado no binômio uma causa, um efeito. Deste modo, é imperativo adotar uma racionalidade ambiental ou ecológica (THORTON, 2000), envolvendo o reconhecimento da necessidade de se adotar o Paradigma de Risco e, por consequência, os princípios da prevenção e da precaução. Essas mudanças requerem ainda e entre outras, uma nova formação científica e uma mudança cultural. Nesse sentido, a educação CTS e, no âmbito da Química, a Química Verde (e sua variante, Química Verde e Sustentável) têm muito a colaborar.

3 Conceitos de sustentabilidade e seus limites

As discussões sobre sustentabilidade em interlocução com questões afeitas às relações C-T-S se mostram pertinentes e oportunas ao considerarmos, sinteticamente, os seguintes argumentos (VASCONCELOS; FREITAS, 2012, p. 91): 1) o momento socioambiental atual é tenso, quando se consideram os limites do planeta; 2) a tecnologia parece não ter sido construída em vinculação com uma ética

que indique o sentido e os limites de sua difusão e aplicação no meio social; 3) a educação científica passou por um período de “cegueira” em relação às consequências que o uso do conhecimento científico poderia ocasionar à sociedade, em virtude do obscurantismo técnico, fomentado pelo cartesianismo.

Mas é preciso ter alguns cuidados com os termos *DS* e *sustentabilidade*, dado que são empregados como sinônimos quando na verdade apresentem diferenças. O conceito de *sustentabilidade* é carregado de significado e polissemia; trata-se de um termo empregado nos mais diversos campos do saber, assumindo significados e valores distintos.

No âmbito da Ecologia, sustentabilidade refere-se “à capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas (resiliência) em face de agressões antrópicas [...] ou naturais” (NASCIMENTO, 2012, p. 51). Já no âmbito da Economia, *sustentabilidade* denota equilíbrio entre economia e ambiente.

Já o termo *DS* tem origem no conceito cunhado por Ignacy Sachs (2002, p. 53) como “uma nova forma de civilização baseada no aproveitamento racional da natureza”, portanto é visto como recurso e como estratégia correta de desenvolvimento, isto é, tem forte ligação com a economia (WCED, 1987). Isso implicaria em uma “Ética da Solidariedade sincrônica com a geração atual somada a solidariedade diacrônica com as gerações futuras” (SACHS, 2002, p. 75).

Além disso, Boff (2011) nos alerta para os cuidados com os termos *sustentabilidade* ou *sustentável*: o adjetivo *sustentável* é adicionado a qualquer coisa sem mudar a natureza da coisa; por exemplo, eu posso reduzir a poluição química de uma fábrica colocando filtros em suas chaminés que liberam gases, mas a forma de a empresa interagir com a natureza (de onde ela retira a matéria-prima para a produção) não muda, pois continua a devastar. Sua preocupação não é o ambiente, mas o lucro e a competitividade que têm que ser garantidos. Assim, a sustentabilidade é acomodação e não mudança. Por outro lado, o substantivo *sustentabilidade* exige uma mudança na relação com a natureza, a vida e a Terra. “A primeira mudança começa com outra visão da realidade. [...]. Nós não estamos fora e acima dela como um dominador, mas dentro e quem se importa em alavancar seus ativos, respeitando seus limites” (BOFF, 2011, p. 1).

Veiga (2010) considera *sustentabilidade* um termo ou conceito de difícil compreensão. Entretanto, uma boa definição é dada por Boff (2012), que considera que:

Sustentabilidade é toda a ação destinada a manter as condições energéticas, físico-químicas que sustentam todos os seres, especialmente a Terra viva, a comunidade de vida e a vida humana, visando sua continuidade e ainda atender as necessidades da geração presente e das futuras, de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução e coevolução (p. 107).

O conceito traz o reconhecimento sobre a existência de limites biofísicos na base natural onde se realizam as condições de vida. Isso envolve o problema da Entropia, ou seja, a Segunda Lei da Termodinâmica, algo trabalhado por Georgescu-Roegen (2012) em sua obra *O Decrescimento: entropia, ecologia, economia*.

A compreensão conceitual de *sustentabilidade* apresentada por Boff (*finitude dos recursos biofísicos naturais*) nos aproxima da "ecologia política" que, segundo Loureiro (2012), procura "recuperar a materialidade dos processos sociais e da natureza [que] é fundamental para não perdermos a dimensão concreta e histórica dos discursos ambientais que buscam se afirmar como verdades" (p. 14). Portanto, reconhecer a finitude dos recursos biofísicos naturais do planeta Terra frente aos impactos antropocêntricos pode nos auxiliar e reforçar o campo da ECT e da Educação Ambiental.

4 Educação CTS e a Química (Verde e Sustentável)

A abordagem CTS na educação em Ciências/Química é uma boa forma de superar um ensino estritamente conteudista, permitindo identificar e compreender, entre outros, aspectos fundamentais da C&T, de modo a possibilitar uma formação de alunos críticos e capazes de interagir de modo responsável com o meio ambiente (SANTOS, MORTIMER, 2002; MARQUES, et al., 2007). Nesse âmbito, Pinto *et al.* (2009, p. 568) defendem que "inocular nos estudantes e profissionais o comportamento verde" é um importante objetivo para a formação do Químico, visando o enfrentamento de problemáticas socioambientais. Já Zandonai *et al.* (2014, p.80) ressaltam a necessidade "da produção de propostas didáticas verdes", problematizando a QV no campo da Química e, especialmente, visando sua inserção no ensino.

