



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ENS
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Felipe Alves Silveira

**O CONCEITO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L) APLICADO NA GESTÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DO SETOR ELÉTRICO**

Florianópolis

2025

Felipe Alves Silveira

O conceito de Produção Mais Limpa (P+L) aplicado na gestão de resíduos sólidos do setor elétrico

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia sanitária e ambiental.

Orientador(a): Dr. Matheus Cavali

Florianópolis

2025

Silveira, Felipe Alves

O conceito de Produção Mais Limpa (P+L) aplicado na gestão de resíduos sólidos do setor elétrico / Felipe Alves Silveira ; orientador, Matheus Cavali, 2025.

92 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

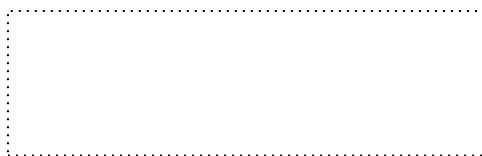
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Resíduos sólidos. 3. Setor elétrico. 4. Produção mais Limpa. I. Cavali, Matheus. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Felipe Alves Silveira

O conceito de Produção Mais Limpa (P+L) aplicado na gestão de resíduos sólidos do setor elétrico

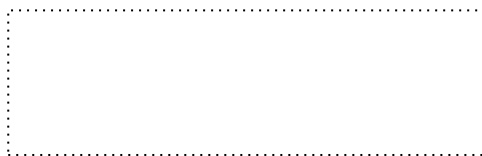
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Local Florianópolis, 03 de dezembro de 2025.



Prof. Bruno Segalla Pizzolatti
Coordenação do Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca examinadora



Dr. Matheus Cavali
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Maria Eduarda Bezerra
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Nelson Libardi Junior
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2025.

Dedico este trabalho a Deus, que me capacitou e sustentou em cada etapa desta jornada, cujo cuidado e amor incondicional sempre foram meu alicerce.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha querida família. À minha mãe, Enaide, exemplo de fé, doçura e amor sacrificial, que sempre colocou a necessidade do próximo à frente da sua. Ao longo desses anos, não consigo contar quantas horas ela dedicou intercedendo por mim. Muito do que sou hoje aprendi com sua vida.

Agradeço ao meu pai, Daniel, que me ensinou sobre princípios e retidão, a não escolher sempre o caminho mais fácil, mas o mais correto. Obrigado por todo o suporte e amor, que foram essenciais em cada etapa.

Ao meu irmão, Fábio, por quem não encontro palavras suficientes sem me emocionar. Ele esteve comigo desde os meus primeiros passos e permaneceu até aqui, me ensinando, apoiando e tirando dúvidas da graduação. Meu melhor amigo por toda a vida.

À minha amada e parceira de vida, Beatriz, que conheci na universidade e que desde então tem sido meu suporte em todos os momentos, ensinando-me a cuidar e a ser cuidado.

Aos amigos de Santos que permaneceram comigo ao longo dos anos, e aos novos amigos de Florianópolis, que se tornaram verdadeiramente minha família nesta cidade, amo a vida de cada um de vocês.

Agradeço ao Matheus, meu orientador, pela dedicação e direcionamento ao longo de todo o trabalho. Não teria concluído esta etapa sem sua orientação.

Ao professor Armando, pela compreensão e tranquilidade transmitida em relação ao TCC.

Agradeço ainda aos supervisores de todos os estágios não obrigatórios que realizei, por despertarem meu interesse pela área de resíduos e pelo setor elétrico. Ao pessoal do LARESO, que me acompanhou durante o último semestre de estágio obrigatório.

A todos os professores que contribuíram positivamente para a minha formação, tornando o período da graduação mais leve e enriquecedor.

E, por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, que me recebeu e ofereceu toda a estrutura necessária para que eu vivesse excelentes anos como aluno desta instituição.

A todos os que fizeram parte dessa jornada, quero deixar aqui meus mais sinceros agradecimentos.

Muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho avalia a aplicação do conceito de Produção Mais Limpa (P+L) na gestão de resíduos sólidos do setor elétrico, analisando sua interface com os princípios ESG e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 (Energia Limpa e Acessível), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima). A metodologia integrou revisão bibliográfica sistemática, análise de relatórios de sustentabilidade de grandes companhias e um estudo de caso comparativo. Os resultados sugerem que embora o setor disponha de tecnologias maduras como a regeneração de óleos isolantes, a valorização energética e o aproveitamento de subprodutos, a gestão de algumas empresas ainda se concentra em ações de baixa ecoeficiência (reciclagem e valorização externa). Na análise corporativa, verificou-se que grandes empresas já incorporam o ODS 12 como eixo estratégico de circularidade e o ODS 7 através de metas de eficiência energética e modernização de ativos, embora a conexão com o ODS 13 e o pilar ambiental do ESG ainda careça, em muitos casos, de profundidade operacional. Já o estudo de caso revelou contrastes na gestão das unidades analisadas: enquanto a Empresa A dispõe de planejamento formal (PGRS), enfrenta gargalos logísticos que limitam a execução; em contrapartida, a Empresa B demonstra capacidade operacional na logística reversa, mas é restringida por entraves burocráticos. Conclui-se que o setor necessita transitar de soluções "fim de tubo" para estratégias preventivas visando a redução na fonte. Recomendando-se assim a atualização dos instrumentos de planejamento, a adoção de relatórios auditáveis e a desburocratização de processos para consolidar a economia circular.

Palavras-chave: ESG; ODS; Óleo isolante de transformador; Economia circular; Energia.

ABSTRACT

This study evaluates the application of the Cleaner Production (CP) concept to solid waste management in the electric power sector, examining its interface with ESG principles and the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) 7 (Affordable and Clean Energy), 12 (Responsible Consumption and Production), and 13 (Climate Action). The methodology combined a systematic literature review, an analysis of sustainability reports from major companies, and a comparative case study. The findings suggest that although the sector has access to mature technologies such as transformer oil regeneration, energy recovery, and by-product valorization, the waste management practices of some companies still focus on low-eco-efficiency actions, such as basic recycling and external valorization. At the corporate level, the analysis revealed that large companies already incorporate SDG 12 as a strategic axis for circularity and SDG 7 through targets related to energy efficiency and asset modernization. However, the connection with SDG 13 and the environmental pillar of ESG still lacks operational depth in many cases. The case study revealed contrasting approaches between the two units analyzed: while Company A possesses formal planning instruments (such as its Solid Waste Management Plan), it faces logistical bottlenecks that limit implementation; conversely, Company B demonstrates strong operational capacity in reverse logistics but is constrained by bureaucratic barriers. Overall, the study concludes that the sector must transition from end-of-pipe solutions toward preventive strategies focused on source reduction. Accordingly, it recommends the updating of planning instruments, the adoption of auditable reporting standards, and the reduction of bureaucratic barriers to consolidate circular economy practices.

Keywords: ESG; SDG; transformer insulating oil; circular economy; energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação das fontes de energia renovável no Brasil.....	20
Figura 2 – Participação das fontes de energia na matriz elétrica nacional.....	21
Figura 3 – Distribuição de empreendimentos hidrelétricos no Brasil.....	22
Figura 4 – Fluxograma para classificação de resíduos.	26
Figura 5 – Esquematização das etapas do modelo de economia circular.....	28
Figura 6 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).	36
Figura 7 – Equipamento de regeneração de óleo isolante de transformador.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferenças entre abordagem Fim de Tubo e Produção Mais Limpa (P+L).	35
Quadro 2 – Metas e objetivos dos ODS 7, 12 e 13. (Continua).....	37
Quadro 3 – Resumo da metodologia disposto em matriz metodológica.	40
Quadro 4 – Classificação de porte industrial de acordo com o número de funcionários.	41
Quadro 5 – Resumo das técnicas P+L apresentadas. (Continua)	42
Quadro 6 – Definição de técnicas de recuperação de metais.	47
Quadro 7 – Análise custo-benefício da regeneração (on-line ou não) comparada à substituição do óleo.....	52
Quadro 8 – Resumo de informações identificadas nos relatórios de sustentabilidade (Continua).....	55
Quadro 9 – Informações resumidas do questionário enviado às empresas (Continua)	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de empreendimentos por tipo.	22
Tabela 2 – Resultados PBWTO em comparação com óleo diesel.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Association of College and Research Libraries
BTE	Brake Thermal Efficiency (Eficiência Térmica de Frenagem)
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EGR	Exhaust Gas Recirculation (Recirculação de Gases de Escape)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ESG	Environmental, Social and Governance (Ambiental, Social e Governança)
GEE	Gases de Efeito Estufa
GRI	Global Reporting Initiative
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMI	Óleo Mineral Isolante
ONU	Organização das Nações Unidas
P+L	Produção Mais Limpa
PBWTO	Pyrolyzed Biodiesel of Waste Transformer Oil
PCB	Bifenilas Policloradas
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SF6	Hexafluoreto de Enxofre
SIN	Sistema Interligado Nacional
UHE	Usina Hidrelétrica
WtE	Waste-to-Energy

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	ENERGIA ELÉTRICA	19
3.1.1	Geração de Energia	19
3.1.1.1	<i>UHEs, PCHs e CGHs</i>	21
3.1.2	Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica	23
3.1.2.1	<i>Linhas de Transmissão (LTs)</i>	23
3.1.2.2	<i>Subestações (SEs)</i>	24
3.1.2.3	<i>Transformadores de potência e corrente (TPs e TCs)</i>	24
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS	24
3.2.1	Resíduos no Setor Elétrico	26
3.2.2	Economia circular	27
3.3	LEGISLAÇÕES	28
3.3.1	Principais legislações federais	29
3.3.1.1	<i>Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)</i>	29
3.3.1.2	<i>Lei nº 14.250/2021</i>	29
3.3.1.3	<i>Resoluções CONAMA</i>	30
3.3.1.4	<i>Normativas</i>	30
3.4	GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR ELÉTRICO	32
3.4.1	Geração e acondicionamento	32
3.4.2	Coleta e transporte	32
3.4.3	Destinação	33
3.5	PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L)	34
3.6	OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)	35
3.7	ESG – AMBIENTAL, SOCIAL E GOVERNANÇA	38
4	METODOLOGIA	40
5	RESULTADOS	42
5.1	P+L NO SETOR ELÉTRICO	42
5.1.1	Valorização energética – Waste-to-Energy	43

5.1.2	Aproveitamento de subprodutos	47
5.1.3	Regeneração de óleo isolante	50
5.1.4	Tratamento de rochas ou solos contaminados com óleo	53
5.2	PRÁTICAS P+L, PRINCÍPIOS DE ESG E OS ODS	54
5.2.1	Pilar Ambiental (E)	57
5.2.2	Pilar Social (S)	58
5.2.3	Pilar Governança (G)	59
5.2.4	Relação com os ODS 7, 12 e 13	60
5.3	ANÁLISE DE EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO	62
5.3.1	Perfil das respondentes e gestão atual	64
5.3.2	Práticas alinhadas aos princípios de P+L identificadas nas empresas respondentes	66
5.3.3	Barreiras e desafios para adoção de práticas P+L no setor	67
5.3.4	Relação das empresas com o cumprimento dos ODS 7, 12 e 13	68
5.3.5	Recomendações para as empresas	68
6	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICE A – PERGUNTAS DO QUESTIONÁRIO	86

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica é uma atividade fundamental para o desenvolvimento de muitos países, permeando as suas diferentes atividades econômicas e produtivas, como setores industriais, transporte, saúde, entre outros. Pode-se observar, quanto ao cenário global, uma transição energética gradual nas últimas décadas para fontes mais limpas e sustentáveis, como a energia solar, eólica e de biomassa (REN21, 2023). Ainda assim, fontes convencionais não renováveis à base de carvão e gás natural, como é o caso das termelétricas, representam uma parcela significativa na matriz elétrica mundial, sendo responsável por mais de 35,8% da geração de eletricidade mundialmente (EPE, 2025).

O Brasil, no entanto, apresenta um panorama distinto. As fontes renováveis representam 86% da produção de energia elétrica brasileira, com as hidrelétricas correspondendo a aproximadamente 55% da matriz nacional (EPE, 2025). A predominância da geração contínua proveniente de centrais hidrelétricas permite a integração de forma complementar de fontes intermitentes como, por exemplo, a solar e a eólica. Assim, a estabilidade da geração hidráulica atua como suporte ao suprimento energético, compensando a intermitência de fornecimento elétrico daquelas outras fontes (ANEEL, 2020).

Apesar dos avanços em sustentabilidade energética, observa-se que a etapa de operação do setor elétrico permanece associada a impactos ambientais significativos, com destaque para a geração de resíduos sólidos. Esses resíduos são provenientes, em grande parte, das atividades de manutenção e operação dos empreendimentos, como usinas, subestações, linhas de transmissão, entre outros. Entre os resíduos comumente gerados no setor, destacam-se os não-perigosos, como recicláveis e resíduos orgânicos gerados em atividades administrativas, e os perigosos, como lâmpadas fluorescentes, baterias, metais pesados, até óleos isolantes contaminados com bifenilas policloradas (PCBs), que, por sua vez, são compostos altamente tóxicos e, conforme a OMS, possivelmente cancerígenos para humanos (Hurtado *et al.*, 2013).

Desse modo, a gestão inadequada dos resíduos sólidos no setor elétrico pode acarretar danos ambientais expressivos, e expor trabalhadores a riscos desnecessários, além de sujeitar as empresas à possíveis sanções legais conforme estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Esse contexto abre caminhos para a adoção de práticas voltadas para o conceito de Produção Mais Limpa (P+L), que foi definido em 1989 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) como um conjunto de estratégias preventivas voltadas à melhoria contínua dos processos produtivos, com foco no uso eficiente de recursos e na redução dos impactos ambientais na fonte geradora (PNUMA, 2007). Diferentemente das tecnologias de “fim de tubo”, que somente tratam os resíduos após sua geração, a P+L propõe mudanças no processo produtivo, como a substituição de materiais perigosos e o reuso de insumos. Entre suas vantagens destacam-se a redução de custos operacionais, o aumento da eficiência energética e de materiais, a melhoria da imagem institucional e a adequação às legislações ambientais, além de minimizar riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Silva Filho *et al.*, 2007).

No contexto do setor elétrico, a aplicação de estratégias P+L ganha destaque, tendo em vista os desafios regulatórios enfrentados pelas empresas do segmento, a diversidade e periculosidade dos resíduos gerados nas atividades de manutenção e operação dos empreendimentos, assim como o grande potencial para otimização dos processos empregados atualmente (Maia *et al.*, 2021). A incorporação desse conceito não apenas contribui para o cumprimento das exigências dos órgãos ambientais reguladores, mas também para um fortalecimento do compromisso do setor com a sustentabilidade. Dessa forma, a adoção da P+L promove o alinhamento do setor como as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), em especial aqueles relacionados ao consumo e produção responsáveis (ODS 12), energia limpa e acessível (ODS 7) e ações contra a mudança global do clima (ODS 13).

Por fim, cabe destacar que o escopo deste trabalho não abrange a fase de instalação dos empreendimentos elétricos, restringindo-se apenas à operação e manutenção dos sistemas de geração, transmissão e distribuição, bem como aos resíduos inerentes a essas atividades. Ademais, não foram objeto de estudo os resíduos provenientes de usinas eólicas, fotovoltaicas ou quaisquer rejeitos radioativos, uma vez que apresentam dinâmicas próprias de geração, regulamentação e tratamento que extrapolam os objetivos definidos para esta pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicação de práticas de produção mais limpa (P+L) voltadas para os resíduos sólidos em empresas do setor elétrico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Pesquisar e avaliar as principais técnicas de P+L no setor elétrico aplicadas no Brasil e no mundo.
- ii. Discutir como as práticas de P+L aplicadas à gestão de resíduos sólidos no setor elétrico se relacionam com os princípios de ESG e com os ODS 7, 12 e 13.
- iii. Avaliar, através de um estudo de caso, como algumas empresas do setor elétrico incorporam práticas alinhadas ao conceito de P+L na gestão de resíduos sólidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica pode ser definida como a forma de energia resultante do movimento ordenado de cargas elétricas em um condutor (Panunzio, 2013), podendo ser armazenada, transportada e transformada (Zanon, 2020).

A versatilidade da energia elétrica se concentra na sua capacidade de ser produzida em um ponto específico e posteriormente transmitida a longas distâncias por meio de redes de transmissão, com perdas relativamente reduzidas, viabilizando o abastecimento de diferentes regiões e a integração de sistemas isolados (ANEEL, 2008).

Para o cenário atual, a energia elétrica tornou-se um insumo essencial não apenas para o consumo residencial, mas também para o funcionamento dos diversos setores produtivos, como a indústria, o comércio, a agricultura etc. Sua ampla aplicabilidade e facilidade de conversão em outras formas de energia, a tornam um recurso estratégico no desenvolvimento econômico e na melhoria da qualidade de vida (Matias, 2017).