Assim, o ensino na perspectiva CTS, tomando situações cotidianas, especialmente de natureza sociocientíficas e ambientais, tem sido defendido e relatado na literatura, inclusive para o ensino da QV. Marques e Machado (2018) afirmam que as dimensões sociais, econômicas e ambientais de QV apontam para uma perspectiva de educação científica situada nos estudos CTS. Também Sandri e Santin Filho (2017, p.113) apontam a possibilidade de que o ensino da QV, numa perspectiva CTC, auxilia a “extrapolar os limites restritos do conteúdo e explorar suas implicações em contextos mais amplos”.

A QV emergiu há cerca de 30 anos, como um campo de pesquisa e de práticas químicas, abrangendo a área acadêmica e industrial, cujos pesquisadores consideravam que não bastava limitar e controlar a exposição e o descarte dos produtos químicos, mas era necessário agir preventivamente aos danos ambientais, desenvolvendo rotas químicas de sínteses e produtos químicos inerentemente seguros (POLIAKOFF *et al.*, 2002). Baseada em doze princípios (ANASTAS; WARNER, 1998), visa mitigar os problemas da poluição química e, posteriormente, procura desenvolver o *design* molecular para o alcance, preventivo, de processos mais limpos (material e energeticamente). Os chamados *químicos verdes* justificavam seus trabalhos pelas necessidades e metas do desenvolvimento sustentável, respondendo assim às imputações de responsabilidade à Química pela crise ambiental, descritas no Relatório Brundtland (WCED, 1987).

A relação entre Química, QV e DS é explorada por Marques e Machado (2014; 2021), que apontam para a existência de diferentes visões, avanços e limitações da QV ao longo dos seus 25 anos, destacando dois aspectos importantes dessa sua trajetória: as limitações entrópicas e a educação em Química Verde (ou Sustentável). O primeiro trata de certo esquecimento nas discussões e produções científicas voltadas à QV das limitações impostas pelos postulados termodinâmicos, notadamente a Segunda Lei da Termodinâmica. Tal lei, que trata da entropia, é um fator considerado determinante para se discutir a possibilidade e o alcance da sustentabilidade e do DS. O segundo aspecto tem a ver com a educação em QV (ou sustentável), detectada pelos autores como ainda muito incipiente nas produções acadêmicas dos chamados *químicos verdes*, em termos de relatos de experiências pedagógicas de ensino e proposições à formação do químico.

Isso reforça a preocupação sobre a natureza e o tipo de formação que vem sendo oferecida aos químicos, considerando seu importante papel no enfrentamento dos problemas ambientais. A Química é a área do conhecimento que se ocupa de estudar a matéria (moléculas), suas propriedades e principalmente suas transformações. Por *natureza*, compreendemos a dimensão epistemológica, prática e pedagógica, o que significa incluir aspectos éticos e políticos, situando a formação e as práticas da Química alinhadas à perspectiva da Educação CTS.

Parece óbvio que por ser uma ciência *da e sobre* a natureza, a Química deveria se preocupar com o planeta Terra, não apenas como seu objeto de estudo, mas também como repositório de seus processos e produtos. Porém, não é isso que se descreveu no Relatório Brundtland tampouco o que constatou Chamizo (2011, p.329) quando, em 2011, apontou que a Química vive um novo período de mudanças nas ênfases das investigações e práticas científicas, reconhecendo que este era o “momento das culpas” e de se assumirem as responsabilidades. Porém, a história mostra o contrário, pois, com nossa visão antropocêntrica, agimos como predadores, e agora os efeitos desse modo de ver e agir mostram resultados devastadores.

Nesse sentido, se o ambiente é condição indispensável ao desenvolvimento das diferentes formas de vida, não haveria a necessidade de caracterizarmos CTS acrescentando uma letra *A* de ambiente (CTS-A) – talvez apenas para destacar ou ter um lugar de fala em um campo acadêmico específico de estudo. De todo modo, como destacou Santos (2011), a relação entre os estudos CTS e temáticas ambientais parece ter estado sempre presente no campo, ainda que de forma implícita.

Dois pressupostos servem de base aos nossos argumentos no campo do ensino da QV na perspectiva CTS. O primeiro é que a Educação CTS poderia “deslocar-se” de seu campo de interesse epistemológico (da Ciência e/ou Tecnologia) e curricular e intensificar sua aproximação com o campo ambiental (e sua problematização), por meio de abordagens de temas, problemas e controvérsias no ensino. Tal “deslocamento”, no sentido de dar ênfases, não implica tratar sobre Ciência e/ou Tecnologia, mas entrelaçar tais aspectos em uma visão e abordagem sistêmica. O segundo é que a QV, ao buscar contribuir com processos e produtos químicos ambientalmente mais benignos, problematiza a C&T, ainda que possam existir perspectivas variadas, as quais podem reforçar a racionalidade técnica e

instrumental e não uma racionalidade ambiental/ecológica da Química (MARCELINO, SJÖSTRÖM, MARQUES, 2019; MARCELINO, 2020).

Aqui, por questões de espaço, desenvolvemos argumentos em favor de um tipo de educação contextualizada em QV, situada em um momento de crise ambiental, onde se busca alterar práticas químicas, tomando como referência uma filosofia humanista, emancipadora, dialógica, sociocrítica, fundamentada em princípios educacionais freirianos (ARAÚJO, FORMENTO, 2020; SANTOS, 2008). Associando a QV ao desafio civilizatório da busca da sustentabilidade, acrescentar *ambiental* (sustentabilidade ambiental) significa a parte substantiva do processo de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, bem como exprime um propósito didático, visando enfatizar e problematizar mais a natureza e menos a sustentabilidade econômica.

O entrelaçamento entre a educação CTS e o ensino de QV

O campo CTS é abrangente e plural, o que pode dar sentidos diferenciados ao ensino de QV. Apresentamos, primeiramente, um panorama das publicações que relacionam CTS ao ensino de Ciências, realizado por Strieder e Kawamura (2017), para que possamos identificar o que defendemos como ensino de QV. As autoras propuseram uma matriz que sintetiza o escopo de objetivos e estratégias desse campo de interações, distribuída em dois eixos: 1) dos parâmetros CTS; 2) dos propósitos educacionais.

A primeira dimensão trata da pluralidade de visões sobre a natureza da ciência, tecnologia, sociedade e suas interações, estando dividida em três elementos: racionalidade científica, desenvolvimento tecnológico e participação social (Strieder, Kawamura, 2017). Percebe-se que cada elemento representa o foco em um dos constituintes da sigla CTS, que são tratados na educação a partir do eixo dos propósitos educacionais.

Importante considerar também a própria natureza complexa da QV. Marcelino (2020) defende a ideia de que a QV apresenta características tecnológicas, como o objetivo da criação de artefatos tecnológicos (substâncias com funções definidas), a busca pela eficácia (as substâncias têm de desempenhar uma função útil) e eficiência (com o menor custo e menor desperdício de matéria e energia possível), bem como de viabilidade econômica. Não obstante, Llored e Sarrade (2016) argumentam que a QV apresenta o diferencial de incluir o ambiente na definição de seu próprio objeto

epistêmico, incorporando a dimensão ambiental na sua racionalidade científica e no desenvolvimento tecnológico. Isso traz possibilidades para aproximações entre o enfoque CTS e o ensino de QV, como a possibilidade de discutir em um mesmo campo aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais.

Quadro 1: Dimensão dos propósitos educacionais do movimento CTS no Brasil.

Grupo	Elementos
Percepções	Exemplificação
Questionamentos	Implicações dos produtos na sociedade Visão histórica da prática científica e tecnológica Visão sociológica da prática científica e tecnológica
Compromissos Sociais	Proposição de Ciência e Tecnologia para o aqui e agora

Fonte: Adaptado de Strieder e Kawamura (2017).

A dimensão dos propósitos educacionais foi dividida pelas autoras em cinco elementos que se coadunam em três grupos (Quadro 1): percepções, questionamentos e compromissos sociais. O primeiro elemento (percepções / exemplificações) engloba perspectivas CTS orientadas a mostrar a importância ou a presença da C&T em situações cotidianas. Ao cruzar com o eixo dos parâmetros CTS, esse elemento gera propostas educacionais que objetivam ensinar os conceitos básicos das ciências para entender uma situação real (racionalidade científica); explicam o funcionamento de um artefato tecnológico por meio dos elementos que o constituem (desenvolvimento tecnológico); reconhecimento de temas atuais, mas sem explicitar a necessidade de tomada de posição ou decisão (participação social). Com base na pesquisa empírica de Strieder e Kawamura (2017), inferimos que a dimensão ambiental pode aparecer como uma justificativa hipotética, não refletida, para o ensino de determinados conceitos, técnicas e temas.

Uma educação em QV que se pautasse nesse grupo de proposições educacionais poderia se restringir a descrições/prescrições técnicas, como os 12 Princípios, mostrando como funciona ou deveria funcionar um processo. Atividades educativas que somente apontem a veracidade de um determinado processo por seguir um ou mais princípios, ao usar um catalisador ou trocar/retirar um solvente (por exemplo, ESTEB *et al.*, 2005; CUNHA; MATOS, 2017), poderiam ser enquadradas nesse grupo, pois a ideia parece ser mostrar estratégias básicas e conceitos fundamentais da Química (Verde), dos quais o aluno poderá fazer algum uso hipotético no futuro. Embora esses incrementos pontuais possam representar avanços, não há uma reflexão ou avaliação

sistemática sobre a profundidade e extensão da verdura alcançada (MACHADO, 2014), por exemplo, com o uso de métricas de avaliação de verdura ou de indicadores de sustentabilidade. O simples fato de invocar um princípio da QV parece ser o suficiente para garantir (pela exemplificação) a representação do ambiente.