3.1.1 Geração de Energia

A geração de energia elétrica constitui a etapa inicial do processo de fornecimento de energia. Essa geração pode ocorrer a partir de diferentes fontes, sendo classificadas em renováveis e não renováveis. As fontes ditas “renováveis” são caracterizadas pela sua disponibilidade de se regenerar naturalmente em escalas de tempo humanas, como é o caso, por exemplo, da energia hidráulica, solar, eólica, biomassa e geotérmica. Por outro lado, as “não renováveis” englobam a parcela excedente, os recursos finitos, com destaque para os minerais radioativos utilizados na geração nuclear, e os combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo, gás natural etc. (Matias, 2017; MME, 2024)

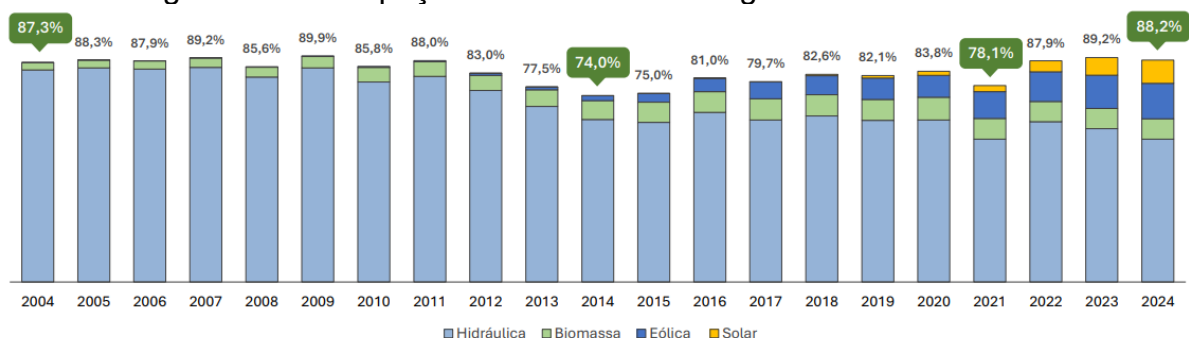
A conversão das diferentes formas de energia em energia elétrica pode ser feita através de processos físicos, químicos ou, ainda, através da combinação de ambos. Nas usinas hidrelétricas, por exemplo, a energia potencial da água armazenada nos reservatórios é convertida em energia cinética, movimentando mecanicamente as turbinas que acionam os geradores instalados nas casas de força, transformando a energia mecânica de rotação em energia elétrica (ANEEL, 2024).

Nas células a combustível e nas pilhas, a geração resulta de reações químicas diretas, sem a necessidade de etapas mecânicas intermediárias. Já nas termelétricas a carvão, ocorre um processo combinado no qual a energia química do combustível é transformada em energia térmica que é utilizada para aquecer água e produzir vapor. Esse vapor movimenta turbinas, que convertem a energia mecânica em energia elétrica (ANEEL, 2008; Robalinho; Alegre, 2021).

O cenário energético brasileiro possui certas singularidades quando comparado ao contexto global, tendo como destaque a elevada participação de fontes renováveis em sua matriz elétrica e, em especial, a energia hidráulica como a principal fonte de geração elétrica do país. De acordo com a 74ª edição do *Statistical Review of World Energy* (EI, 2025), o Brasil segue como o segundo maior gerador de energia elétrica a partir de usinas hidrelétricas, responsável por 9,3% da geração hidráulica mundial, ficando atrás apenas da China, que concentra 30,4% da geração global pela mesma fonte.

Na última década, houve no Brasil um crescimento expressivo quanto à diversificação da matriz energética, principalmente tratando-se do avanço das fontes eólica e solar (Figura 1). Segundo o mesmo relatório acima citado, o país ocupa, atualmente, a quarta posição mundial em geração elétrica por fonte eólica, com 2,9% de participação global, e a sexta posição em geração solar, com 2,8%. Isso evidencia um olhar em direção à ampliação do uso de fontes renováveis alternativas à geração hidrelétrica.

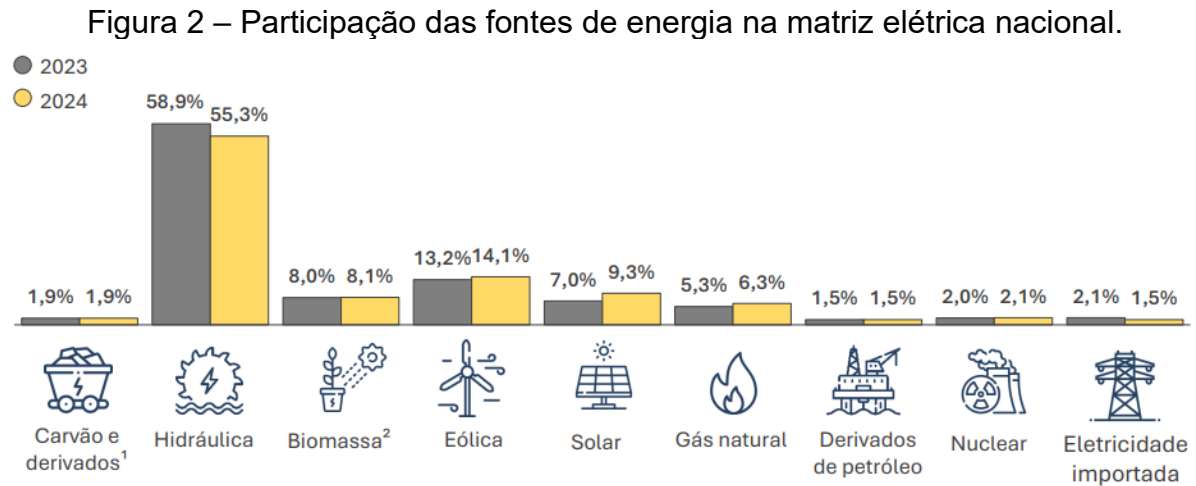
Figura 1 – Participação das fontes de energia renovável no Brasil.



Fonte: Relatório Síntese 2025 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

A maior participação dessas fontes representa um avanço relevante para o setor elétrico nacional, principalmente diante dos riscos que estão associados à dependência da geração hidráulica, que é vulnerável às variações climáticas e a

outros fatores que afetam a disponibilidade hídrica dos reservatórios. Porém, apesar dos avanços, a Figura 2 evidencia que a matriz elétrica brasileira permanece fortemente dependente das fontes hidráulicas, ainda que essa dependência esteja reduzindo ao longo dos anos.



Fonte: Relatório síntese 2025 EPE.

3.1.1.1 UHEs, PCHs e CGHs

As usinas hidrelétricas (UHEs), pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e as centrais geradoras hidrelétricas (CGHs) são empreendimentos que utilizam o potencial hidráulico para a geração de energia elétrica (ANA, 2013). Esses empreendimentos, além de fornecerem energia em grande escala, desempenham um papel estratégico na regulação do sistema elétrico, permitindo o armazenamento de água para atender à demanda em períodos de pico. Apesar de possuírem o mesmo método de funcionamento, diferem entre si quanto à potência instalada (ANA, 2013). De acordo com a ANEEL, as CGHs são as menores das três citadas, possuindo até 1 MW de potência instalada, as PCHs possuem entre 1,1 e 30 MW de potência instalada, enquanto as UHEs possuem as maiores potências, sendo acima de 30 MW. Para se ter um comparativo, a cada 1 MW de potência instalada, pode-se atender perto de 3 mil habitantes (Atiaia, 2023), considerando um consumo médio residencial. Dessa forma, observa-se que, enquanto as CGHs e PCHs têm aplicação principalmente voltada para suprimento de demandas regionais, as UHEs possuem um foco voltado para o abastecimento de grandes áreas além de reforçar a estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Na Figura 3, é demonstrado como se dá a distribuição das UHEs, PCHs e CGHs no território brasileiro.

Figura 3 – Distribuição de empreendimentos hidrelétricos no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Pode-se observar que os empreendimentos hidrelétricos não se distribuem de forma homogênea pelo Brasil, havendo uma maior concentração de unidades nas regiões Sul e Sudeste do país.

A Tabela 1, apresenta, de acordo com dados fornecidos no Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), os empreendimentos hidrelétricos em operação em 2025.

Tabela 1 – Número de empreendimentos por tipo.

Tipo de empreendimento	Unidades em operação
UHEs	216
PCHs	442
CGHs	732
Total	1.390

Fonte: adaptado de SNIRH (2025).

3.1.2 Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

A transmissão de energia elétrica é uma fase intermediária entre a geração e a distribuição da energia. Ela consiste no transporte da energia gerada nas usinas até os centros consumidores. Naturalmente, as usinas de energia elétrica são construídas mais afastadas desses centros. Sendo assim, após gerada, a energia elétrica passa por uma elevação na tensão em uma subestação e então é transportada por redes de alta tensão, chamadas Linhas de Transmissão (LTs). Isso permite que a energia percorra longas distâncias com baixas perdas durante o transporte (Figueiredo, 2014).

No Brasil, grande parte da transmissão é realizada por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN), que conecta as regiões Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte do país, possibilitando o intercâmbio de energia entre áreas com diferentes padrões de geração e demanda. Esse arranjo operacional permite a gestão das usinas de modo a suprir o mercado consumidor. (ONS, 2023).

A distribuição da energia, por sua vez, se dá após o transporte pelas linhas de transmissão de altas tensões, passando então por uma subestação redutora de tensão. A partir daí, a energia é distribuída para o usuário final (Panunzio, 2013).

3.1.2.1 *Linhas de Transmissão (LTs)*

As LTs são responsáveis pelo transporte da energia elétrica em alta tensão desde os centros de geração até as subestações (Silva, 2020). Operando em tensões que podem exceder os 600 kV, as LTs percorrem grandes distâncias, conectando diferentes pontos do país. Portanto, elas integram a parte anterior à distribuição e transportam níveis elevados de tensão, enquanto as linhas de distribuição correspondem a níveis médios de tensão. No Brasil, comumente são adotadas as LTs que transportam tensões de 138 kV, 230 kV, 440 kV, 500 kV e 765 kV (Engie, 2024a; USP, 2025).

Ressalta-se que, por se estenderem por grandes distâncias e atravessarem áreas com diferentes características ambientais e geográficas, as linhas de transmissão apresentam desafios significativos para a manutenção contínua e para a minimização dos riscos operacionais. A variabilidade do terreno, o acesso limitado a trechos remotos e a interferência da vegetação demandam equipes especializadas e respostas rápidas para evitar falhas, desligamentos ou danos estruturais (Kindermann, 1997).

3.1.2.2 Subestações (SEs)

Segundo a definição dada na NBR 5460/1992, norma que define os termos relacionados com sistemas elétricos de potência, as subestações elétricas são “parte de um sistema de potência, concentrada em um dado local, compreendendo primordialmente as extremidades de linhas de transmissão e/ou de distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, incluindo as obras civis e estruturas de montagem, podendo incluir também transformadores, equipamentos conversores e/ou outros equipamentos”. Assim, as SEs funcionam regulando os níveis de tensão da energia elétrica para atender as necessidades do sistema, seja elevando essa tensão após a geração, possibilitando o transporte em longas distâncias com menores perdas, ou reduzindo-a para atingir os níveis de distribuição para o consumidor final (Medeiros, 2017). Além da transformação de tensão, as SEs exercem funções de proteção e manobra, garantindo segurança operacional e permitindo o isolamento de trechos da rede em caso de falhas (Eletrobras, 2025).

3.1.2.3 Transformadores de potência e corrente (TPs e TCs)

Os transformadores realizam a transferência de energia por meio de um acoplamento eletromagnético. Baseados no princípio da força eletromotriz induzida, são geralmente compostos por enrolamentos (bobinas) dispostos sobre um núcleo ferromagnético, possibilitando a transformação de níveis de tensão nos TPs, ou corrente nos TCs, de acordo com a aplicação desejada (Staudt, 2009).

Do ponto de vista conceitual, tanto TCs quanto TPs compartilham os mesmos fundamentos eletromagnéticos, diferenciando-se principalmente pela forma de excitação e pelo tipo de grandeza elétrica a ser convertida. Na prática, sua aplicação é indispensável para o monitoramento, a automação e a proteção de sistemas elétricos de potência, assegurando medições precisas e operação confiável mesmo em condições de grande variação de carga e tensão (Fergütz, 2021).

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define “resíduos sólidos” no artigo 3º como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido,

bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

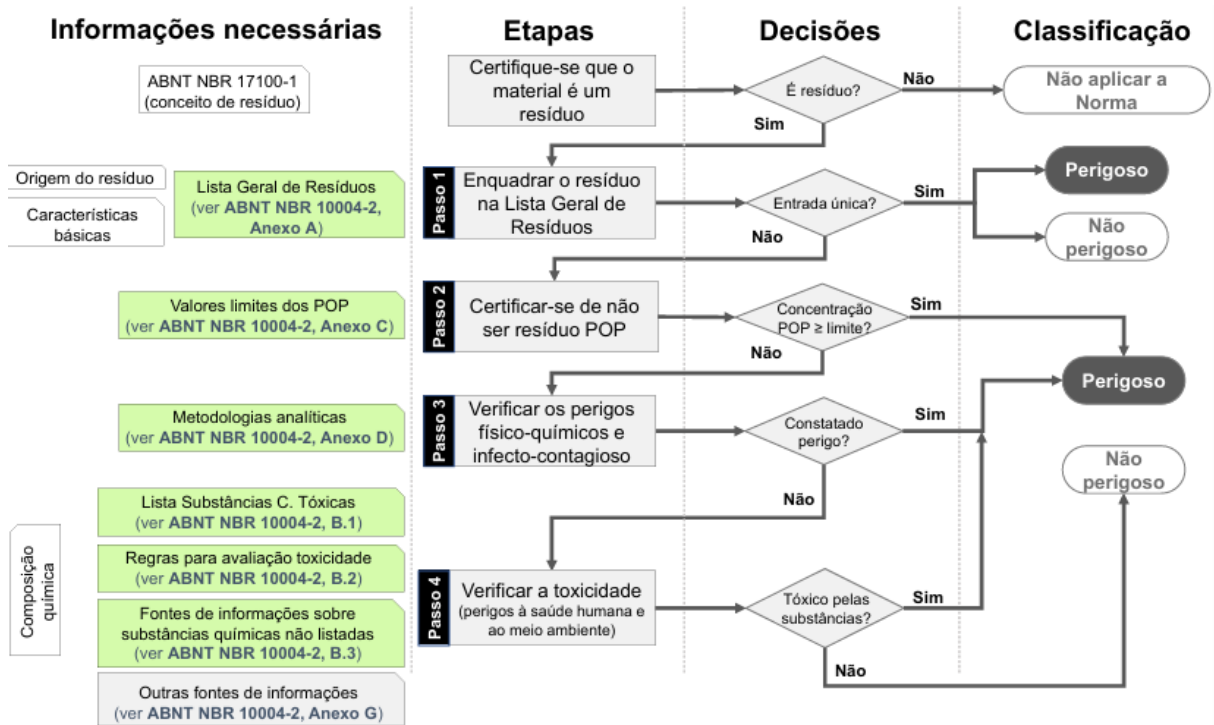
Em relação à classificação, a PNRS adota dois critérios principais: (i) em relação à origem, que inclui categorias como, por exemplo, resíduos domiciliares, industriais, resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos de construção civil (RCC) e resíduos de serviços de saúde (RSS); e (ii) em relação à periculosidade, que distingue resíduos perigosos daqueles não perigosos.

Quanto à sua periculosidade, a NBR 10004-1:2024 estabelece critérios sistematizados para o enquadramento dos resíduos, dividindo-os em duas categorias.

- A Classe I (Perigosos): compreende resíduos que apresentam características capazes de causar danos à saúde humana ou ao meio ambiente, demandando controle rigoroso em todas as etapas de manejo.
- A Classe II (Não Perigosos): abrange resíduos que, embora não possuam propriedades diretamente perigosas, podem gerar impactos ambientais significativos se gerenciados de forma inadequada.

Além da classificação propriamente dita, a norma também apresenta uma sequência estruturada de etapas para o processo de classificação. Essas etapas são sintetizadas no esquema ilustrado na Figura 4, que demonstra o fluxo metodológico proposto para assegurar a correta aplicação da norma e caracterização dos resíduos (ABNT, 2024).

Figura 4 – Fluxograma para classificação de resíduos.



Fonte: NBR 10004-1 (2024).

3.2.1 Resíduos no Setor Elétrico

A diversidade de atividades que compõem a operação do setor elétrico resulta em uma ampla variedade de resíduos sólidos, a depender da fonte da geração e a etapa da cadeia. Conforme Xisto; Junior; Deluque (2022), essa heterogeneidade engloba tanto resíduos, administrativos, como papéis recicláveis, lâmpadas e efluentes sanitários, quanto resíduos diretamente associados às operações técnicas de usinas e subestações, incluindo solos contaminados, reagentes químicos, cabos condutores, estopas, baterias, componentes de transformadores, cinzas de termelétricas, entre outros (Xisto; Junior; Deluque, 2022).

No segmento de transmissão e distribuição, destacam-se os resíduos provenientes da desativação de equipamentos elétricos de potência. Transformadores, disjuntores e cabos, ao atingirem o fim da vida útil, geram volumes significativos de materiais oleosos, metais, cerâmicas e polímeros. O manejo inadequado desses ativos, especialmente aqueles contendo óleos isolantes ou cilindros do gás isolante SF₆ (hexafluoreto de enxofre), acarreta riscos severos de contaminação do solo, dos recursos hídricos e da emissão de gases de efeito estufa (Noschang Kunz *et al.*, 2014).

Contudo, o avanço da transição energética introduziu novos desafios ao gerenciamento de resíduos. No caso da energia fotovoltaica, o descarte de painéis solares no fim de sua vida útil preocupa devido à presença de metais pesados, como chumbo e cádmio, além de polímeros encapsulantes. A disposição incorreta desses módulos pode resultar na lixiviação de substâncias tóxicas, comprometendo a qualidade ambiental (IRENA; IEA-PVPS, 2016).

Simultaneamente, a energia eólica enfrenta o desafio das pás de aerogeradores. Fabricadas majoritariamente em compósitos de fibra de vidro ou carbono com resinas termorrígidas, essas estruturas possuem reciclagem complexa e onerosa. O descarte desses materiais, que são volumosos e de difícil degradação, tende a sobrecarregar aterros sanitários se não houver rotas de valorização adequadas (Liu; Barlow, 2017).

Um ponto que merece destaque, embora restrito ao segmento de geração nuclear, são os rejeitos radioativos. Atualmente, no setor elétrico brasileiro, somente as usinas de Angra 1 e Angra 2 geram esse tipo de material, cujo gerenciamento não se submete à PNRS, mas à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (BRASIL, 2001; Souza *et al.*, 2025).

3.2.2 Economia circular

A economia circular é um modelo de produção e consumo que busca manter produtos, materiais e recursos em uso pelo maior tempo possível, ampliando seu ciclo de vida por meio de estratégias como partilha, aluguel, reutilização, reparação, renovação e reciclagem, como exemplificado na Figura 5 (Parlamento Europeu, 2020). Nesse modelo, os resíduos são minimizados e os materiais provenientes de produtos ao final da vida útil retornam continuamente aos ciclos produtivos, preservando seu valor e reduzindo a necessidade de extração de novos recursos (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Esse conceito contrasta diretamente com o modelo linear tradicional que é estruturado na lógica de extrair, produzir, utilizar e descartar. Práticas como a obsolescência programada reforçam a insustentabilidade desse modelo ao limitar intencionalmente a vida útil de produtos e aumentar a geração de resíduos (Parlamento Europeu, 2020).

O modelo de economia circular se alinha diretamente com os princípios da P+L, especialmente no que se refere à prevenção da geração de resíduos na fonte,

ao uso mais eficiente de materiais e energia e à valorização dos resíduos inevitáveis por meio de reutilização, reciclagem e regeneração.

No setor elétrico, essa relação se evidencia em práticas diversas como a regeneração de óleos isolantes, recuperação de transformadores, reciclagem de sucatas metálicas e reuso de componentes (CEMIG, 2023; ISA Energia, 2024).

Figura 5 – Esquemática das etapas do modelo de economia circular.



Fonte: Serviço de Estudos do Parlamento Europeu (EPRS).

3.3 LEGISLAÇÕES

A gestão dos resíduos sólidos precisa estar de acordo com as legislações que orientam todas as etapas do processo, desde a geração até a destinação final, garantindo o manejo ambientalmente adequado. A ausência de regulamentação legal comprometeria a saúde pública, aumentaria riscos operacionais e geraria impactos significativos ao meio ambiente.

No Brasil, as legislações aplicáveis à gestão de resíduos separam-se nas esferas federal, estadual e municipal. As diretrizes nacionais são mais abrangentes, não considerando as particularidades regionais. Assim, os padrões e cuidados exigidos com a gestão dos resíduos podem variar dependendo de onde os resíduos são gerados e destinados. É comum que estados e municípios estabeleçam normas próprias, as quais são obrigatoriamente sempre mais restritivas que a legislação federal.

3.3.1 Principais legislações federais

3.3.1.1 *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*

A PNRS foi instituída pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, posteriormente revogado e substituído pelo Decreto nº 10.936/2022. Essa atualização buscou aperfeiçoar a regulamentação da PNRS, tendo em vista as lacunas observadas no período após sua implementação.

A PNRS introduziu alguns conceitos e metas fundamentais para a gestão sustentável dos resíduos no Brasil, como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida de produtos; noção do poluidor-pagador; a priorização da não geração e redução em detrimento do tratamento e da destinação dos resíduos, o estabelecimento de metas como a extinção dos lixões, além da implementação de sistemas de logística reversa e a regularização de associações de catadores (Jacobi; Besen, 2011).

Outro importante ponto levantado pela PNRS é sobre a obrigatoriedade de elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) para determinados geradores que se enquadrem nas exigências da Lei. Esses planos devem detalhar a caracterização e quantificação, o manejo, as estratégias de minimização e a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos. A aplicação dos PGRS é essencial em setores com alto potencial de impacto ambiental, como é o caso do setor elétrico, onde atua como um instrumento de planejamento e conformidade legal, auxiliando na gestão dos resíduos desse setor.

3.3.1.2 *Lei nº 14.250/2021*

A Lei nº 14.250/2021, que dispõe da eliminação controlada de Bifenilas Policloradas (PCBs) presentes em equipamentos elétricos, reforça o compromisso do Brasil com as diretrizes da Convenção de Estocolmo, voltadas à erradicação dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). A legislação mencionada estabelece diretrizes para a eliminação progressiva de óleos e equipamentos elétricos que contenham PCBs, substância popularmente conhecida no Brasil como Ascarel. Essa Lei impacta o setor elétrico uma vez o composto foi amplamente utilizado em equipamentos elétricos, especialmente em transformadores, por conta de suas propriedades de isolamento e alta estabilidade térmica (Penteado; Vaz, 2001). Com

isso, a Lei em questão estipula um cronograma para a completa eliminação das PCBs no Brasil até 2028 de modo a alinhar-se às metas globais.

Os efeitos da exposição às PCBs, conforme a Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos EUA, abrangem desde efeitos neurológicos e reprodutivos até fortes efeitos cancerígenos em humanos e outros animais. Assim, a Lei 14.250 impõe obrigações sobre os detentores de equipamentos e resíduos contaminados com PCBs, a realizarem um inventário detalhado de seus ativos contaminados, realizar a desativação e destinação final ambientalmente adequada desses materiais no prazo estipulado pela lei.

3.3.1.3 *Resoluções CONAMA*

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) possui um papel importante na regulamentação de práticas e gestão ambiental no Brasil. Quanto à temática de resíduos sólidos, as resoluções CONAMA usualmente atuam complementando a PNRS, trazendo padrões e regras específicas.

Algumas resoluções pertinentes no contexto deste trabalho são:

- CONAMA 401/08, a qual estabelece critérios e padrões para o gerenciamento de pilhas e baterias;
- CONAMA 313/02, a qual dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais. Essa resolução traz no Art 3º uma ressalva solicitando às empresas e concessionárias de energia elétrica um inventário dos estoques de equipamentos e resíduos contendo PCBs;
- CONAMA 452/12, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito, incluindo resíduos oleosos;

3.3.1.4 *Normativas*

Além das legislações federais, estaduais e municipais, a gestão de resíduos sólidos no setor elétrico é orientada por normas técnicas e regulações específicas do setor.

Mencionada anteriormente, a NBR 10004:2024 da ABNT é a principal norma técnica brasileira sobre classificação de resíduos. Ela estabelece critérios para classificar os resíduos como Classe I (Perigosos) ou Classe II (Não Perigosos), considerando suas propriedades físico-químicas e potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente (ABNT, 2024). Essa padronização é fundamental para definir o manejo adequado, garantindo segurança e conformidade com a legislação.

Além disso, o setor elétrico conta com um conjunto de normas técnicas que complementam e regulamentam a terminologia e os equipamentos utilizados em suas diversas etapas. A NBR 5460(“Sistemas elétricos de potência NBR 5460”, 1992) estabelece a padronização dos principais termos empregados em sistemas elétricos de potência, abrangendo os pontos de vista de geração, transmissão, distribuição, operação, manutenção, planejamento e proteção. Já a NBR 5458/2010 define os materiais, componentes e equipamentos associados a transformadores, oferecendo diretrizes para sua identificação, especificação e aplicação adequada. Essas normas, entre outras como NBR 11174 e NBR 12235 que estabelecem as condições para armazenamento de resíduos classe II e classe I respectivamente, reforçam a uniformização técnica e contribuem para a segurança, e operação eficiente dos sistemas elétricos no país.

No âmbito regulatório do setor elétrico, a ANEEL é a responsável por estabelecer tarifas, normas e fiscalizar as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. A ANEEL também estabelece diretrizes voltadas à gestão socioambiental, incluindo normas específicas para resíduos. Entre os principais instrumentos, destaca-se, que orienta concessionárias e permissionárias quanto às melhores práticas de sustentabilidade, contemplando desde a destinação de resíduos perigosos, como óleos isolantes contaminados por PCBs, até o gerenciamento de resíduos comuns, como sucatas metálicas e recicláveis administrativos.

Além disso, a ANEEL exige, de forma alinhada com a PNRS, a elaboração de PGRS por parte das concessionárias de energia, como parte do processo de licenciamento ambiental.

3.4 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR ELÉTRICO

3.4.1 Geração e acondicionamento

O processo do gerenciamento dos resíduos segue uma cadeia de etapas que são interdependentes, em que a execução inadequada de uma compromete as seguintes. Após a geração, inicia-se a etapa de segregação, que consiste na separação dos resíduos na fonte, de acordo com suas características físicas, químicas e de periculosidade. Quando realizada corretamente, a segregação otimiza a destinação, viabiliza a reciclagem e previne a contaminação de materiais recicláveis ao serem misturados com resíduos perigosos (ABNT, 2024a).

Essa etapa é seguida pelo acondicionamento dos resíduos, que diz respeito aos contentores utilizados para acomodá-los. O acondicionamento deve respeitar as propriedades do resíduo, garantindo segurança, estanqueidade e prevenindo riscos de exposição dos trabalhadores. Por exemplo, óleos isolantes são costumeiramente armazenados em bombonas ou tambores devidamente identificados, enquanto lâmpadas fluorescentes necessitam de embalagens resistentes que evitem a quebra (ABNT, 1990, 1992).

Os resíduos são então encaminhados para um armazenamento temporário, onde permanecem em locais específicos dentro dos empreendimentos até o envio para transporte, e então tratamento ou disposição final. Esses locais devem atender a critérios expressos nas normativas ABNT NBR 12.235 para resíduos perigosos e 11.174 para não perigosos. Alguns dos principais critérios incluem: impermeabilização do piso, cobertura adequada contra intempéries, ventilação, sistema de drenagem, bacia de contenção para conter os resíduos perigosos líquidos (geralmente oleosos), além de sinalização e uso de EPI para manuseio.

Ressalta-se que, uma vez que não há uma determinação nacional acerca do período limite para armazenagem dos resíduos sólidos, alguns estados realizam essas determinações mediante leis estaduais. Santa Catarina, por exemplo, possui a Lei nº 15.251 de 2010 que define 120 e 180 dias como o período máximo de armazenamento temporário para os resíduos classe I e II, respectivamente.

3.4.2 Coleta e transporte

A etapa de coleta e transporte dos resíduos sólidos no setor elétrico deve assegurar que os materiais segregados e acondicionados sejam movimentados de

forma segura e eficiente até outros pontos de armazenamento ou unidades de tratamento e destinação final. De acordo com a PNRS, os responsáveis pela geração de resíduos devem garantir que todo o processo seja realizado em conformidade com normas técnicas e ambientais.

Dessa forma, a Portaria MMA nº 280, de junho de 2020, regulamentou o uso do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) como documento autodeclaratório e ferramenta de gestão. Assim, a partir de 2021, tornou-se obrigatória a emissão do MTR para o transporte de resíduos, em vias públicas, por meio da plataforma MTR Online, disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR). Esse sistema permite a rastreabilidade dos resíduos desde a sua geração até a destinação final. No entanto, os estados que possuem um sistema MTR próprio, como é o caso de Santa Catarina, cujo órgão ambiental do estado, o Instituto do Meio Ambiente (IMA), opera uma plataforma específica para a movimentação dos resíduos (IMA, 2025; SINIR, 2025).

No caso específico dos resíduos Classe II que forem submetidos à coleta pública do município, seja de forma indiferenciada ou seletiva, não se faz necessária a emissão de MTR (BRASIL, 2020a).

No contexto do setor elétrico, o sistema MTR é particularmente relevante devido à natureza e quantidade dos resíduos perigosos gerados, muitos desses materiais como óleo mineral isolante e baterias podem apresentar características de inflamabilidade, toxicidade, ou que ofereçam outros riscos significativos ao meio ambiente durante seu transporte.

3.4.3 Destinação

A etapa de destinação dos resíduos sólidos é o ato de encaminhar esses materiais para seu destino final ou para novas cadeias produtivas, conforme suas características e possibilidades de reaproveitamento. Essa etapa deve seguir a hierarquia de gestão estabelecida pela PNRS, a qual estabelece uma ordem de prioridade que orienta as práticas sustentáveis de manejo: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, apenas em último caso, a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Essa hierarquia busca auxiliar no uso racional dos recursos, a recuperação de valor dos resíduos e reduzir o volume destinado a aterros, que é considerada como última alternativa.

No setor elétrico, diferentes tipos de resíduos demandam tratamentos específicos. Resíduos recicláveis, como papéis e plásticos, são preferencialmente encaminhados para a cadeia de reciclagem. Já materiais com maior valor agregado, como sucatas metálicas, podem ser alienados ou destinados a processos industriais que possibilitam sua reinserção como insumos em novas atividades produtivas. Os resíduos não recicláveis ou sem viabilidade econômica de tratamento a alternativa é a disposição em aterros industriais licenciados, os quais devem atender a critérios de impermeabilização, monitoramento de lixiviados e controle de gases, de acordo com a ABNT NBR 10.157/2019.

No caso de resíduos perigosos gerados no setor elétrico, como materiais contaminados com óleo e tinta, estes são preferencialmente encaminhados para blendagem e coprocessamento em fornos de clínquer da indústria cimenteira, onde além do tratamento térmico dos contaminantes orgânicos, permite o aproveitamento energético dos resíduos, surgindo como uma alternativa mais sustentável em comparação ao simples aterramento (Eletrobras, 2024).

3.5 PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L)

O conceito “Produção Mais Limpa” (P+L) foi definido originalmente pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) como “a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada a processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência geral e reduzir os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente”. Segundo o relatório *“Environmental agreements and cleaner production”* do PNUMA, a P+L constitui um termo amplo, que abrange noções como ecoeficiência, prevenção da poluição e produtividade verde. Na essência, sua aplicação promove a proteção ambiental, e segurança dos trabalhadores, ao mesmo tempo que contribui positivamente para a eficiência industrial, lucratividade, e a competitividade das empresas (PNUMA, 2007).

Segundo Simião (2011), a P+L pode ser entendida como uma abordagem que, além de visar a redução das perdas de insumos e de recursos naturais, também procura otimizar a relação entre produção e sustentabilidade ambiental, incluindo práticas como a substituição de matérias-primas perigosas por alternativas menos nocivas, o reuso de insumos, o redesenho de processos produtivos e a aplicação de técnicas de eficiência energética. Dessa forma, a P+L não se restringe a soluções ambientais, mas também agrega valor econômico e estratégico às organizações.

Diferentemente das abordagens de fim de tubo, que se concentram no tratamento ou destinação dos resíduos após sua geração, a P+L atua de forma preventiva, buscando minimizar ou eliminar a formação de poluentes durante o próprio processo produtivo (SEBRAE, 2023).

Nesse contexto, observa-se que muitas empresas vêm incorporando práticas de P+L não apenas pela necessidade de atender às exigências regulatórias, mas também pelos benefícios diretos obtidos. Além da redução de custos operacionais e da minimização de riscos ambientais, a adoção dessas estratégias pode fortalecer a imagem institucional, reduzir gastos com multas e passivos ambientais, aumentar a segurança ocupacional e conferir vantagem competitiva significativa no mercado (Cunha; Pires; De Paula, 2023).

No Quadro 1 estão apresentadas algumas das perspectivas da abordagem de fim de tubo e da P+L.

Quadro 1 – Diferenças entre abordagem Fim de Tubo e Produção Mais Limpa (P+L).

Abordagem Fim de Tubo	Produção Mais Limpa
Pretende reação	Pretende ação
Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Evita matérias primas potencialmente tóxicas
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes	A proteção ambiental é tarefa para todos
A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos	A proteção ambiental atua como uma parte integrante do design do produto e da engenharia de processo
Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos
Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia	Uso eficiente de matérias-primas, água e energia
Leva a custos adicionais	Ajuda a reduzir custos

Fonte: Simião, 2011, p.48.

3.6 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Os ODS, demonstrados na Figura 6 foram estabelecidos pela ONU em 2015, sendo parte da Agenda 2030, como um pacto global para enfrentar os principais desafios sociais, ambientais e econômicos do século XXI (ONU, 2015).

Figura 6 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).





Fonte: GT Agenda 2030, 2025.


Os ODS não devem ser tratados de forma isolada por apresentarem interações complexas que podem tanto reforçar as sinergias quanto gerar conflitos. Em alguns casos, o avanço em determinadas metas pode prejudicar o cumprimento de outras, resultando em um *“trade-off”*. Por exemplo, países considerados desenvolvidos, apesar de fornecerem um melhor bem-estar humano, muitas vezes estão vinculados a um consumo muito maior de recursos naturais, o que gera atrito do ODS 12 (consumo e produção responsáveis) com o ODS 9 (indústria, inovação e infraestrutura) (Pradhan *et al.*, 2017).

Para uma contextualização, foram descritos os ODS contidos no escopo desse trabalho, bem como seus objetivos e metas (Quadro 2).