O segundo elemento (Questionamentos) trata de refletir sobre os impactos (negativos e positivos) dos produtos científicos e tecnológicos na sociedade, mas também sobre os processos de construção desses produtos. No viés histórico, o conhecimento científico e tecnológico é visto ao longo do tempo, em suas rupturas, continuidades e tensões, demonstrando que o conhecimento (C&T) está em constante transformação. Na visão sociológica, o conhecimento é visto como uma prática social, e sua construção é analisada a partir dos interesses e valores sociais dominantes ou subversivos. A participação social é entendida como um processo de decisão individual, coletiva ou de pressão social. Contudo, o grupo de perspectivas educacionais questionadoras tende a considerar as relações CTS de forma unívoca: o impacto dos produtos na sociedade ou como a sociedade construiu determinados produtos e conhecimentos. É no grupo dos compromissos sociais que as relações são vistas de forma recíproca.

Na nossa reflexão sobre as possibilidades de representação do ambiente, entendemos que propostas educativas nesse grupo entendem o ambiente como dimensão passiva, que recebe os impactos de produtos científico-tecnológicos, sendo “vítima” dos padrões históricos de exploração e dominação pela humanidade. Enquanto o elemento histórico pode enfatizar os impactos antropogênicos no ambiente (como mudanças climáticas, chuva ácida, desmatamento, entre outros), o elemento social pode apontar a dependência do estilo de vida das sociedades humanas da exploração dos recursos naturais, ressaltando o ambiente como base material da existência social.

Esse grupo de abordagens CTS pode ser representado por trabalhos que pensam em relações iniciais entre QV e sociedade. São trabalhos que objetivam mostrar os efeitos dos produtos da Química (Verde) na sociedade, sejam os impactos negativos da indústria química no ambiente e os acidentes químicos ao longo da história ou os avanços conseguidos em práticas mais limpas, os prêmios concedidos a pesquisas em QV (por exemplo, CANN, 1999; HENRY, 2000) e as possibilidades de inovação. Howard-Greenville *et al.* (2017) apontam que o potencial da QV para

controlar efeitos perigosos (no ensino, na pesquisa e na indústria) e possibilitar inovação são aspectos importantes na sua adoção, especialmente entre gestores e pesquisadores, respectivamente, o que pode indicar importantes influências no ensino. No âmbito histórico e social, as propostas educativas podem se direcionar a mostrar a gênese da QV no contexto estadunidense, suas relações com o *Pollution Prevention Act*, a EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), ou mesmo como um rompimento com paradigmas de gestão de risco (como o paradigma da diluição ou paradigma de risco) (MARCELINO; MARQUES, 2013). Outro exemplo de análise de questões sociais da QV é o trabalho de Woodhouse e Breyman (2005), que enxergam a QV como um movimento social elitista, que centra o seu desenvolvimento na interação entre cientistas e indústria, ignorando outros setores da sociedade. A análise dos autores, ainda que não seja direcionada para o contexto educativo, exemplifica o estilo de abordagem social da evolução da QV, além de a proposição dos autores (maior participação social) anunciar a necessidade de compromissos sociais.

No grupo dos compromissos sociais, C&T são vistas como recursos para pensar e transformar a realidade atual. Diferentemente do grupo anterior, que analisava retroativamente o papel da sociedade na construção do conhecimento, agora o foco é pensar nas possibilidades da sociedade atual para produzir outros conhecimentos e formas de conhecer, por isso a ideia de proposições de C&T para o contexto atual dos sujeitos do processo educativo: C&T para o aqui e o agora. Assim, a participação social se dá de forma política, ao compreender e questionar as relações entre especialistas, governantes e população em geral. Propostas educativas nesse grupo tendem a abordar temas controversos ou ainda não estabelecidos previamente, mas que são relevantes para os educandos, os quais possibilitam a abordagem dos aspectos políticos que os circunscrevem.

Nesse grupo, entendemos que o ambiente pode passar a ser representado como uma dimensão com valor intrínseco, não apenas como recurso para existência humana. Além de promover uma ciência que investigue o ambiente em si e os impactos da ação antropogênica (C&T *do* e *no* ambiente), esse grupo de propostas CTS pode pensar na responsabilidade humana em lidar com os problemas ambientais, promovendo uma C&T *para* o ambiente. Assim, o ambiente passa a ser entendido efetivamente como compromisso social, como um horizonte compartilhado

por todo o mundo. Esse parece ser o intuito da QV, ao reconhecer que é necessário educar sobre a responsabilidade dos químicos em promover práticas e produtos ambientalmente benignos (EILKS; SJÖSTRÖM; ZUIN, 2017), bem como ao promover o pensamento sistêmico no ensino da Química como meio de abordar as relações globais da atividade química e sua contribuição para a sustentabilidade, a ideia de *One-World Chemistry* (MATLIN *et al.*, 2016).

Esse último propósito, compromissos sociais, apresenta características semelhantes às proposições educacionais de Paulo Freire e é um horizonte promissor para pensar o ensino de QV. Conforme sintetizam as autoras:

Uma educação CTS em consonância com essa perspectiva [freiriana] implica, por exemplo, discutir as limitações do conhecimento científico para compreender e resolver os problemas sociais; enfatizar a importância de a sociedade almejar outro modelo de desenvolvimento, que busque satisfazer as necessidades básicas de uma determinada população e não gerar lucro econômico; e, buscar uma cultura de participação no âmbito das políticas públicas, na definição de objetivos, meios para alcançá-los e maneiras de controlar sua implementação (STRIEDER; KAWAMURA, 2017, p. 47).

Sob o enfoque CTS, os conhecimentos científicos (QV) de modo geral e os conhecimentos ligados ao ambiente, em particular, forneceriam aos educandos meios que os auxiliariam na compreensão, reflexão, ações e tomadas de decisões no que diz respeito aos desdobramentos da C&T na sociedade e no ambiente (MOREIRA; AIRES, LORENZETTI, 2017). Deste modo, a abordagem CTS, quando inserida no ensino de Química, proporcionaria maior significado aos conteúdos, desenvolvendo a criticidade perante o desenvolvimento científico-tecnológico no contexto social. Este aspecto foi observado por Roloff e Marques (2014; 2018) ao entrevistarem professores responsáveis por disciplinas de cunho ambiental em cursos de licenciatura em Química das regiões sul e sudeste do país, constatando que a abordagem de questões ambientais deve se dar por meio das perspectivas da EA, da QA e do enfoque CTS, envolvendo exemplos dos princípios da QV.

Esse tipo de educação, contextualizada e crítica, se insere ainda em uma perspectiva freiriana. Para Freire (2007), não é suficiente que um sujeito consiga compreender uma determinada situação ou contexto de sua realidade apenas fundamentado no conhecimento puramente científico, pois é preciso enfatizar a dimensão social do conhecimento científico tecnológico e seu potencial transformador

da realidade. O propósito é que o estudante seja educado a ponto de se tornar mais conhecedor e atuante em questões sociais e ambientais, as quais envolvem C&T.

Para tal escopo, a prática docente também precisa mudar, de modo que saiba problematizar, intermediar e aproximar os conteúdos disciplinares da realidade vivida pelos estudantes, desconstruindo a ideia de que esses conhecimentos são desprovidos de utilidade fora do ambiente escolar (OLIVEIRA; GUIMARÃES; LORENZETTI, 2016). O ponto de partida é o contexto de vida (em uma determinada realidade) passível de ser conhecido e modificado, em um diálogo aluno-professor sobre alguma questão, ou seja, um processo de ensino problematizador sobre situações da realidade, seja por meio de temas, questões sociocientíficas, problemas ambientais, etc.

Uma educação que busca atribuir sentidos ao mundo existencial através da investigação desses problemas é algo que possibilita a construção de uma visão humanista ao se buscar transcender situações vivenciadas pelo sujeito. Situações em que os indivíduos, na maioria das vezes, compreendem-nas de maneira ingênua (FREIRE, 1987) e são percebidas como situações-limites, constituem barreiras para a construção do pensamento crítico. Isso requer, como afirma Freire, “atos-limites”, compreendidos como a possibilidade de criar inéditos viáveis, ou possibilidades para superá-los. São momentos em que os estudantes podem ser levados a adquirir habilidades e competências para além do conhecimento teórico, desenvolvendo valores e responsabilidades que possibilitem uma futura atuação (profissional) competente e compromissada com os critérios humanísticos, éticos (ambientais), legais e de rigor científico.

Esse tipo de educação, de ECT e de educação em QV, tem base CTS e visão humanística, sendo crítica e reflexiva (SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2014). Ela enfatiza as incertezas na geração e aplicação do conhecimento, envolve os alunos na reflexão sobre a natureza e o conhecimento da Química, desenvolve a conscientização, o exercício da cidadania para a tomada de decisões individuais e coletivas, problematiza causas, as consequências e as soluções à crise ambiental, em uma busca incessante pela sustentabilidade das várias formas de vida. Nesse sentido, discutir a busca pela sustentabilidade ambiental também poderia incorporar as noções de *circularidade*, *bioeconomia* e *pensamento sistêmico* no currículo de Química, contribuindo para os

estudantes compreenderem os conceitos químicos a partir de uma visão contextual (ZUIN; KÜMMERER, 2021).

Essa perspectiva de ECT se insere no que preconiza a UNESCO (2005) quanto ao papel de promoção de mudanças de comportamentos necessários para o alcance de um futuro mais sustentável, orientada pelos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Abordar os problemas socioambientais no Ensino de Ciências/Química significa, então, buscar compreender os fatores que determinam os limites biogeofísicos da natureza e a influência do modo de vida e de produção da sociedade de economia capitalista.

Compreender a existência de relações entre C-T-S implica reconhecer que os desastres ambientais são consequências de decisões que se fundamentaram, via de regra, a partir de uma lógica econômica atrelada ao racionalismo técnico, cujas soluções envolvem interesses e necessidades imediatas que tendem a desconsiderar o bem-estar das futuras gerações. Isso nos desafia a melhor compreender e problematizar os vários limites ao alcance da sustentabilidade e do Desenvolvimento Sustentável (DS), inscritos na ideia-força desses dois conceitos apregoados no Relatório Brundtland (WCED, 1987). A educação CTS tem esse potencial.