Quadro 2 – Metas e objetivos dos ODS 7, 12 e 13. (Continua)

ODS	Metas
<p data-bbox="264 309 536 376">7 - Energia limpa e acessível</p> 	<p data-bbox="584 309 1426 365">Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos</p> <p data-bbox="584 371 1426 427">7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia</p> <p data-bbox="584 434 1426 490">7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global</p> <p data-bbox="584 497 1426 519">7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética</p> <p data-bbox="584 526 1426 672">7.a Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa</p> <p data-bbox="584 678 1426 853">7.b Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio</p>
<p data-bbox="284 871 517 972">12 - Consumo e produção responsáveis</p> 	<p data-bbox="584 871 1426 927">Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis</p> <p data-bbox="584 934 1426 1046">12.1 Implementar o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com todos os países tomando medidas, e os países desenvolvidos assumindo a liderança, tendo em conta o desenvolvimento e as capacidades dos países em desenvolvimento</p> <p data-bbox="584 1052 1426 1108">12.2 Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais</p> <p data-bbox="584 1115 1426 1238">12.3 Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita</p> <p data-bbox="584 1245 1426 1420">12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente</p> <p data-bbox="584 1426 1426 1482">12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso</p> <p data-bbox="584 1489 1426 1576">12.6 Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios</p> <p data-bbox="584 1583 1426 1639">12.7 Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais</p> <p data-bbox="584 1646 1426 1733">12.8 Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza</p> <p data-bbox="584 1740 1426 1827">12.a Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo</p> <p data-bbox="584 1834 1426 1921">12.b Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo sustentável, que gera empregos, promove a cultura e os produtos locais</p>

Quadro 2 – Metas e objetivos dos ODS 7, 12 e 13. (Conclusão)

ODS	Metas
	12.c Racionalizar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, que encorajam o consumo exagerado, eliminando as distorções de mercado, de acordo com as circunstâncias nacionais, inclusive por meio da reestruturação fiscal e a eliminação gradual desses subsídios prejudiciais, caso existam, para refletir os seus impactos ambientais, tendo plenamente em conta as necessidades específicas e condições dos países em desenvolvimento e minimizando os possíveis impactos adversos sobre o seu desenvolvimento de uma forma que proteja os pobres e as comunidades afetadas
<p>13 - Ação contra a mudança global do clima</p> 	<p>13.1 Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países</p> <p>13.2 Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais</p> <p>13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima</p> <p>13.a Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível</p> <p>13.b Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas</p>

Fonte: Adaptado ONU Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

3.7 ESG – AMBIENTAL, SOCIAL E GOVERNANÇA

O conceito de ESG (*Environmental, Social and Governance*) surgiu em 2004, quando foi introduzido oficialmente no relatório *Who Cares Wins* (Quem se importa ganha), elaborado sob coordenação da ONU em parceria com instituições financeiras globais. A partir disso, o termo passou a representar um conjunto de critérios voltados à avaliação do desempenho corporativo além dos aspectos econômicos e financeiros tradicionais, incorporando dimensões ambientais, sociais e de governança como indicadores de sustentabilidade e responsabilidade empresarial (PNUMA FI, 2004). De acordo com Henisz, Koller e Nuttall (2019), o conceito do ESG é dividido em três pilares fundamentais: o ambiental, o social e o da governança. O pilar ambiental (*E – environment*) abrange as práticas voltadas para a diminuição dos impactos ambientais, assim como ao aumento da eficiência dos recursos naturais. Partem do princípio de que toda empresa utiliza energia e recursos e de alguma forma afeta e é afetada pelo meio ambiente. Assim, são levados em conta critérios como quantidade de energia consumida, os resíduos gerados em todos os diferentes setores e

processos daquela empresa, emissões de carbono e fatores que influenciam as mudanças climáticas.

O pilar social (S – *social*) engloba a forma com que a empresa se relaciona com os seus funcionários, clientes, fornecedores e comunidade. Envolve questões como diversidade, inclusão e melhores condições de trabalho. De acordo com os autores, práticas sociais responsáveis estão associadas a um maior engajamento e permanência dos funcionários.

O pilar de governança (G – *governance*) refere-se aos mecanismos de organização interna e tomadas de decisão. Inclui aspectos como transparência, ética empresarial, compromisso com as legislações e alinhamento da gestão aos ideais das partes interessadas. Segundo o estudo levantado pela mesma publicação, empresas que fortalecem sua governança tendem a reduzir riscos financeiros, e a aumentar a confiança dos investidores, já que mercados valorizam organizações que demonstram integridade e uma estrutura sólida (Henisz; Koller; Nuttall, 2019; MSCI, 2025)

Assim os princípios desses três pilares balizam a gestão das atividades de organizações de forma a compor estratégias integradas para melhorar a competitividade e resiliência de empresas.

4 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada de maneira a descrever os métodos utilizados para responder cada um dos objetivos específicos propostos, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Resumo da metodologia disposto em matriz metodológica.

Objetivo Específico	Procedimentos Metodológicos	Fonte de Dados	Técnicas de análise
i. Pesquisar e avaliar as principais técnicas de P+L no setor elétrico aplicadas no Brasil e no cenário mundial.	Revisão documental e sistemática da literatura científica	Artigos científicos (SCOPUS, Google Acadêmico)	Análise qualitativa dos resultados.
ii. Discutir a relação entre as práticas de P+L no setor elétrico relacionadas à gestão de resíduos sólidos, aos princípios de ESG e com os ODS 7, 12 e 13.	Levantamento de práticas P+L ligadas à gestão dos resíduos, e verificação de alinhamento com os princípios de ESG e dos ODS selecionados	Relatórios de sustentabilidade; sites institucionais; documentos da ONU	Análise comparativa e verificação de alinhamento com diretrizes e metas ESG/ODS
iii. Avaliar, através de um estudo de caso, como algumas empresas do setor elétrico incorporam práticas alinhadas ao conceito de P+L na gestão de resíduos sólidos.	Envio de questionário estruturado a dez empresas de grande porte	Respostas fornecidas pelas empresas ao questionário	Análise qualitativa das práticas reportadas e identificação de convergências e divergências

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para atingir o primeiro objetivo, realizou-se um levantamento sistemático da literatura disponível. A busca foi feita na base de dados SCOPUS (Elsevier), acessada por meio do Portal de Periódicos da CAPES, utilizando a ferramenta de *advanced document search*. Nessa etapa foram empregados operadores booleanos e termos sinônimos com o propósito de ampliar o alcance da busca e refinar o filtro de trabalhos relevantes. Inicialmente, utilizaram-se combinações entre palavras-chave como “*cleaner production*”, “*energy*”, “*electric industry*”, “*power sector*”, “*electricity generation*” e “*solid waste management*”, entre outras. Em seguida, a estratégia de busca foi ajustada para incluir termos diretamente associados aos resíduos característicos do setor elétrico, como “*transformer oil*”, “*insulating oil*”, “*soil*” e “*gravel*”. Para complementar a revisão incorporando publicações nacionais não presentes na SCOPUS, foi utilizado a plataforma Google Acadêmico.

Para responder o segundo objetivo foram analisados os Relatórios de Sustentabilidade de 10 empresas do setor elétrico, nacionais e internacionais. Esses documentos são publicados anualmente e registram de forma estruturada os resultados, impactos e iniciativas das empresas no âmbito da sustentabilidade, oferecendo transparência quanto ao atendimento às diretrizes de ESG e aos compromissos associados aos ODS (Pereira *et al.*, 2015).

A seleção das empresas considerou a necessidade de examinar organizações de grande ou médio porte e consolidadas no setor, excluindo-se micro e pequenas empresas devido à limitação de informações públicas disponíveis. O porte organizacional foi definido com base no número de empregados, conforme os critérios estabelecidos pelo IBGE/SEBRAE, apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Classificação de porte industrial de acordo com o número de funcionários.

Porte Indústria	Número de funcionários
Microempresa	Até 19 colaboradores
Pequena empresa	De 20 a 99 colaboradores
Média empresa	De 100 a 499 colaboradores
Grande empresa	500 ou mais colaboradores

Fonte: adaptado de SEBRAE (2013).

Para atender ao terceiro objetivo específico foi estabelecido contato direto com dez grandes empresas do setor elétrico, às quais foi encaminhado um questionário composto por dezoito perguntas. O instrumento teve como principal finalidade identificar as práticas adotadas pelas empresas que se alinhem ao conceito de P+L, além de buscar compreender as principais barreiras e desafios operacionais percebidos pelas organizações na implementação dessas estratégias. A versão integral do questionário encontra-se disponibilizado no APENDICE A – QUESTIONÁRIO deste trabalho.

5 RESULTADOS

5.1 P+L NO SETOR ELÉTRICO

Para a seção de Resultados, selecionou-se um conjunto de técnicas e práticas de P+L aplicáveis às diferentes etapas do setor elétrico, desde a geração e transmissão até o gerenciamento de resíduos e subprodutos. Observou-se, entretanto, uma escassez de estudos que utilizem explicitamente o termo P+L ao descrever tais práticas no setor elétrico, o que exigiu, em todos os casos analisados, uma interpretação cuidadosa tanto das ações identificadas quanto dos princípios da P+L, de modo a estabelecer a correspondência entre ambos. As práticas apresentadas nos subtópicos seguintes, visam minimizar a geração de resíduos na fonte, promover o reaproveitamento de materiais e otimizar o uso de energia e insumos, em consonância com a abordagem preventiva que caracteriza a P+L. Desse modo, o setor elétrico não apenas reduz impactos ambientais, mas também fortalece sua eficiência operacional.

Os resultados dos estudos abordados a seguir encontram-se compilados no Quadro 5.

Quadro 5 – Resumo das técnicas P+L apresentadas. (Continua)

Autor e tema	Medidas investigadas	Resultados principais	Relação com o conceito de P+L
Sathish <i>et al.</i> (2023) – Waste-to-Fuel, Pirólise de óleo de transformador	Conversão do óleo isolante usado em combustível substituindo parcialmente o diesel. Adição de nanopartículas e EGR – Recirculação de gases de escape.	Emissões reduzidas (NOx = 821 ppm; fumaça = 16,6–23,4 %), desempenho próximo ao diesel. Boa viabilidade técnica.	Valorização energética de resíduo perigoso e substituição parcial de combustível fóssil. Reutilização de recursos do setor.
Tian <i>et al.</i> (2025) – Recuperação de elementos de cinzas volantes	Recuperação de metais valiosos (Al, Fe, Li, REEs – elementos de terra rara) de cinzas volantes de termelétricas, através de diferentes procedimentos experimentais.	Índices muito elevados da recuperação dos metais alvo. Boa viabilidade técnica e ambiental.	Reaproveita subproduto industrial e reduz a geração na fonte suprimindo parte da necessidade de extração mineral primária.
Wachter & Jezdinsky (2022) – Circularidade de transformadores	Avaliação da reciclabilidade de transformadores a óleo e a seco.	Transformadores a óleo: > 75% de reaproveitamento; transformadores a seco apresentaram dificuldade de separação dos materiais.	Reuso de metais e óleo isolante; incentivo ao design de equipamentos pensando na reciclagem deles.

Quadro 5 – Resumo das técnicas P+L apresentadas. (Conclusão)

Autor e tema	Medidas investigadas	Resultados principais	Relação com o conceito de P+L
Hassanpour (2021) – Revisão sobre regeneração de óleo isolante	Revisão de técnicas físico-químicas de regeneração (filtração, adsorção, desgaseificação, entre outras), analisando sua aplicabilidade industrial.	Restaura propriedades dielétricas e químicas do óleo a níveis próximos ao novo. Viabilidade técnica e econômica para indústria.	Evita descarte e reduz consumo de óleo virgem; reciclagem interna de materiais.
Granato <i>et al.</i> (2000) – Regeneração on-line de óleo	Regeneração do óleo isolante com o transformador energizado, uso colunas de Terra Füller como adsorvente.	Regeneração das características físico-químicas semelhantes às de um óleo novo. A análise econômica apontou vantagens significativas quando comparado com a substituição ou regeneração convencional.	Reduz a necessidade de descarte do óleo e do transformador, reduz custos e passivos ambientais no setor elétrico.
Vu & Mulligan (2023) – Tratamento de solos contaminados com óleo	Revisão de métodos de lavagem, biorremediação e oxidação química.	Lavagem com surfactantes removendo de 70-95% do óleo; técnicas de baixo impacto e custo.	Promove reuso de solos e agregados, além da mitigação de passivos ambientais.
Wang <i>et al.</i> (2019) – Lavagem de solos com solventes / surfactantes	Sistema com metanol, acetona, tolueno junto com SDS – dodecil sulfato de sódio para lavagem de solos contaminados.	Eficiência atingida = 97% e recuperação parcial do óleo. Reforçou que adições de solventes orgânicos aumentam significativamente a eficiência do processo.	Remediação eficiente e reaproveitamento de materiais; evita destinação de solos contaminados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.1 Valorização energética – *Waste-to-Energy*

Entre as estratégias possíveis para gestão dos resíduos sob a ótica da P+L, destaca-se o encaminhamento dos resíduos gerados para valorização energética *waste-to-energy* (WtE), como uma das mais promissoras para o setor elétrico brasileiro e mundial. Pois apresenta um duplo benefício, à medida que reduz o volume de resíduos encaminhados a uma disposição final, auxilia na geração de energia. No entanto, o suporte estrutural disponível na maioria dos países em desenvolvimento, se difere muito daquele observado em países desenvolvidos e que já possuem essa tecnologia consolidada. (Mutz; Hengevoss; Gross, 2017).

Essa técnica baseia-se na conversão controlada de resíduos sólidos em energia elétrica, térmica, ou em combustíveis alternativos. Isso ocorre por meio de processos de combustão, gaseificação ou pirólise, com o objetivo de reduzir o volume de resíduos destinados a aterros e, simultaneamente, gerar energia de forma sustentável (Sanetran, 2024).

Ao converter um passivo ambiental em uma fonte energética renovável, essa abordagem contribui para o fechamento de ciclos materiais e para a redução da dependência de combustíveis fósseis, alinhando-se aos princípios de economia circular e eficiência ambiental no setor elétrico (Rouhi *et al.*, 2024).

A aplicação dessa técnica no contexto brasileiro pode ganhar espaço especialmente em regiões muito urbanizadas e com pouca área disponível para a implantação de aterros. Como é o caso da Unidade de Recuperação energética que deve entrar em operação em 2027, na cidade de Barueri-SP, a primeira usina WtE da América Latina (UVESP, 2025).

Uma das alternativas mais consolidadas de WtE é o encaminhamento de resíduos para coprocessamento, uma forma de destinação segura e ambientalmente adequada, amplamente utilizada pelo setor elétrico para o tratamento de resíduos perigosos (Eletrobras, 2024). O coprocessamento consiste na utilização de materiais derivados de resíduos para substituir recursos minerais naturais, caracterizando a reciclagem material, e combustíveis fósseis tradicionais, como carvão, óleo combustível ou gás natural, configurando a recuperação energética. Essa tecnologia é aplicada principalmente em fornos de clínquer da indústria do cimento, aproveitando as altas temperaturas e o ambiente alcalino para a destruição completa de compostos orgânicos e a incorporação segura da fração mineral na matriz do clínquer. Em instalações europeias, a substituição térmica por resíduos pode atingir até 80% do consumo energético anual, com média aproximada de 39% na União Europeia (Mutz; Hengevoss; Gross, 2017).

No contexto da gestão de resíduos do setor elétrico, essa técnica é estratégica. O setor encaminha para coprocessamento resíduos de alto poder calorífico ou periculosidade, como óleos isolantes minerais, incluindo aqueles com traços de PCB, materiais contaminados como estopas, serragem e EPIs além de solos impregnados com óleo. Esses materiais são integralmente destruídos em condições controladas, evitando a formação de subprodutos tóxicos e assegurando a inertização de contaminantes (BRASIL, 2020b). Assim, o coprocessamento representa uma alternativa robusta dentro da lógica de P+L e da economia circular, uma vez que desvia resíduos de aterros industriais, substitui combustíveis fósseis na cadeia cimenteira e mitiga passivos ambientais (Mutz; Hengevoss; Gross, 2017).

Um exemplo de valorização energética direcionada a um dos resíduos característicos do setor elétrico, envolve a recuperação de óleos isolantes residuais

de equipamentos elétricos, que em vez de serem destinados como resíduos perigosos, podem ser convertidos em combustíveis alternativos. Assim, o estudo de Sathish *et al.* (2023) investigou a viabilidade de transformação do óleo isolante de transformador usado em combustível por meio do processo de pirólise catalítica em duas etapas, seguido da adição de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) e óxido de cério (CeO₂). O produto, denominado Pyrolyzed Biodiesel of Waste Transformer Oil (PBWTO), foi testado em um motor a diesel monocilíndrico de 5,2 kW, com e sem recirculação de gases de escape (EGR) apresentando desempenho satisfatório, uma redução expressiva nas emissões de poluentes quando combinado com as nano partículas e o sistema de EGR, que é um sistema de controle de emissões comumente utilizado em motores de combustão interna a diesel (Sathish *et al.*, 2023).

Os principais resultados do estudo em questão estão compilados na Tabela 2, que compara o desempenho obtido do diesel convencional, com os combustíveis pirolisados em diferentes condições:

Tabela 2 – Resultados PBWTO em comparação com óleo diesel.

Parâmetro	Diesel Convencional	PBWTO Puro	PBWTO Aditivado + EGR
BTE - Eficiência térmica (%) ¹	30,12	27,35	24,67 – 26,04
NOx (ppm) ²	1248	1427	821 - 1484
HC (ppm) ³	11	19	13 - 15
Opacidade da Fumaça (%)	32,9	39,5	16,6 – 23,4

¹ Brake Thermal Efficiency – Eficiência Térmica de Freio

² Óxidos nitrosos

³ Hidrocarbonetos

Fonte: Adaptado de Sathish *et al.* (2023).

Observa-se que, em comparação ao diesel convencional, o PBWTO puro apresentou uma eficiência térmica ligeiramente inferior, e emissões mais elevadas dos poluentes destacados. Tais diferenças são atribuídas à maior viscosidade e ao menor poder calorífico do combustível obtido por pirólise, que comprometem a atomização e a queima completa. No entanto, a adição de nanopartículas de ZnO e CeO₂ aliada ao uso de 20% de recirculação de gases de escape (EGR) resultou em reduções expressivas de emissões, com destaque para a queda do NOx para valores próximos a 820 ppm, e diminuição da opacidade da fumaça para menos da metade do valor inicial, evidenciando melhoras significativas na eficiência da combustão.

Embora o PBWTO apresente desempenho energético ligeiramente inferior ao do diesel convencional, os resultados demonstram sua viabilidade técnica e ambiental como combustível alternativo derivado de óleo isolante usado. Sendo uma estratégia promissora de valorização energética de resíduos perigosos, além de contribuir para o fechamento de ciclos produtivos no setor elétrico. Considerando a ampla utilização do óleo isolante em transformadores e equipamentos de potência, e a crescente demanda desse material, a tendência é um aumento do volume de óleo residual necessitando de destinação adequada. Assim, a conversão desse resíduo em combustível funcional representa não apenas uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis, mas também uma solução para a gestão sustentável de um resíduo cuja geração tende a se intensificar (Tiwari *et al.*, 2024).

No entanto, o estudo discutido acima não se trata de uma abordagem inédita. Outras pesquisas reforçam a viabilidade técnica dessa conversão. Belkhode *et al.* (2022), por exemplo, aplicaram um processo filtração e de destilação simples em batelada para o tratamento do resíduo de óleo de transformador, obtendo diversas frações de destilados com propriedades físico-químicas, como densidade e viscosidade cinemática, muito semelhantes às do diesel comercial. Dessas frações, foram feitas misturas com óleo diesel, e aplicado em um motor quatro tempos a diesel.

Ao avaliarem o desempenho do motor, os autores observaram que as misturas contendo 10% e 20% do óleo tratado apresentaram resultados satisfatórios. A eficiência térmica de frenagem (BTE) "*Brake termal efficiency*" alcançou 28,19% para a mistura de 10%, e 27,52% para a mistura de 20%, valores que se mostraram superiores ou competitivos em relação aos 28% do diesel convencional. Além disso, observou-se uma redução no consumo específico de combustível, com destaque para a mistura de 10%, que apresentou valores de 6,71% inferiores ao do diesel puro.

Apesar de ter sido registrado um aumento na temperatura dos gases de exaustão para todas as misturas, indicando características de ignição distintas devido à composição do óleo, e de uma queda de desempenho em concentrações mais elevadas, como 30% e 40%, atribuída ao menor poder calorífico do resíduo, os resultados obtidos indicam uma viabilidade técnica de misturas de até 20%. Alinhado essa perspectiva de WtE, Veeraraghavan *et al.* (2025) também relataram resultados consistentes com o uso de óleos isolantes de transformadores. Em suma, tais evidências demonstram que tecnologias acessíveis, como a destilação atmosférica, permitem converter um resíduo perigoso em recurso energético, alinhando benefícios

econômicos à mitigação de passivos ambientais (Belkhode *et al.*, 2022; Veeraraghavan *et al.*, 2025).

5.1.2 Aproveitamento de subprodutos

Além das técnicas de valorização energética, estudos recentes como o de Tian *et al.* (2025) reforçam o potencial de utilização de subprodutos como insumo para outras indústrias. O referido estudo aborda a recuperação de elementos de valor que são presentes em cinzas volantes originadas das atividades de operação de usinas termelétricas a carvão. Entre esses elementos, estão alumínio, silício, lítio, ferro, além dos elementos de terras raras como lantânio, cério e neodímio, que apresentam um grande interesse econômico e tecnológico.

A recuperação desses materiais pode ser realizada através de diferentes processos, a depender do metal alvo e a composição da cinza. Dentre as técnicas citadas estão: processos hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos, de dissolução ácida-lixiviação alcalina e de separação magnética-lixiviação ácida que estão descritos no Quadro 6. Para alguns metais, a eficiência de recuperação por meio das técnicas citadas na pesquisa, ultrapassaram 99%, como no caso do lítio, demonstrando grande potencial de reaproveitamento industrial (Tian *et al.*, 2025).

Quadro 6 – Definição de técnicas de recuperação de metais. (Continua)

Processo	Definição	Referência
Hidrometalúrgico	Processo baseado na dissolução de minerais contendo metais de interesse por meio de soluções aquosas ou agentes lixiviantes. Essa rota engloba etapas como lixiviação, purificação e precipitação, permitindo elevada seletividade na recuperação metálica.	Franco; Barros, (2016) e Machado <i>et al.</i> , (2014).
Pirometalúrgico	Processo que emprega altas temperaturas para promover reações térmicas capazes de concentrar a fase metálica e separar a escória. Trata-se de uma rota tradicional no processamento de materiais e na purificação de metais.	Franco; Barros, (2016) e Flandinet <i>et al.</i> , (2012).
Dissolução ácida – lixiviação alcalina	Técnica realizada em duas etapas: inicialmente o material é submetido ao ataque ácido para remover impurezas ou ativar sua estrutura; em seguida, ocorre a lixiviação em meio alcalino, que possibilita a solubilização seletiva da sílica ou de outros componentes extraíveis.	Tian <i>et al.</i> , (2025) e Gong <i>et al.</i> , (2019).
Separação magnética – lixiviação ácida	Rota de beneficiamento em duas etapas, na qual o material é primeiro submetido à separação magnética para a remoção de minerais ferromagnéticos. A fração não magnética é então tratada com solução ácida, possibilitando a extração seletiva de elementos de interesse, como terras raras. Essa combinação reduz a interferência do ferro e aumenta a eficiência da lixiviação.	Tian <i>et al.</i> , (2025) e Stoy; Kulkarni; Huang, (2022)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa prática representa uma forma interessante de P+L por transformar altos volumes de resíduos das termelétricas, antes destinados à aterros, em matérias-primas secundárias com valor agregado, reduzindo custos com a disposição final, área ocupada de aterros e os riscos ambientais envolvidos, especialmente quanto à lixiviação desses materiais, além de suprir parte da demanda por extração mineral. As cinzas volantes, por exemplo, podem ser parcialmente empregadas na fabricação de cimento Portland, argamassas e concreto, por não alterar significativamente as propriedades mecânicas desses materiais. Embora essa prática represente um avanço importante na reutilização desse subproduto, estima-se que cerca de 60% das cinzas geradas ainda sejam encaminhadas para bacias de decantação e posteriormente para aterros industriais, uma vez que o volume atualmente reaproveitado não acompanha o ritmo de geração dessas cinzas volantes (Lenzi, 2001).

Ainda no contexto dos resíduos de termelétricas, considera-se que cerca de 65% das cinzas geradas correspondem às cinzas volantes, leves o suficiente para serem arrastadas pelos gases das caldeiras, o restante, cerca de 35% são as chamadas cinzas pesadas, formadas por partículas maiores, que se acumulam no fundo das caldeiras. Para essas, as possibilidades de reaproveitamento são mais restritas e ainda pouco estudadas, carecendo de pesquisas em aplicações industriais (Lenzi, 2001). Entre os usos potenciais, destaca-se a produção de materiais cerâmicos, que tem se mostrado tecnicamente viável (Kniess *et al.*, 2019).

No Brasil, o volume expressivo de cinzas geradas pela combustão de carvões sub-betuminosos, que são comuns da matriz nacional, reforça a necessidade de estratégias de reuso, visto que a fração de cinzas pode superar 50% em massa do carvão queimado, tornando urgente a sua valorização. Estudos apontam que essas cinzas podem ser utilizadas como matéria-prima na fabricação de produtos cerâmicos, substituindo insumos convencionais a um custo até quatro vezes menor (Carvalho, Nunes & Vasconcelos, 2018 apud Kniess *et al.*, 2019).

Essa realidade pode evidenciar que, embora já exista um olhar para a melhoria da gestão desses resíduos, ainda há um potencial latente para novas práticas de reaproveitamento, visto que as cinzas pesadas historicamente recebem menos atenção investigativa do que as cinzas volantes (Tian *et al.*, 2025). Novas utilizações desse subproduto agiriam no cerne da P+L, promovendo a chamada “simbiose industrial”. Esse conceito, definido por Chertow, (2000) alinha-se

diretamente com a P+L onde o resíduo de um processo torna-se insumo de outro. Ao incorporar as cinzas pesadas na construção civil, como na substituição parcial de areia natural em concreto validada por Singh e Siddique, (2013) manifestando a P+L não apenas na redução do volume disposto, mas na valorização econômica do resíduo e preservação de recursos naturais.

Além da recuperação de subprodutos provenientes de processos termelétricos, o aproveitamento de materiais oriundos de equipamentos elétricos em fim de vida, também representa um campo promissor para a aplicação dos princípios de P+L no setor elétrico. Nesse contexto, o estudo de De Wachter e Jezdinsky (2022) conduzido pela Copper Alliance, avaliou o grau de circularidade de transformadores de média potência (comumente transformadores de distribuidoras de energia elétrica) com base em um levantamento junto a vinte empresas europeias do segmento. O trabalho comparou o desempenho ambiental e o potencial de reciclagem de transformadores a óleo e transformadores a seco, evidenciando diferenças significativas entre as duas tipologias. Os resultados apontaram que os transformadores a óleo apresentam cerca de 75% de reaproveitamento de todo o seu material, destacando-se pelo reciclado de cobre, aço e óleo isolante. Aproximadamente 70% do óleo mineral isolante é regenerado e reutilizado como óleo de primeira linha, enquanto o restante é aproveitado como lubrificante industrial. No caso das bobinas de cobre, mais de 90% do material é recuperado com pureza acima de 99,9%, podendo ser reintroduzido na fabricação de condutores elétricos sem necessidade de tratamento adicional. Já o aço magnético e estrutural é recuperado quase integralmente, e os componentes cerâmicos são reaproveitados como insumos para a construção civil, especialmente em bases de pavimentação (De Wachter; Jezdinsky, 2022).

Por outro lado, os transformadores a seco, encapsulados com resina epóxi ou quartzo, apresentam baixa separabilidade de componentes, o que torna sua reciclagem economicamente inviável em grande parte da Europa. Nesses equipamentos, o processo de recuperação metálica é limitado e, muitas vezes, terceirizado a países asiáticos, onde a separação é realizada manualmente, sob menor controle ambiental. O estudo evidencia que o projeto do equipamento desempenha papel central na eficiência de reciclagem ao final da vida útil, reforçando a importância do conceito de P+L estar presente na concepção de novos transformadores (De Wachter; Jezdinsky, 2022). Assim, a integração de práticas de

reuso e reaproveitamento de materiais metálicos e isolantes contribui diretamente para a redução dos impactos ambientais e otimização do uso de recursos naturais na cadeia produtiva do setor elétrico.

Em suma, a análise dessas diferentes frentes, da valorização de resíduos de processo na geração termelétrica à gestão de fim de vida de ativos na distribuição mostra que o princípio central permanece o mesmo: a transição de uma visão de descarte linear para uma abordagem circular, onde subprodutos são reintroduzidos na cadeia econômica, reduzindo a necessidade de extração de recursos virgens e mitigando passivos ambientais.

5.1.3 Regeneração de óleo isolante

A regeneração de óleos isolantes é uma prática consolidada e eficaz de P+L, especialmente no contexto da manutenção de transformadores e equipamentos de potência. Esses óleos têm papel essencial como meio isolante elétrico e fluido de resfriamento. Porém, com o passar do tempo, sofrem degradação nas suas propriedades físico-química devido à oxidação, absorção de umidade, contaminação por partículas sólidas e decomposição do papel isolante (Hassanpour, 2021). O descarte desses óleos envelhecidos representa um passivo ambiental relevante, tanto pelo risco de contaminação do solo e água quanto pelos custos de substituição e disposição.

O processo da regeneração de óleos visa restaurar suas propriedades dielétricas e térmicas, resultando em um prolongamento significativo da vida útil dos transformadores e do próprio óleo isolante. Segundo informações da GlobeCore, uma fabricante e fornecedora de equipamentos para processamento e regeneração de óleo de transformadores, o processo pode restaurar a capacidade dielétrica do isolante à valores iguais ou muito próximos ao de um óleo novo, reduzindo a necessidade de descarte (GlobeCore, 2025).

Esse processo envolve etapas como adsorção, filtração, secagem, desgaseificação e a remoção de subprodutos da oxidação. Tais procedimentos podem recuperar grande parte das propriedades e do volume originalmente útil do óleo, a depender do grau de degradação e do método empregado, reduzindo de forma significativa o descarte e os custos de reposição de óleo novo (Hassanpour, 2021). Um exemplar do equipamento de regeneração está demonstrado na Figura 7.

Figura 7 – Equipamento de regeneração de óleo isolante de transformador.



Fonte: GlobeCore CMM-10RL (2025).

Por conta da restauração das propriedades do óleo, a regeneração também auxilia na conservação do papel isolante que compõe o sistema de isolamento dos transformadores. O estudo de Liu *et al.* (2019) observou que a melhoria das condições do óleo regenerado, especialmente a redução da acidez e a remoção de compostos polares, contribui para retardar a degradação da celulose do papel isolante, preservando a integridade dielétrica do sistema e aumentando a vida útil dos equipamentos (Liu *et al.*, 2019).

Um ponto interessante é que além de ser realizada comumente em transformadores desligados, a regeneração também pode ocorrer em transformadores energizados, técnica que vem sendo aplicada com segurança em diversos países e concessionárias. O estudo desenvolvido pela COPEL em parceria com o LACTEC e apresentado XIV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, demonstrou a viabilidade técnica da regeneração “on-line” de um transformador de 138 kV e 16 MVA, utilizando uma unidade percoladora com Terra de Füller, um tipo de argila natural, como adsorvente. Nesse processo físico, o óleo usado é colocado em contato com o adsorvente que retira os compostos polares presentes nele. Posteriormente, na parte química, é inserido um aditivo antioxidante sintético no óleo restaurando as suas características de desempenho.

O processo resultou em melhorias significativas restaurando os parâmetros físico-químicos do óleo à níveis equivalentes aos de um óleo novo. Estimou-se ainda que o procedimento pode estender em até 10 anos a vida útil do transformador, representando ganhos econômicos em custos evitados. Esses resultados demonstram não apenas a eficiência técnica e financeira do processo, mas também sua contribuição direta para a redução de passivos ambientais e para o prolongamento da vida útil dos ativos elétricos (Granato; Junior; Curkarevicz, 2000).

O mesmo estudo realizou uma análise de viabilidade econômica, comparando os cenários de regeneração on-line, em planta e a substituição total do óleo (Quadro 7).

Quadro 7 – Análise custo-benefício da regeneração (on-line ou não) comparada à substituição do óleo.

	Substituição por óleo novo	Regeneração em planta	Regeneração “on-line”
Interrupção do funcionamento do equipamento	Sim	Sim	Não
Perdas de óleo no processo (%)	N/A	10%	5%
Custo processos (R\$/L de óleo)	R\$ 1,95 / L	R\$ 0,95 / L	R\$ 0,17 / L
Principais vantagens	Óleo novo	Custo reduzido e menor risco operacional	Custo reduzido e operação contínua
Principais desvantagens	Alto custo, exige interrupção e maior geração de resíduos	Exige interrupção e transporte	Controle técnico do processo e substituição/destinação dos adsorventes

Fonte: Adaptado (Granato; Junior; Curkarevicz, 2000).

Mundialmente a regeneração de óleos isolantes é vista como uma alternativa ambientalmente viável e economicamente atrativa em comparação à sua substituição completa. Porém o processo requer rigor técnico e controle ambiental, especialmente quanto ao manejo dos resíduos adsorventes saturados, que podem conter compostos tóxicos e devem receber destinação adequada como o coprocessamento (Augusta Martins, 2007).

Quando realizada de acordo com as normas vigentes, como a NBR 10576/2017 que dá as diretrizes para regeneração de óleos isolantes, essa prática atua fortemente nos princípios de P+L de reduzindo a geração de resíduos oleosos na fonte, e aplicando a reciclagem interna dos materiais, reinserindo o óleo usado no ciclo produtivo.

5.1.4 Tratamento de rochas ou solos contaminados com óleo

Em situações de vazamento ou ruptura de transformadores, é comum ocorrer derramamento ou aspersão do óleo isolante sobre britas e solos próximos, resultando em contaminação no local. Quando não tratada corretamente, essa contaminação pode ocasionar passivos ambientais significativos, principalmente no caso de contaminação das águas subterrâneas (Bueno De Moraes, 2023). Nesses casos, a aplicação de técnicas de remediação, de baixo impacto, pode evitar a necessidade de destinar todo o material contaminado como resíduo perigoso, reduzindo significativamente o volume total destinado.

Uma alternativa viável consiste na lavagem de solos e britas contaminadas por óleo. Essa técnica baseia-se na solubilização e remoção do óleo aderido nos materiais por meio de soluções contendo tensoativos, solventes ou misturas orgânicas com solventes (Vu; Mulligan, 2023; Wang *et al.*, 2019). A escolha do agente de lavagem depende do tipo de óleo e da granulometria do material. Estudos indicam que a adição de solventes polares, como metanol ou acetona, combinados a tensoativos, reduz a tensão interfacial entre o óleo e o material sólido, aumentando a eficiência da remoção (Vu; Mulligan, 2023; Wang *et al.*, 2019). Durante o processo, recomenda-se que a lavagem ocorra em área equipada com bacia de contenção e sistema de drenagem direcionado à uma Caixa Separadora de Água e Óleo, na qual ocorre a separação de fases, permitindo que a água remanescente e sem óleo siga o curso da drenagem local, e que o óleo recuperado seja encaminhado para a destinação final de rerrefino, ou coprocessamento, conforme as normas ambientais aplicáveis (NBR 12235/92; NBR14605-2/20).

A viabilidade técnica dessa abordagem é corroborada experimentalmente pelo estudo de Wang *et al.* (2019), que desenvolveram um sistema de lavagem otimizado para solos contaminados com óleo cru. Diferentemente das técnicas convencionais que utilizam surfactantes comuns, como o SDS isoladamente, os autores sintetizaram um surfactante específico formado por alquil sulfato de sódio etoxilado (AES), poli(propilenoglicol) bis(2-aminopropil éter) (D230) e o ácido oleico (HOA), assim denominado AES-D-OA, e testaram sua eficiência em conjunto com diferentes solventes orgânicos. O estudo identificou que o sistema combinando o surfactante com tolueno apresentou o melhor desempenho, devido à similaridade

estrutural entre o solvente e os componentes pesados do óleo em termos de aromaticidade e polaridade.

A metodologia aplicada demonstrou que a adição do solvente orgânico não apenas alterou a natureza do surfactante, mas modificou as características da fase líquida, permitindo que as moléculas de tolueno penetrassem nas cadeias de hidrocarbonetos, inchando suas ramificações e reduzindo a viscosidade do óleo. Sob condições otimizadas (proporção solvente/surfactante de 5:1 e temperatura de 60 °C), o experimento alcançou uma eficiência de remoção superior a 97%. Esse resultado supera significativamente o uso isolado de surfactantes e reforça o potencial da técnica para recuperar integralmente materiais sólidos, permitindo sua reinserção na área operacional (Wang *et al.*, 2019).

Sendo assim, essa prática reduz substancialmente o volume de resíduos a ser destinado e o custo operacional, além de se enquadrar como uma tecnologia de P+L de baixo custo e rápida implementação, especialmente útil em áreas industriais e subestações elétricas (Eletrobras, 2024b).