O Quadro 2, abaixo, apresenta um resumo da matriz de abordagens CTS no ensino de Ciências (STRIEDER; KAWAMURA, 2017), compreendendo alguns exemplos de propostas de ensino de QV e o modelo de participação social relacionado. Importante salientar que os elementos que constituem os parâmetros e propósitos educacionais CTS não são necessariamente opostos. Enquanto o eixo dos parâmetros apresenta dimensões complementares da realidade (ciência, tecnologia, sociedade e ambiente), o eixo dos propósitos representa um contínuo, uma expansão dos objetivos educacionais, que vai da transmissão dos conceitos científico-tecnológicos, seguido da contextualização desses conceitos na história e na sociedade, culminando com a instrumentalização da C&T para transformação da realidade.

Quadro 2: Exemplos de diferentes propósitos educacionais de abordagens CTS no ensino de Química Verde.

Propósitos Educacionais CTS		Parâmetros CTS			
		Racionalidade científica	Desenvolvimento tecnológico	Participação social	Ambiente
Percepções	Exemplificação	Aplicações dos 12 Princípios em atividades de laboratório;		Informar sobre a existência da QV;	Ambiente como justificativa hipotética para o ensino de C&T;
Questionamentos	Implicações dos produtos da C&T na sociedade	Mostrar os impactos da química (indústria e pesquisa) na sociedade e ambiente: geração de resíduos, acidentes químicos, conhecimentos inovadores;		Buscar consumir ou produzir, individualmente, produtos verdes;	Impactos de produtos C&T no ambiente;
	Visão histórica da prática científica e tecnológica	Emergência da QV no contexto da EPA e da crise ambiental;		Organizar-se em grupo para buscar consumir ou produzir produtos verdes;	Ambiente afetado por mudanças históricas e sociais;
	Visão sociológica da prática científica e tecnológica	Discutir quem pratica a QV, seus objetivos e valores;		Organizar-se em grupo para pressionar a sociedade (especialmente o mercado) a produzir produtos verdes;	Ambiente como base material do estilo de vida humano;
Compromissos sociais	Proposição de C&T para o aqui e agora	Pensar em possibilidades diferentes de organização de químicos, gestores e sociedade para desenvolver novas formas de pesquisar e produzir substâncias verdes.		Refletir sobre outras possibilidades de incluir diversos grupos sociais para repensar a definição da agenda de pesquisa e a tomada de decisão.	Ambiente como compromisso social compartilhado pela humanidade.

Fonte: Dados da Pesquisa.

5 Conclusão

As interrelações e a interdependência entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente têm sido motivo crescente de preocupação social e, por isso mesmo, cada vez mais discutidas na sociedade. As externalidades (impactos) dos processos econômicos (produção e circulação de mercadorias) e tecnológicos têm ocasionado problemas aos ecossistemas naturais em magnitude e gravidade que colocam em xeque a continuidade da própria vida humana no planeta. Portanto, seria

incompreensível e indefensável que os processos educativos, em particular de alfabetização científica e tecnológica, deixassem de tratar dos problemas ambientais como temática de ensino e aprendizagem. A educação CTS aborda essa temática e, por isso, serve tanto como suporte teórico-metodológico à sua abordagem quanto para a organização curricular.

Contudo, a profundidade e extensão com que a educação CTS pode abordar a questão da crise ambiental no ensino de Química irá depender e variar em função do planejamento docente e de seus objetivos formativos, oferecendo maior ou menor ênfase para esta temática.

Apresentamos possibilidades para discussão da dimensão ambiental no ensino de Química por meio da abordagem CTS envolvendo temas da QV. Argumentamos que o ambiente pode ser representado como mero exemplar para transmissão de conceitos científico-tecnológicos, como alvo dos impactos da ação humana ao longo da história ou como compromisso social compartilhado por todos. Nessa última abordagem CTS do ambiente (compromisso social), vemos similaridades com as propostas de Paulo Freire, especialmente no engajamento dos sujeitos na transformação de sua realidade.

Ao logo do texto expusemos como os fundamentos e propósitos da QV se alinham, *lato sensu*, à educação CTS e à perspectiva da sustentabilidade ambiental. Porém, como um campo emergente, a QV ainda aspira que seus resultados de pesquisa aplicada sejam incorporados ao ensino da Química, promovendo a evolução desta a uma perspectiva da salvaguarda do ambiente. Os desafios à formação de um “novo químico” são muitos e múltiplos, e o tempo corre contra nós.

Agradecimentos

Ao SIACTS, pela oportunidade de expor essas ideias no seu VIII Simpósio. O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — Brasil (402462/2021-1).

Referências

ACSELRAD, H.; HERCULANO, S.; PÁDUA, J. A. (Eds.). **Justiça ambiental e cidadania**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.

ANASTAS P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: theory and practice**. New York: Oxford University Press, 1998

AULER, D; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científica-Tecnológica para quê? **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 3, n. 1, 2001.

ARAÚJO, M. S. T., FORMENTON, R. Desenvolvimento de uma visão humanista sobre tecnologia. In: *Perspectivas para a educação contemporânea*. Collection: Desafios Intelectuales del Siglo XXI, p. 189-203, 2020. GKA Ediciones, Madri, Espanha. Editor: Viviane Inês Weschenfelder. Disponível em: <https://es.calameo.com/read/0050982491712c509e3bd>.

BELLAMY-FOSTER, J.; HOLLEMAN, H. The Theory of Unequal Ecological Exchange: A Marx-Odum Dialectic. **The Journal of Peasant Studies**, v. 41, n. 2, p. 199–233, 2014.