5.2 PRÁTICAS P+L, PRINCÍPIOS DE ESG E OS ODS

A incorporação de práticas de P+L no setor elétrico, como ecoeficiência, gestão adequada de resíduos, economia circular e descarbonização, deixou de representar uma ação voluntária ou um diferencial ambiental e passou a constituir um requisito estratégico para a competitividade e a permanência das empresas no mercado, tornando-se um elemento base para aplicação de ESG, conceito que representa uma estrutura voltada para avaliar o desempenho corporativo em relação aos três pilares (ambiental, social e de governança). Simultaneamente, essa abordagem dialoga com as metas globais dos ODS (FIEP, 2025).

Com o objetivo de evidenciar como essas conexões se manifestam na prática, foram analisados 10 relatórios de sustentabilidade e ESG de empresas do setor elétrico, nacionais e internacionais. A análise buscou identificar as principais práticas divulgadas relacionadas à gestão de resíduos sólidos e à sua integração aos pilares ESG e às metas dos ODS. As informações levantadas estão resumidas no Quadro 8, que apresenta um panorama sintético das iniciativas e estratégias observadas nas empresas avaliadas.

Quadro 8 – Resumo de informações identificadas nos relatórios de sustentabilidade
(Continua)

Empresa	Práticas relacionadas à gestão de resíduos que se alinham ao conceito P+L	Resultados
Engie Brasil (Engie, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular como logística reversa de baterias estacionárias e reciclagem de painéis fotovoltaicos com recuperação de material de alto valor agregado; • Treinamento na área de resíduos; • Priorização da não geração seguida de reutilização e reciclagem, conforme PGRS; • Reaproveitamento de paletes para evitar aquisição de novos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de 75% de recuperação de resíduos, superando a meta estabelecida de 57% para o ano; • Mais de 3 mil toneladas de placas solares recicladas desde 2022 (99% de eficácia no reaproveitamento) e 13 toneladas de baterias enviadas para reciclagem em 2024;
Statkraft Brasil (Statkraft, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular visando extensão de vida útil dos ativos; • Foco em uso eficiente de recursos; • Ações norteadas pelo PGRS 	<ul style="list-style-type: none"> • Das 29,1 mil toneladas geradas em 2024 (pico devido a obras), cerca de 84% foram encaminhadas para reciclagem ou reutilização. • 15% dos resíduos não perigosos foram para aterro ou incineração.
Eletrobras (Eletrobras, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular (implícita) com ações de logística reversa; • Ações norteadas pelo PGRS como treinamentos sobre resíduos; • Desinvestimentos em ativos termelétricos a carvão e a gás; 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação do programa Ecoinfra, com soluções na área de resíduos; • Alcance de 97% de geração por fontes renováveis em 2024;
EDF (EDF, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular e redução na fonte com foco em reciclagem dos materiais e painéis solares; redesign de produtos visando a eficiência 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto grau de reciclagem dos resíduos;
Neoenergia (Neoenergia, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular e redução na fonte com reforma de transformadores, regeneração de óleo isolante e postes 100% recicláveis; • Substituição de insumos (óleo mineral por vegetal); • Orgânicos e resíduos de poda encaminhados para compostagem; • Ações de conscientização ambiental para colaboradores e comunidade; 	<ul style="list-style-type: none"> • 83% dos resíduos gerados foram reutilizados ou reciclados; • Lucro de R\$ 22,3 milhões com alienação de sucatas; • Plano de redução de 50% de matérias-primas e reciclagem de pás eólicas e painéis solares
Enel (Enel, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular e redução na fonte com extensão de vida útil e recuperação de insumos através da reciclagem; • Projeto Canteiro Sustentável que visa reutilizar matérias primas de canteiros de obras, além de doação para comunidade local 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de 46% da geração estimada de resíduos para o ano de 2024;

Quadro 8 – Resumo de informações identificadas nos relatórios de sustentabilidade
(Conclusão)

Empresa	Práticas relacionadas à gestão de resíduos que se alinham ao conceito P+L	Resultados
ISA Energia (ISA, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular e redução na fonte com regeneração de óleo isolante; • Planos de manutenção preditiva, preventiva e corretiva; • Venda de sucatas para construção civil; destinação de resíduos perigosos para coprocessamento; 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% dos resíduos perigosos destinados, foram para coprocessamento; • Meta de zerar o envio de resíduos perigosos para aterro atingida em 2022; • (Meta) de reduzir 10% da geração por km de LT até 2030; substituição de equipamentos com SF6;
NextEra Energy (NextEra, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular (implícita) com reuso de materiais e painéis solares; • Programa que avalia e monitora destinação de resíduos; • Redução de geração na fonte, e aumento de reciclagem; • Treinamentos de resíduos; • Gestão centralizada em um local, garantindo consistência e menores custos no tratamento e destinação; 	<ul style="list-style-type: none"> • 199,6% de resíduos de combustão de carvão gerados no ano, foram reciclados; • Aumento geral de índices de reciclagem, e menores gastos;
CPFL Energia (CPFL, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular e redução na fonte com foco em maximizar ciclo de vida e reciclagem de postes, cabos e transformadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidação do programa Ecoeficiência com metas de resíduos; 100% dos componentes de distribuição reciclados ou em logística reversa;
CEMIG (CEMIG, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> • Economia circular e redução na fonte focado no reuso e reforma de transformadores, regeneração de óleo e gás SF₆; • Substituição de substâncias perigosas (PCB) 	<ul style="list-style-type: none"> • 99,7% dos resíduos gerados foram reciclados/alienados; • 542 transformadores reformados no ano; • Regeneração de óleo obteve 95% de eficiência; • (Meta) substituir 100% dos equipamentos com PCB até 2028;

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise dos relatórios de sustentabilidade apresentados no Quadro 8 demonstra que as empresas do setor elétrico vêm incorporando práticas P+L nas rotinas operacionais, integrando-as aos seus modelos de gestão ambiental e corporativa. As estratégias observadas revelam a consolidação de conceitos como ecoeficiência, visando a obtenção de melhores resultados com menos recursos, aliada à circularidade de materiais e à redução da geração de resíduos como indicadores de desempenho ambiental.

5.2.1 Pilar Ambiental (E)

A análise dos relatórios evidencia que as empresas do setor elétrico têm aderido às práticas P+L como base da aplicação do pilar Ambiental do sistema ESG. Observa-se que oito das dez empresas analisadas destacam explicitamente a adoção de práticas relacionadas à economia circular, com foco na redução da geração de resíduos e no uso mais eficiente dos recursos naturais, características centrais das práticas P+L. No entanto, em grande parte dos documentos, essas práticas foram apresentadas de forma mais genérica, sem detalhamento sobre os métodos ou metas utilizadas para alcançar os resultados pretendidos.

Entre as ações identificadas, as práticas de regeneração de óleo isolante foram citadas em 30% dos documentos analisados (CEMIG, Neoenergia e ISA Energia). A ISA Energia destacou a recuperação de cerca de 8 milhões de litros de óleo nos últimos cinco anos, por meio da regeneração online de transformadores e reatores. Essa técnica impacta diretamente o pilar ambiental não somente reduzindo o resíduo final, como também aumentando a eficiência energética do ativo sem que seja necessário tirá-lo de operação para isso (ISA, 2024). A CEMIG também apresentou dados quantitativos expressivos, totalizando 459 mil litros regenerados em 2023, com uma taxa de regeneração de 95,01%, significativamente superior à de 40,40% registrada no ano anterior, demonstrando ganhos ambientais e econômicos relevantes (CEMIG, 2023).

A regeneração de gás SF₆, apesar de ser citada exclusivamente no relatório da CEMIG, também aparece como uma prática de destaque visto que, cerca de 80% do seu volume existente encontra-se no setor elétrico (CEMIG, 2024). O gás SF₆ é amplamente utilizado como meio isolante e extintor de arco elétrico, é considerado o gás de efeito estufa mais potente da atualidade, com um potencial de aquecimento global de cerca de 24 mil vezes maior que o do CO₂ (EPA, 2025). A regeneração desse gás reduz de maneira significativa a geração de cilindros contaminados e evita a necessidade de novas produções, contribuindo diretamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, além de promover a economia com a compra de novas cargas e descarte de antigas (CEMIG, 2024).

Também foram identificadas, em alguns documentos analisados, ações para a substituição de substâncias perigosas como PCB, e o próprio óleo mineral isolante, por alternativas de menor risco ambiental e à saúde humana como óleo vegetal. Essas

ações foram acompanhadas de metas de eliminação gradual e prazos de implementação.

A reforma de transformadores também foi um ponto relevante, evitando a geração de novos resíduos e reduzindo a demanda por insumos. No caso da NextEra, a reforma desses equipamentos gerou uma economia de cerca de 5 milhões de reais, além dos ganhos ambientais associados ao aumento da vida útil dos equipamentos (NextEra, 2024).

Essas iniciativas demonstram a busca de algumas empresas do setor pelo alinhamento aos princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental, assim como com os ODS. Em especial os ODS 12, 13 e 7, que sintetizam as dimensões de consumo responsável, mitigação climática e acesso à energia limpa (ONU, 2015).

5.2.2 Pilar Social (S)

No pilar Social, as práticas de P+L analisadas ultrapassam o foco ambiental e passam a integrar pessoas, comunidades e cadeias produtivas, assumindo um papel na promoção da segurança ocupacional, da capacitação profissional e do engajamento social com as temáticas ambientais. De acordo com a ABNT PR 2030, a dimensão social de uma estratégia ESG está diretamente ligada à geração de valor compartilhado, à inclusão e ao respeito aos direitos humanos, aspectos que aparecem de forma recorrente nas iniciativas analisadas (ABNT, 2024b).

Os relatórios de sustentabilidade mostram que algumas empresas vêm ampliando o alcance social das suas ações de P+L, tanto internamente, por meio de treinamentos sobre gestão de resíduos, boas práticas ambientais e segurança no trabalho, quanto externamente, por meio de projetos comunitários e programas de educação ambiental. A Enel, por exemplo, desenvolve o Projeto Canteiro Sustentável, que reaproveita materiais de canteiros de obras e destina excedentes a comunidades locais; a Engie e a Neoenergia realizam programas de doação de resíduos reaproveitáveis, como madeira e sucatas, para projetos sociais.

Além disso, essas práticas refletem o princípio da transição justa, o qual diz que a modernização tecnológica e a descarbonização devem ocorrer de forma inclusiva e equitativa, sem deixar as comunidades vulneráveis para trás. A própria norma brasileira que trata de ESG reforça que a sustentabilidade só é plena quando os benefícios ambientais se convertem em bem-estar social e desenvolvimento local (ABNT, 2024b).

Os pilares muitas vezes se sobrepõem, de modo que a prática de substituição de substâncias perigosas como PCB, citada no pilar ambiental, impacta diretamente no pilar social, reduzindo insalubridade, periculosidade e eliminando esse risco diretamente na fonte (Slunge *et al.*, 2023).

5.2.3 Pilar Governança (G)

A dimensão de Governança no contexto ESG representa o conjunto de estruturas e processos pelos quais as organizações são dirigidas e monitoradas, buscando gerar um valor sustentável para a empresa e sociedade (ABNT, 2024b). No setor elétrico, esse pilar assume um papel central na implementação das práticas de P+L, visto que a integração de metas ambientais com resultados econômicos e sociais permite transformar a sustentabilidade em estratégia econômica.

Sustentando essa ideia, na ótica da governança, sustentabilidade e rentabilidade podem se retroalimentar. De acordo com os relatórios de sustentabilidade, a CEMIG, por exemplo, obteve R\$ 43,6 milhões em receitas com a alienação de sucatas metálicas e restauração de equipamentos; a Neoenergia, R\$ 22,3 milhões; e a NextEra Energy uma economia de cerca de R\$ 5 milhões pela reforma de transformadores. Esses resultados ilustram o conceito de valor compartilhado, definido como a geração simultânea de valor econômico e social, e ilustram a retroalimentação positiva entre os pilares Ambiental e Governança, em que a eficiência operacional fortalece o desempenho financeiro, e este, por sua vez, viabiliza novos investimentos ambientais (Bittencourt; Figueiró, 2019).

Contudo, é importante reconhecer que embora as empresas apresentem iniciativas alinhadas aos princípios de P+L, parte dessas práticas ainda representam níveis iniciais da hierarquia de P+L, principalmente aquelas voltadas ao tratamento do resíduo após a sua geração. A simples venda de sucatas metálicas para reciclagem, por exemplo, apesar de gerar benefícios ambientais e retorno financeiro, permanece sendo uma estratégia “reativa” após a geração do resíduo, que ainda envolve etapas como o transporte, triagem e processamento por terceiros antes que o material seja reinserido em um novo ciclo produtivo. Somente após essa cadeia de processamento é que se alcança a redução efetiva da demanda por novas matérias primas (CNTL, 2003).

Na lógica do PNUMA, ações assim aproximam-se das soluções fim de tubo, por não atuarem nas causas da geração. Em contraste, os níveis mais avançados de

P+L priorizam a prevenção, buscando reduzir a geração diretamente na fonte por meio de estratégias como melhoria de processos, substituição de materiais, manutenção preventiva e extensão da vida útil dos equipamentos (CNTL, 2003).

Nesse contexto, o pilar de Governança assume o papel decisivo na evolução das práticas de P+L. Cabe à governança estabelecer políticas, responsabilidades e instrumentos de controle que permitam à empresa avançar de ações reativas, centradas no tratamento dos resíduos gerados, para estratégias preventivas voltadas à redução na fonte e ao uso mais eficiente dos recursos.

5.2.4 Relação com os ODS 7, 12 e 13

Ainda que o ODS 7 “Energia Limpa e Acessível” esteja intrinsecamente vinculado ao núcleo de atuação das companhias elétricas (geração, transmissão e distribuição de energia), as práticas de P+L também se conectam a esse objetivo de modo indireto, por meio da eficiência energética, foco da meta 7.3 que visa duplicar a taxa global de melhoria da eficiência energética até 2030 (ONU, 2024). A regeneração de óleo isolante e a reforma de transformadores, relatadas por empresas como CEMIG, Neoenergia e NextEra Energy, são exemplos concretos dessa contribuição: ao restaurar o desempenho dos equipamentos, essas práticas permitem que eles operem por mais tempo dentro da curva ideal de rendimento, reduzindo perdas técnicas nas redes de transmissão e distribuição. Menor perda de energia significa maior eficiência sistêmica, reduzindo a necessidade de nova geração e, conseqüentemente, as emissões associadas, configurando uma aplicação direta dos princípios de P+L ao ODS 7.

Além disso, ações visando a ecoeficiência operacional e gestão inteligente de ativos, como o reaproveitamento de materiais e a substituição de insumos por alternativas mais econômicas e ambientalmente viáveis, contribuem para o uso racional de recursos e redução de custos energéticos das empresas, reforçando a sustentabilidade corporativa com os pilares ambiental e de governança. Assim, a P+L no setor elétrico não apenas reduz impactos ambientais, mas também aumenta a eficiência do sistema como um todo, assegurando que uma maior fração da energia gerada chegue de forma limpa, estável e acessível ao consumidor final.

O ODS 12 “Consumo e Produção Responsáveis” constitui um vínculo direto entre as práticas de P+L na gestão de resíduos e o pilar ambiental, sendo também um dos objetivos de maior recorrência nos relatórios corporativos analisados. Esse

objetivo visa garantir padrões de produção e consumo sustentáveis e se desdobra em metas. Dentre elas destacam-se duas como as mais relacionadas à atuação do setor elétrico: a meta 12.4, que propõe a gestão ambientalmente adequada de produtos químicos e resíduos ao longo de todo o seu ciclo de vida, e a Meta 12.5, que visa reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso (ONU, 2015b).

Nos relatórios das empresas estudadas, observa-se que essas metas globais são transformadas em estratégias corporativas. A Enel, por exemplo, associa suas metas de redução progressiva da geração de resíduos ao ODS 12, vinculando-as ao conceito de economia circular e ao reaproveitamento de materiais provenientes de obras e manutenções. A Neoenergia adota um Plano de Economia Circular alinhado a esse mesmo ODS, tendo alcançado em 2023 a meta de reciclar 94% dos resíduos gerados, incluindo ações de regeneração de óleo isolante e substituição de insumos minerais por vegetais. Já a CEMIG exemplifica a aplicação prática da Meta 12.5 ao atingir 99,7% de reaproveitamento de materiais em 2023, resultado de processos combinados de reciclagem, reforma e regeneração de equipamentos elétricos.

Mesmo em empresas que não listam o ODS 12 entre seus compromissos estratégicos prioritários, como a ISA Energia, a gestão de resíduos aparece como um foco operacional, mostrando o princípio de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos materiais. Outras companhias, como a NextEra Energy e a Statkraft Brasil, ainda que não contenham explicitamente o termo “economia circular”, demonstram a aplicação prática do ODS 12, e em especial da meta 12.5, ao implementar programas de reuso e reforma de equipamentos, reduzindo o consumo de insumos e prolongando a vida útil de ativos.

Nesse contexto, a P+L consolida-se como o eixo operacional do pilar ambiental, convertendo princípios globais em resultados mensuráveis de sustentabilidade corporativa. É por meio da P+L que as empresas atingem as metas do ODS 12, promovendo a redução da geração de resíduos, o uso eficiente de insumos e a valorização de materiais, parâmetros que fundamentam a avaliação do desempenho ambiental e a credibilidade de suas estratégias ESG.

Em relação ao ODS 13 “Ação contra a Mudança Global do Clima”, a conexão ocorre tanto de forma direta quanto indireta, alinhando-se à meta 13.2, que integra medidas climáticas ao planejamento estratégico. Diretamente porque a gestão adequada de resíduos específicos e substâncias perigosas reduz emissões de gases

de efeito estufa, como exemplificado pela regeneração do gás SF₆ realizada pela CEMIG (EPA, 2025). Indiretamente porque P+L contribui para a estratégia de descarbonização corporativa, reduzindo emissões associadas à produção de novos insumos. A ISA Energia e a Neoenergia, por exemplo, mitigam emissões de metano (CH₄) ao destinarem resíduos orgânicos de poda para compostagem, evitando o envio a aterros. Além disso, a reciclagem de metais (como alumínio e aço provenientes de sucatas) diminui o consumo energético das cadeias industriais e, conseqüentemente, as emissões provenientes de fontes externas à empresa, como a cadeia de fornecedores. Dessa forma, a P+L se consolida como a ferramenta operacional de redução de emissões em fontes não óbvias, complementando as metas de energia renovável e neutralidade de carbono do setor elétrico.

De forma conclusiva, a análise da relação entre as práticas de P+L e os ODS 7, 12 e 13 evidencia que as empresas estudadas avançam na integração entre desempenho ambiental, eficiência operacional e governança climática com diferentes graus de maturidade. O ODS 12 é o mais consolidado, refletido em metas concretas de gestão de resíduos e circularidade. O ODS 13 manifesta-se de forma mais indireta, por meio da mitigação de emissões em fontes não óbvias, como a regeneração de gases e o reaproveitamento de resíduos orgânicos. O ODS 7 ganha pouco destaque, tendo maior expressão nas ações de eficiência energética que prolongam a vida útil de equipamentos e reduzem perdas no sistema elétrico.

Apesar dos avanços, observa-se que a gestão de resíduos do setor ainda se apoia em soluções corretivas “fim de tubo”, enquanto iniciativas de P+L, verdadeiramente preventivas e circulares, como o redesign de equipamentos e a regeneração completa de ativos despontam como tendência de uma governança ambiental mais madura, capaz de alinhar sustentabilidade, inovação e desempenho operacional no setor.

5.3 ANÁLISE DE EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO

Para complementar a análise bibliográfica e aprofundar a compreensão sobre a aplicação de práticas alinhadas com o conceito de P+L no setor elétrico brasileiro, foi elaborado um questionário, resumido no Quadro 9, e enviado a 10 empresas do setor. Foram obtidas respostas de duas companhias, as quais, para fins de preservação do sigilo, serão aqui identificadas como “Empresa A” e “Empresa B”, conforme solicitado através do questionário.

Quadro 9 – Informações resumidas do questionário enviado às empresas (Continua)

Questões	Empresa A	Empresa B
1. Nome da empresa;	Empresa A	Empresa B
2. O nome necessita ser mantido em anonimato na publicação do TCC?	Sim	Sim
3. Atuação da empresa;	Geração, transmissão e comercialização	Distribuição
4. Porte da empresa;	Grande (≥ 500 funcionários)	Grande (≥ 500 funcionários)
5. Quais são os principais tipos de resíduos sólidos gerados anualmente na operação da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos metálicos; • Resíduos oleosos; • Resíduos de escritório; 	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos metálicos; • Resíduos oleosos; • Resíduos de madeira ou poda;
6. A empresa possui inventário ou banco de dados atualizado sobre a geração de resíduos?	<ul style="list-style-type: none"> • Sim, mas não atualizado periodicamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Sim, atualizado periodicamente
7. Caso a resposta seja sim, especificar o método de controle (ex: Excel, IGS etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de Sustentabilidade, MTRs e DMRs 	<ul style="list-style-type: none"> • Excel, a partir dos MTRs emitidos
8. Há na empresa um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)?	<ul style="list-style-type: none"> • Sim, mas em revisão ou sem aplicação efetiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Não possui
9. Se a resposta anterior for “sim”, por favor envie o PGRS no campo abaixo.	<ul style="list-style-type: none"> • - 	<ul style="list-style-type: none"> • -
10. Há na empresa algum equipamento em circulação contendo PCB?	<ul style="list-style-type: none"> • Não, já foram todos substituídos 	<ul style="list-style-type: none"> • -
11. A empresa possui parcerias ou contratos de logística reversa para resíduos perigosos (ex.: lâmpadas, baterias, EPIs)?	<ul style="list-style-type: none"> • Não 	<ul style="list-style-type: none"> • Sim
12. Quais medidas condizentes com as práticas P+L já foram adotadas pela empresa?	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso de materiais; 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso de materiais; • Reciclagem de materiais; • Monitoramento de indicadores ambientais; • Programas internos de educação ambiental / treinamento de equipes
13. Existem barreiras identificadas para ampliar a adoção de P+L?	<ul style="list-style-type: none"> • Conformidade legal e redução de riscos; • Redução de impactos ambientais e emissões 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de fornecedores especializados ou tecnologia disponível; • Falta de conhecimento de estratégias possíveis
14. Na sua visão, quais benefícios mais se destacam com a P+L aplicada à gestão de resíduos?	<ul style="list-style-type: none"> • Conformidade legal e redução de riscos; • Redução de impactos ambientais e emissões 	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria de imagem institucional; • Redução de impactos ambientais e emissões

Quadro 9 – Informações resumidas do questionário enviado às empresas
(Conclusão)

Questões	Empresa A	Empresa B
15. Cite um exemplo de boa prática em gestão de resíduos adotada pela empresa que poderia ser replicado no setor.	Regeneração de óleo isolante (OMI). Classificação de sucatas e alienação de materiais por tipo de classificação.	A parceria com associações de catadores de baixa renda, realizada por meio de Chamada Pública, para encaminhamento dos documentos que já extrapolaram o tempo oficial de guarda, para desfragmentação.
16. Na sua opinião, quais são os maiores desafios para implantar estratégias P+L no setor elétrico?	Logística dos fornecedores. Pontos de entrega/coleta dos materiais.	[...] Numa empresa pública existem os desafios burocráticos para realizar doações de inservíveis, que poderiam ser reutilizados por outras entidades[...].
17. Que recomendações faria para fortalecer a gestão sustentável de resíduos no setor?	Manejo apropriado dos equipamentos, óleos e materiais de consumo.	A gestão é eficiente na empresa B, cerca de 98% dos resíduos são reinseridos por reuso e reciclagem. Recomenda-se fortalecer associações e ONGs, oferecendo apoio para que obtenham os licenciamentos necessários e ampliem sua capacidade de receber e valorizar esses materiais
18. Como a empresa enxerga a relação das suas práticas com o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente com os ODS 7, 12, e 13?	Trabalho alinhado com as boas práticas ambientais e normas técnicas vigentes.	Com o gerenciamento de resíduos estamos reinserindo os materiais na economia circular, o que colabora para diminuir a extração de matérias primas, o consumo de água e de energia além de desviar estes materiais de aterros, então enxergamos uma relação com o ODS 12 especialmente, e com o 13.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1 Perfil das respondentes e gestão atual

As duas empresas respondentes são classificadas como de grande porte (mais de 500 funcionários), porém pertencentes a segmentos diferentes do setor elétrico. A Empresa A, possui uma gestão privada e atua nas frentes de geração, transmissão e comercialização de energia, enquanto a Empresa B atua exclusivamente com a distribuição possuindo uma gestão pública. Embora o número de respostas obtidas tenha sido reduzido, 20% das empresas contatadas, a participação de agentes com perfis operacionais diferentes representa um aspecto positivo da amostra, permitindo explorar a diversidade de realidades e desafios entre dois dos segmentos mais representativos do setor.

Quanto aos tipos de resíduos mais frequentemente gerados, ambas as empresas apontaram a ocorrência de resíduos oleosos (ou contaminados com óleo) e resíduos metálicos, incluindo cabos e sucatas provenientes de manutenções e substituições de componentes. Entretanto, enquanto a Empresa A destacou a geração

de resíduos administrativos (como papel e materiais de escritório), a Empresa B apontou a produção de resíduos de madeira e de poda. Este último está diretamente associado às atividades de expansão e manutenção de LTs, nas quais é necessária a supressão ou poda periódica da vegetação para evitar o contato com os cabos condutores prática essencial para prevenir curtos-circuitos, desligamentos e riscos de incêndio (Yuhara, 2015).

A análise das respostas referentes às práticas de gerenciamento de resíduos destaca dois cenários distintos entre as empresas participantes, ambos com implicações relevantes para a rastreabilidade e para a eficácia da gestão. Por um lado, a Empresa A informa possuir um PGRS formalmente elaborado, o que atende a exigência legal descrita pela PNRS. No entanto, o documento encontra-se não desatualizado ou em processo de revisão, e seu inventário de resíduos, que não é atualizado periodicamente, não representa a situação operacional atual da empresa.

O inventário é um dos instrumentos estabelecidos pela PNRS e age como linha de base quantitativa e qualitativa da gestão. Quando desatualizado, o PGRS torna-se um instrumento de planejamento fundamentado em situações obsoletas. Isso compromete diretamente a rastreabilidade e o balanço de massa entre geração e destinação parte de uma referência que não condiz com a situação real de resíduos (Tera, 2019). Do ponto de vista regulatório, essa situação apresenta risco do chamado compliance de fachada (quando a empresa aparenta conformidade documental, mas opera de maneira divergente das diretrizes previstas no plano). Isso é uma condição especialmente crítica no setor elétrico, que lida com óleos isolantes, transformadores, materiais contaminados entre outros resíduos perigosos (CADE, 2016).

Por outro lado, a Empresa B apresentou uma situação oposta, sinalizando não possuir um PGRS elaborado. Entretanto, ela apresenta um inventário de resíduos que é atualizado periodicamente com os dados de movimentação provenientes dos MTRs e DMRs. Embora haja um controle operacional, a empresa carece do principal documento de planejamento, apresentando uma não conformidade legal com a PNRS. Além disso, o MTR e a DMR são documentos de caráter autodeclaratórios, e fornecem um diagnóstico dos resíduos transportados e destinados. Sem o PGRS, falta a visão estratégica para estruturar metas de minimização de resíduos, rotinas de segregação e medidas saneadoras dos passivos ambientais (BRASIL, 2010).

No setor elétrico, essas lacunas são particularmente sensíveis. Resíduos como óleo isolante, equipamentos com SF₆ e transformadores com contaminação de

PCBs apresentam alto potencial de impacto (Tiwari *et al.*, 2024). Essa gestão é objeto de fiscalização rigorosa pelos órgãos ambientais (no âmbito da PNRS e do licenciamento) e, indiretamente, pela ANEEL, que monitora o cumprimento das condicionantes ambientais vinculadas aos contratos de concessão (MME, 2022).

5.3.2 Práticas alinhadas aos princípios de P+L identificadas nas empresas respondentes

Apesar das diferenças observadas quanto à estrutura da gestão de resíduos, ambas as empresas demonstram incorporar um conjunto de práticas alinhadas aos princípios de P+L. Um ponto de destaque comum é a retirada completa de equipamentos contendo PCB, seguida da substituição por equipamentos sem traços desse composto, medida que reforça a eliminação de riscos ambientais e humanos, além de contribuir para o alinhamento às normativas internacionais de eliminação desse contaminante (BRASIL, 2021).

Além disso, ambas as empresas destacam a prática de treinamentos internos para capacitação dos funcionários acerca da temática de resíduos, além de aderirem a regeneração de óleos minerais isolantes de transformadores, e a alienação de sucatas metálicas reinserindo as mesmas como insumo de outras indústrias, gerando lucro e favorecendo a circularidade. A Empresa A ainda menciona utilizar um tipo de segregação e classificação das sucatas a serem alienadas a fim de separar materiais perigosos.

A Empresa B, embora não possua PGRS formalizado, apresenta um conjunto expressivo de ações que apontam para uma gestão ambiental mais estruturada do que sua documentação sugere. A companhia mantém contratos de logística reversa para resíduos perigosos, como lâmpadas e baterias, garantindo destinação ambientalmente adequada. Além disso, monitora indicadores de reinserção de resíduos no processo produtivo, alcançando aproximadamente 98% de reaproveitamento por meio de reciclagem e vendas para reuso. A empresa B também possui parceria com associações de catadores de baixa renda, selecionadas via Chamada Pública, para a desfragmentação e destinação correta de documentos oficiais que excederam o prazo de guarda, de modo a fortalecer essas associações e favorecer a reciclagem desses itens.

Essas práticas demonstram que apesar dos desafios discutidos acerca da gestão, as empresas analisadas incorporam parcialmente princípios de P+L se

apoiando principalmente no escopo de valorização de materiais, na busca por maior eficiência no uso de recursos, e relação com atores sociais.

5.3.3 Barreiras e desafios para adoção de práticas P+L no setor

Quanto às dificuldades levantadas pelas empresas, a Empresa A, evidencia uma falha de mercado através de uma barreira técnico/logística como a ausência de fornecedores especializados, o que limita o acesso da empresa a tecnologias de remanufatura entre outras, sendo mais viável recorrer para alternativas de maior impacto ambiental, como a destinação direta de materiais que ainda possuem um potencial de circularidade. Outro ponto levantado pela empresa A foi a falta de conhecimento técnico de diferentes estratégias possíveis para a adoção de práticas alinhadas com P+L, o que sugere uma falta de divulgação e capacitação formal voltadas para essas práticas e ao próprio conceito de P+L.

Por outro lado, as questões levantadas pela Empresa B demonstram uma falha no âmbito da governança. Acerca das principais barreiras enfrentadas na aplicação de estratégias com foco em P+L, a resposta do(a) representante da Empresa B:

[...] numa empresa pública existem os desafios burocráticos para realizar doações de inservíveis, que poderiam ser reutilizados por outras entidades (móveis usados, por exemplo) ou serem doados para ONGs ou associações de reciclagem, pois, sempre há que se ter todo tipo de comprovação de que o inservível não possui valor financeiro para a empresa pública (como você doaria para uma cooperativa e ela por sua vez venderia o resíduo, indiretamente é uma situação que demonstra que há mercado para o resíduo e, neste caso, esse recurso poderia ser revertido para a empresa pública). Algumas vezes, mesmo tendo essa comprovação, a obrigatoriedade de Chamada Pública cria todo um rito burocrático que exige, no mínimo, "hora/homem" de empregados públicos para criação de termo de referência, abertura do processo propriamente, avaliação e julgamento da qualificação jurídica, técnica, entre outros, do proponente... Além disso, a doação é muito dificultosa pois, considerando a baixa capacidade logística e de infraestrutura típica das entidades que trabalham com a triagem de resíduos para posterior venda para a reciclagem e/ou indústria, muitas vezes, eles têm o interesse no resíduo mas, não têm os meios para coletar e transportar e por sua vez, a empresa pública não pode ter "gastos" e realizar esta etapa do gerenciamento e carregar e entregar os resíduos numa cooperativa. Resumindo: a burocratização para a empresa pública se desfazer de algo sem ter retorno financeiro somada a baixa infraestrutura disponível "no mercado" considerando como receptores as ONGs, associações de catadores.

Esse relato evidencia como a lógica acerca dos patrimônios vigente no setor público atua de forma contrária aos princípios da economia circular. Ao exigir comprovações extensas e impor ritos de chamada pública, o processo de doação de inservíveis se torna oneroso. O resultado disso é que bens com potencial de

reaproveitamento acabam se tornando passivos ambientais, destinados ao descarte, transformando ativos circulares em resíduos indesejados.

5.3.4 Relação das empresas com o cumprimento dos ODS 7, 12 e 13

A análise das respostas revela que as duas empresas participantes possuem percepções distintas quanto ao seu nível de alinhamento aos ODS. A Empresa A declara perceber alinhamento direto com os três objetivos. Embora apresente fragilidades de planejamento, a empresa reconhece que as medidas adotadas reforçam a redução de perdas energéticas, a valorização de materiais e a mitigação de impactos ambientais.

A Empresa B, apesar das dificuldades burocráticas citadas e ausência de PGRS formalizado, aparentemente demonstra esforços voltados à economia circular, como a alta taxa de reinserção de resíduos no processo produtivo, cerca de 98%, a logística reversa de resíduos perigosos e a parceria com associações de catadores, são percebidas internamente como contribuições diretas ao ODS 12, por ampliarem a vida útil dos materiais, reduzirem a necessidade de extração de matéria-prima e evitarem o envio de resíduos para aterros. Além disso, a empresa também reconhece uma relação concreta com o ODS 13 ao minimizar a geração de novos insumos e valorizar materiais recicláveis, dado que tais estratégias reduzem emissões associadas à cadeia produtiva e às etapas de transporte e beneficiamento de novos materiais. Porém, não destaca relações diretas com o ODS 7.

5.3.5 Recomendações para as empresas

A análise das respostas das duas empresas demonstra que, embora existam iniciativas alinhadas aos princípios da P+L, ainda há barreiras significativas que dificultam a consolidação de uma gestão ambiental integrada aos pilares ESG e aos ODS. A seguir, são apresentadas as recomendações e boas práticas diante das situações levantadas.

- Atualização e institucionalização do PGRS como instrumento central de planejamento.

As tomadas de decisão na gestão de resíduos devem ser fundamentadas em dados atualizados e em instrumentos robustos de planejamento. O PGRS cumpre

esse papel, balizando e orientando decisões e estratégias de gestão (Moa, 2025). Assim, a elaboração ou atualização de um PGRS seria prioridade para garantir a melhoria de gestão, padronização dos processos de segregação, armazenamento e destinação, além de proteger a empresa contra auditorias e eventuais multas de órgãos ambientais fiscalizadores (BRASIL, 2010). Nesse caso, a contratação de auditoria externa pode contribuir o diagnóstico e para a elaboração do plano. Inclusive, a elaboração de indicadores de geração, ajudariam a confrontar ou validar a declaração da Empresa B de que cerca de 98% dos resíduos gerados são reintroduzidos na cadeia produtiva. Um valor inesperado dado o cenário descrito, além de o caráter auto declaratório dessa informação, tornar difícil a comprovação.

- Ampliação da visão estratégica relacionada à P+L, ODS e ESG.

A superação das barreiras técnicas identificadas exige o fortalecimento do entendimento das equipes e gestores acerca de práticas preventivas, evitando que a gestão continue centrada em soluções fim de tubo, como reciclagem isolada ou simples destinação de resíduos. Parcerias com universidades e institutos de pesquisa podem auxiliar no desenvolvimento de programas de capacitação contínua, elaboração de workshops e treinamentos aproximando os colaboradores de estratégias preventivas de P+L e fortalecendo o vínculo da empresa com os ODS pertinentes ao setor e os pilares ESG.