BOFF, L. Sustentabilidade: adjetivo ou substantivo? **Leonardo Boff [blog]**, 07 jun. 2011. Disponível em: <https://leonardoboff.org/2011/06/07/sustentabilidade-adjetivo-ou-substantivo/#comments>. Acesso em: 21 nov. 2022.

BOFF, L. **Sustentabilidade**: o que é – o que não é. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BOUZON, J.D.; BRANDÃO, J.B.; SANTOS, T.C.; CHRISPINO, A. O ensino de química no ensino CTS brasileiro: uma revisão bibliográfica de publicações em periódicos. *Química Nova na Escola*, v.40, n.3, p.214-225, 2018. DOI:10.21577/0104-8899.20160126.

CAMARGO, S. “Estamos na estrada para o inferno climático, com um pé no acelerador”, alerta Antônio Guterres, em discurso na COP27. **Conexão Planeta**, 7 nov. 2022. Disponível em: <https://conexaoplaneta.com.br/blog/estamos-numa-estrada-para-o-inferno-climatico-com-o-pe-ainda-no-acelerador-alerta-antonio-guterres-em-discurso-na-cop27/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

CANN, M. C. Bringing State-of-the-Art, Applied, Novel, Green Chemistry to the Classroom by Employing the Presidential Green Chemistry Challenge Awards. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 12, p. 1639, 1999.

CHAMIZO, J. A. La imagen pública de la química. **Educación Química**, v. 22, n. 4, p. 320-331, 2011.

CUNHA, S.; MATOS, J. Além da Caipirinha: Cachaça como Solvente para Síntese Orgânica e Extração de Pigmento. **Química Nova**, v. 40, n. 10, 2017.

EBI, K. L. Facilitating climate justice through community-based adaptation in the health sector. **Environmental Justice**, v. 2, n. 4, p. 191-195, 2009.

EILKS, I.; SJÖSTRÖM, J.; ZUIN, V. G. The responsibility of Chemists for a better world: challenges and potentialities beyond the lab. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 12, n. 1, p. 97–105, 2017.

ESTEB, J. J.; HOHMAN, J. N.; SCHLAMADINGER, D. E.; WILSON, A. M. A Solvent-Free Baeyer–Villiger Lactonization for the Undergraduate Organic Laboratory: Synthesis of γ -t-Butyl- ϵ -Caprolactone. **Journal of Chemical Education**, v. 82, n. 12, p. 1837–1838, 2005.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do Oprimido*. 11. Ed. São Paulo: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. São Paulo: Paz & Terra, 2007.

GATTI, L. V. et al. Amazon carbon emissions double mainly by dismantled in law enforcement. **Research Square**. On-line (preprint). 19 set. 2022.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento**: entropia, ecologia, economia. São Paulo: Senac São Paulo, 2012.

HENRY, C. M. Color Me Green: Five Environmentally Friendly Technologies Are Recognized by the Presidential Green Chemistry Challenge Award. **Chemical & Engineering News**, v. 78, n. 28, p. 49–55, 2000.

HOWARD-GRENVILLE, J.; NELSON, A. J.; EARLE, A. G.; HAACK, J. A.; YOUNG, D. M. “If Chemists Don’t Do It, Who Is Going To?” Peer-Driven Occupational Change and the Emergence of Green Chemistry. **Administrative Science Quarterly**, v. 62, n. 3, p. 524–560, 2017.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. [S. l.]: Cambridge University Press, 2022. (IPCC AR6 WGIII). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. São Paulo: Cortez, 2002.

LLORED, J.-P.; SARRADE, S. Connecting the Philosophy of Chemistry, Green Chemistry, and Moral Philosophy. *Foundations of Chemistry*, v. 18, n. 2, p. 125–152, jul. 2016.

LOUREIRO, C. F. B. **Sustentabilidade e educação**: um olhar da ecologia política. São Paulo: Ed. Cortez, 2012.

MACHADO, A. A. S. C. **Introdução às Métricas da Química Verde**: uma visão sistêmica. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.

MARCELINO, L. V. **Os tipos de racionalidade na química verde e suas relações com o ensino**. 2020. 198f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARCELINO, L. V.; MARQUES, C. A. O Princípio da Precaução no Ensino de Química para a Regulação Social da Ciência e Tecnologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9, 2013, Águas de Lindóia, SP. **Anais do IX ENPEC**. Águas de Lindóia, SP: ABRAPEC, 2013. p. 8.

MARCELINO, L. V.; SJÖSTRÖM, J.; MARQUES, C. A. Socio-Problematization of Green Chemistry: Enriching Systems Thinking and Social Sustainability by Education. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 7123, 2019.

MARQUES, C. A.; COELHO, J. C.; Gonçalves, F. P.; LINDEMANN, R. H.; MELLO, L. C.; OLIVEIRA, P. R. Silva; ZANPIRON, E. A. Visões de meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de química na escola média. *Química Nova*, v. 30, p. 2043-2052, 2007.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. Environmental Sustainability: Implications

and limitations to Green Chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 16, n. 2, p. 125–147, 2014.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. Una visión sobre propuestas de enseñanza de la Química Verde. REEC: **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 17, n. 1, p. 19–43, 2018.

MARQUES, C. A.; MARCELINO, L. V.; DIAS, É.; RÜNTZEL, P.; SOUZA, L.; MACHADO, A. Green Chemistry Teaching for Sustainability in Papers Published by the Journal of Chemical Education. **Química Nova**, v. 43, n. 10, p. 1510–1521, 2020.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. An Integrated Vision of the Green Chemistry Evolution along 25 Years. **Foundations of Chemistry**, v. 23, p. 299–328, 18 jun. 2021.

MARQUES, L. C. **Capitalismo e Colapso Ambiental**. 3ª Ed. Campinas, Editora da Unicamp, 2018

MATLIN, S. A.; MEHTA, G.; HOPF, H.; KRIEF, A. One-World Chemistry and Systems Thinking. **Nature Chemistry**, v. 8, n. 5, p. 393–398, 2016.

MOREIRA, A. M.; AIRES, J. A.; LORENZETTI, L. Abordagem CTS e o conceito química verde: possíveis contribuições para o ensino de química. **ACTIO**, v. 2, n. 2, p. 193-210, 2017.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012.

OLIVEIRA, S.; GUIMARÃES, O. M.; LORENZETTI, L. Uma proposta didática com abordagem CTS para o estudo dos gases e cinética química utilizando a temática da qualidade do ar interior. **Revista Brasileiro de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.8, n. 4, 2015.

ONU. Climate Adaptation. **United Nations**, 2022. Disponível em: https://www.un.org/en/climatechange/climate-adaptation?gclid=CjwKCAiA68ebBhB-EiwALVC-NIMASdiFI8ggpVE8E94_WUsp9z0DtZ44zj2M-op-8T12lulCe50vRhoC6ykQAvD_BwE. Acesso em: 10 nov. 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 15 de set. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>, acesso em mar. 2022.

PINTO, A.C.; ZUCCO, C.; ANDRADE, J.B.; VIEIRA, P.C. Recursos humanos para novos cenários. *Química Nova*, v.32, n.3, p.567-570, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000300002.

POLIAKOFF, M.; FITZPATRICK, J. M.; FARREN, T. R.; ANASTAS, P. T. Green Chemistry: Science and Politics of Change. **Science**, v. 297, p. 807–810, 2002.

PRIGOGINE, I. **O Fim das Certezas: Tempo Caos e as Leis da Natureza**. São Paulo, Editora da UNESP, 1996.

ROLOFF, F. B.; MARQUES, C. A. Environmental issues in the voice of teacher trainers

in the discipline of environmental studies in chemistry. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 549–555, 2014.

ROLOFF, F. B.; MARQUES, C. A. Contribuições de produções acadêmicas nacionais sobre Química Verde e seu ensino. **Amazônia**, v. 14, n. 32, p. 78–91, 2018.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SANDRI, M.C.M.; SANTIN FILHO, O. Implicações da inserção da química verde na formação inicial de professores de química. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, v.11, n.1, p.111-124, 2016.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em educação em ciências*, v.2, n.2, 2002.

SANTOS, W. L. P. Educação científica humanística em uma perspectiva freiriana: resgatando a função do ensino de CTS. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. 109-131, 2008. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6170687>).

SANTOS, W. L. P. dos. **Significados da educação científica com enfoque CTS**. In: SANTOS, W. L. P. dos; e AULER, D. (Orgs.). *CTS e Educação Científica: Desafios, Tendências e Resultados de Pesquisas*. Brasília: Editora UnB, 2011.

SHEPARD, P. M.; CORBIN-MARK, C. Climate justice. **Environmental Justice**, v. 2, n. 4, p. 163-166, 2009.

SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. Humanizing chemistry education: from simple contextualization to multifaceted problematization. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 8, p. 1125–1131, 2014.

STRIEDER, R. B.; KAWAMURA, M. R. D. Educação CTS: parâmetros e propósitos brasileiros. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 27-30, 2017.

THORNTON, J. Beyond risk: an ecological paradigm to prevent global chemical pollution. **International journal of occupational and environmental health**, v. 6, n. 4, p. 318–330, 2000.

UNCED. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Agenda 21. United Nations: NewYork, 1992.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014): international implementation scheme**. UNESCO: Paris, 2005.

VASCONCELOS, E. R.; FREITAS, N. M. S. O paradigma da sustentabilidade e a abordagem CTS: mediações para o ensino de ciências. **Amazônia. Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 9, n. 17, p. 89-108, 2012.

WCED. World Commission on Environmental and Development. **Our common future**.

Oxford University Press: Oxford, 1987.

WOODHOUSE, E. J.; BREYMAN, S. Green Chemistry as Social Movement? **Science, Technology, & Human Values**, v. 30, n. 2, p. 199–222, abr. 2005.

ZANDONAI, D.P.; SAQUETO, K.C.; ABREU, S.C.S.R.; LOPES, A.P.; ZUIN, V.G. Química Verde e formação de profissionais do campo da química: relato de uma experiência didática para além do laboratório de ensino. *Revista Virtual de Química*, v.6, n.1, p.73-84, 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140007

ZUIN, V. G. e KÜMMERER, K. Towards more sustainable curricula. **Nature Reviews Chemistry**, v. 5, 2021.