- Adoção de relatórios de sustentabilidade com base nos Padrões GRI

Para aumentar a aderência aos critérios ESG e aos ODS, sugere-se a adoção dos relatórios de sustentabilidade baseados em padrões de reporte dos impactos econômicos, ambientais e sociais da organização. O *Global Reporting Initiative* (GRI), é uma referência mundial de transparência corporativa. A implementação desse modelo obrigaria as empresas a auditarem seus processos internos e rastrear os impactos em toda a cadeia de valor, garantindo que os dados apresentados sigam uma metodologia sólida, auditável e comparável internacionalmente (GRI, 2025).

- Aprimoramento das práticas de regeneração de insumos críticos

O fortalecimento do alinhamento das empresas com os ODS também pode ser alcançado pela ampliação das práticas de regeneração de materiais. A Empresa A já realiza a regeneração de óleo isolante, enquanto a Empresa B poderia incorporar

essa prática, especialmente a regeneração on-line que tende a reduzir custos operacionais no longo prazo. Além disso, recomenda-se que ambas as empresas incluam em suas rotinas a regeneração de gás SF₆, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais associados a esse composto de elevado potencial de aquecimento global, o que contribui diretamente para o alinhamento com o ODS 13.

- Inventário e destinação adequada de equipamentos contendo PCB

A Empresa B não esclareceu se ainda possui equipamentos com PCB ou com traços desse composto em suas instalações. Caso essas informações não estejam devidamente catalogadas e inventariadas, é imperativo que essa verificação seja realizada com urgência, preferencialmente durante a auditoria externa. Havendo equipamentos contendo PCB, recomenda-se sua destinação final adequada, como o coprocessamento, desde que respeitados os limites de concentração definidos pela Resolução CONAMA 499/2020 (Mutz; Hengevoss; Gross, 2017).

Em síntese, as recomendações apresentadas indicam que o fortalecimento da gestão sustentável de resíduos no setor depende tanto da adoção de instrumentos formais de planejamento quanto da ampliação da visão estratégica voltada à P+L, ESG e ODS. A consolidação dessas práticas, associada ao investimento em capacitação, transparência e tecnologias preventivas, tende a elevar o desempenho ambiental das empresas e promover maior alinhamento com as exigências contemporâneas de sustentabilidade no setor elétrico.

6 CONCLUSÃO

Este estudo buscou avaliar a aplicação do conceito de P+L na gestão de resíduos sólidos do setor elétrico, considerando suas práticas atuais, barreiras e potencial para melhoria. Verificou-se que, embora existam práticas consolidadas e de elevada maturidade, como a regeneração de óleo isolante, técnicas de recuperação de subprodutos e rotas de valorização energética, sua adoção plena ainda pode ser limitada por algumas barreiras técnicas ou organizacionais.

A análise das duas empresas estudadas revelou dois cenários relevantes para o entendimento da maturidade do setor. De um lado, o caso observado na empresa de gestão privada ilustra que, mesmo com instrumentos de planejamento ambiental, como o PGRS, existem falhas operacionais e logísticas que comprometem a efetividade das ações propostas e fragilizam a execução do próprio plano. De outro, o caso observado na empresa de gestão pública demonstra forte capacidade operacional, sobretudo na logística reversa e na alienação de bens inservíveis, mas a atuação é limitada por barreiras burocráticas que dificultam a adoção de soluções de circularidade. Essa dicotomia indica que tanto aspectos gerenciais quanto institucionais influenciam diretamente na capacidade de incorporação das práticas preventivas de P+L.

Quanto à aderência aos ODS e ESG a análise integrada (abrangendo tanto os relatórios corporativos quanto o questionário aplicado) revela a heterogeneidade do setor. Onde em alguns casos eles já atuam como eixo estratégico, balizando a gestão de resíduos das empresas, em outros são deixados em segundo plano, limitando-se ao cumprimento documental ou a ações de visibilidade pontual, sem a devida internalização na cultura operacional.

Por fim, o trabalho demonstra que a consolidação das práticas alinhadas com o conceito de P+L na gestão dos resíduos no setor elétrico depende de múltiplos fatores incluindo estratégias de governança eficazes como a adoção de relatórios auditáveis GRI, a atualização constante dos instrumentos de planejamento como o PGRS e a disseminação do conhecimento sobre as vantagens econômicas e ambientais da gestão preventiva.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Hidrelétricas:** Catálogo de Metadados. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?uuid=46e59672-6328-429b-963e-915508708657>. Acesso em: 15 abr. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **ANEEL explica como funcionam as usinas hidrelétricas.** Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/video-produzido-pela-aneel-explica-como-funcionam-as-usinas-hidreletricas>. Acesso em: 20 abr. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Nota Técnica nº 094/2020-SRG/ANEEL.** Brasília: ANEEL, 2020. Disponível em: <https://l1nk.dev/osf9y>. Acesso em: 20 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004-1:** Resíduos sólidos – Classificação Parte 1: Requisitos de classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11174:** Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12235:** Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14605-2:** Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Sistema de drenagem oleosa. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5460**: Sistemas elétricos de potência. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PR 2030**: Ambiental, social e governança (ESG) - Conceitos, diretrizes e modelo de avaliação e direcionamento para organizações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ATIAIA RENOVÁVEIS. **Qual é a diferença entre uma PCH e uma UHE?**, 2023. Disponível em: <https://atiaiarenovaveis.com.br/blog/diferenca-entre-pch-e-uhe/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

AUGUSTA MARTINS, M. G. Regeneração de óleos isolantes usados: solução ou problema? **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 19, n. 34, p. 88-94, 2007.

BELKHODE, P. N. et al. Performance analysis of CI engine using distilled waste transformer oil and diesel fuel blends. **Materials Today: Proceedings**, v. 56, p. 342-347, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.008>.

BITTENCOURT, B. A.; FIGUEIRÓ, P. S. A criação de valor compartilhado com base em um ecossistema de inovação. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p. 1002–1015, 2019. <https://doi.org/10.1590/1679-395174403>.

BRASIL. **Lei nº 10.308, de 20 de novembro de 2001**. Dispõe sobre a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a indenização, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos de rejeitos radioativos. Brasília, DF: Presidência da República, 2001.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BRASIL. **Lei nº 14.250, de 25 de novembro de 2021**. Dispõe sobre a eliminação controlada de bifenilas policloradas (PCBs) e de seus resíduos. Brasília, DF:

Presidência da República, 2021. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14250.htm.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020**. Institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional. Brasília, DF: MMA, 2020a. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-280-de-29-de-junho-de-2020-264244199>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 499, de 6 de outubro de 2020**. Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer. Brasília, DF: CONAMA, 2020b. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama/mma-n-499-de-6-de-outubro-de-2020-281790575>.

CEMIG. **Relatório Anual de Sustentabilidade 2023**. Belo Horizonte: CEMIG, 2024. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/relatorio/relatorio-anual-de-sustentabilidade-2023/>.

CEMIG. **Dia do Planeta**: equipe da Cemig desenvolve técnica que impede emissão de gás do efeito estufa na atmosfera. Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/release/dia-do-planeta/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). **Implementação de Programas de Produção Mais Limpa**. Porto Alegre: SENAI/UNIDO/UNEP, 2003. https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/manual_implementacao_pmaislimpa.pdf.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**, v. 25, n. 1, p. 313-337, 2000. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>.

CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA (CADE). **Programas de Compliance**: Orientações sobre estruturação e benefícios da adoção dos programas

de compliance concorrencial. Brasília: CADE, 2016.
<https://cdn.cade.gov.br/Portal/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-do-cade/guia-compliance-versao-oficial.pdf>

CPFL ENERGIA. **Relatório Anual 2024**. Campinas: CPFL Energia, 2024.
https://www.grupocpfl.com.br/sites/default/files/2025-04/250107_CPFL_RA24_VF%20Final2.pdf.

CUNHA, T. F. S.; PIRES, M. L.; DE PAULA, L. D. R. Produção Mais Limpa: uma ferramenta sustentável. **Revista Paramétrica**, v. 15, n. 1, p. 463-482, 2023.
<https://periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/407>

DE WACHTER, D.; JEZDINSKY, V. **The circularity of medium-power electrical transformers**: Evaluating design options based on an in-depth market. Brussels: Copper Alliance, 2022. <https://hrcak.srce.hr/file/392582>.

EDF. **Universal Registration Document 2024: Annual Financial Report**. Paris: Électricité de France, 2024. <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2025-04/2025-04-24-edf-urd-2024-en.pdf>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition**. 2015. Disponível em: <https://content.ellenmacarthurfoundation.org>. Acesso em: 10 dez. 2025.

ELETROBRAS. **Relatório Anual 2024**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2024.
<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Relatorio-Anual.aspx>.

ELETROBRAS CGT ELETROSUL. **Treinamento Manejo e Gestão de Resíduos**. Florianópolis: Eletrobras, 2024. Material interno.

ELETROBRAS FURNAS. **Subestações**. Rio de Janeiro: Furnas, 2025. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/>. Acesso em: 15 out. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética e Elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 25 abr. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2024**: Ano base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>.

ENEL. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. São Paulo: Enel Brasil, 2024. https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/quemsomos/relatorios-anuais/2024/Relat%C3%B3rio%20de%20Sustentabilidade%20Enel%20Brasil_2024.pdf.

ENERGY INSTITUTE. **Statistical Review of World Energy 2025**. 74. ed. London: Energy Institute, 2024. Disponível em: <https://www.energyinst.org/statistical-review>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ENGIE BRASIL. **Guia de Subestações de Energia**. Florianópolis: Engie, 2024. https://www.engie.com.br/wp-content/uploads/2024/09/eBook_Guia-de-subestacoes-de-Energia.pdf

ENGIE BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. Florianópolis: Engie Brasil Energia, 2024. https://www.engie.com.br/wp-content/uploads/2025/04/Engie_RS2024_PT.pdf.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Sulfur Hexafluoride (SF6) Basics**. Washington, DC: EPA, 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/eps-partnership/sulfur-hexafluoride-sf6-basics>. Acesso em: 05 nov. 2025.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ (FIEP). **O que empresas perdem quando não olham para o ESG**. Curitiba: FIEP, 2025. <https://www.fiepr.org.br/central-de-informacoes/comunicacao-sesi-senai-e-iel/o-que-empresas-perdem-quando-nao-olham-para-o-esg-1-37872-488256.shtml>.

FERGÜTZ, M. **Transformadores para instrumentação**. UDESC, 2021. https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/TRANSFORMADORES_PAR_A_INSTRUMENTA__O_v7_21_17218272993066_9731.pdf

FIGUEIREDO, F. S. **Geração e transmissão de energia elétrica: um olhar pela sustentabilidade**. 2014. Monografia (Especialização em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Paraíba, 2014. <https://dspace.bc.uepb.edu.br/index.html>.

FLANDINET, L. *et al.* Metals recovering from waste printed circuit boards (WPCBs) using molten salts. **Journal of Hazardous Materials**, v. 213–214, p. 485–490, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.02.037>.

FRANCO, R. G. F.; BARROS, R. T. V. **Revisão das técnicas utilizadas na recuperação de metais em resíduos de placas de circuito impresso (RPCI)**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2016, Campina Grande: IBEAS, 2016. <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-047.pdf>.

GLOBECORE. **Regeneração de óleo de transformador**. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://globecore.com/pt/articles/regeneracao-oleo-transformador/>. Acesso em: 02 set. 2025.

GONG, Y. *et al.* Enhanced Desilication of High Alumina Fly Ash by Combining Physical and Chemical Activation. **Metals**, v. 9, n. 4, p. 411, 2019. <https://doi.org/10.3390/met9040411>.

GRANATO, A. C.; JUNIOR, S. L.; CURKAREVICZ, S. Regeneração de óleo isolante em transformador energizado de 138kV. In XIV Seminário Nacional De Distribuição De Energia Elétrica, 14, 2000, Foz do Iguaçu, **Anais** [...]. <https://l1nq.com/aPiOB>.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI). **The global standards for sustainability impacts**. Amsterdam: GRI, 2024. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL PARA A AGENDA 2030 (GTSCA). **Relatório Luz 2023: ODS e a Agenda 2030**. Brasília: GTSCA, 2023. <https://gtagenda2030.org.br/relatorio-luz/relatorio-luz-do-desenvolvimento-sustentavel-no-brasil-2023/>.

HASSANPOUR, M. Transformer Oil Generation and Regeneration Techniques Based on Recent Developments (A Review). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, 105432, 2021. <https://doi.org/10.15377/2409-787X.2021.08.2>.

HENISZ, W.; KOLLER, T.; NUTTALL, R. Five ways that ESG creates value. **McKinsey Quarterly**, 2019. <https://11nq.com/yi7n7>.

HURTADO, A. L. B. *et al.* Levantamento dos transformadores elétricos potencialmente contaminados por bifenilas policloradas em Joinville/SC. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 4, p. 1-15, 2012. <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/1383>.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA (IMA). **Sistema de Controle de Movimentação de Resíduos e de Rejeitos - MTR**. Florianópolis: IMA, 2024. Disponível em: <https://mtr.ima.sc.gov.br/>. Acesso em: 15 out. 2025.

IRENA; IEA-PVPS. **End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels**. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 2016. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 08 dez. 2025.

ISA CTEEP. **Relatório Anual 2024**. São Paulo: ISA CTEEP, 2024. <https://www.isaenergiabrasil.com.br/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade/#:~:text=Relat%C3%B3rio%20de%20Sustentabilidade%202024,em%20presarial%20%C3%A9tica%20respons%C3%A1vel%20e%20transparente>.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011.

https://www.researchgate.net/publication/262752608_Gestao_de_residuos_solidos_em_Sao_Paulo_desafios_da_sustentabilidade

KINDERMANN, G. **Curto-circuito**. 2. ed. Florianópolis: Ed. do Autor, 2003. <https://pt.slideshare.net/slideshow/curtocircuitogeraldo-kindermannpdf/252573946>

KNIESS, C. T. et al. Utilização do resíduo resultante da combustão de carvão mineral em usinas termelétricas na produção de novos materiais: uma análise a partir de artigos científicos e de patentes. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 13, p. 76-93, 2019.

LENZI, E. **Influência do uso de cinzas da combustão de carvão mineral em argamassas de revestimento**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/79747>.

LIU, Q. *et al.* Effect of oil regeneration on improving paper conditions in a distribution transformer. **Energies**, v. 12, n. 9, p. 1623, 2019. <https://doi.org/10.3390/en12091665>

LIU, P.; BARLOW, C. Y. **Wind turbine blade waste in 2050**. *Waste Management*, v. 62, p. 229-240, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.007>.

MACHADO, C.M.; SILVA, M.L.; CALGARO, C.O.; Bertuol, d.a.; **Aplicação de tiourea na lixiviação seletiva de ouro proveniente de processadores**, p. 701-706. In: X Congresso Brasileiro de Engenharia Química. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobec-ic-06-em-110

MAIA, R. *et al.* Assessment of the waste management reporting in the electricity sector. **Cleaner and Responsible Consumption**, v. 3, 100033, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2021.100031>

MATIAS, H. T. **Estudo da sustentabilidade na geração de energia elétrica por usina termelétrica a carvão mineral**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia

de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo.
<https://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/1753>

MEDEIROS, C. **Introdução ao Estudo de Sistemas Elétricos de Potência**. Florianópolis: Eletrobras Eletrosul, 2017.

MEDEIROS, D. D. et al. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Production**, v. 17, n. 1, p. 109-128, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132007000100008>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Contratos de Concessão e Permissão**. Brasília: MME, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MORAIS, L. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento do consumo de óleo isolante em fábrica de transformadores de distribuição**. 2023. Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2023.

MORGAN STANLEY CAPITAL INTERNATIONAL (MSCI). **Sustainability Solutions**. New York: MSCI, 2024. Disponível em: <https://www.msci.com/data-and-analytics/sustainability-solutions>. Acesso em: 21 nov. 2025.

MUTZ, D.; HENGEVOSS, D.; GROSS, C. **Opções em Waste-to-Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Um Guia para Tomadores de Decisão em Países Emergentes ou em Desenvolvimento**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2017. <https://acesse.one/BZPVw>.

NEOENERGIA. **Relatório Integrado 2024**. Rio de Janeiro: Neoenergia, 2024. <https://www.neoenergia.com/relatorio-anual-de-sustentabilidade>.

NEXTERA ENERGY. **Environmental, Social and Governance Report 2024**. Juno Beach: NextEra Energy, 2024. <https://www.investor.nexteraenergy.com/sustainability/sustainability-resources>.

NOSCHANG KUNZ, E. *et al.* **Sustentabilidade no processo de logística reversa de transformadores de distribuição de energia elétrica da AES Sul.** In: 3º FÓRUM INTERNACIONAL ECOINNOVAR, 11., 2014, Santa Maria, 2014.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **O ONS.** Rio de Janeiro: ONS, 2024. Disponível em: <http://www.ons.org.br>. Acesso em: 25 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Brasília: ONU Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Sustainable Development Goal 7: Energia limpa e acessível.** New York: ONU, 2024. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals/goal7>. Acesso em: 10 abr. 2025.

PANUNZIO, P. A. **Energia Elétrica: Conceitos Básicos.** São Paulo: Ed. do Autor, Escola de Engenharia de Lorena, USP, 2014.

PARLAMENTO EUROPEU. **Economia circular: definição, importância e benefícios.** 2024. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu>. Acesso em 09 dez. 2025.

PENTEADO, J. C. P.; VAZ, J. M. O legado das bifenilas policloradas (PCBs). **Química Nova**, v. 24, n. 3, p. 390-398, 2001. <https://www.scielo.br/j/qn/a/65sZDWHF68s9RQKtYskvVBB/?format=pdf&lang=pt>.

PEREIRA, N. *et al.* Relatórios de sustentabilidade: ferramenta de interface no desempenho social, econômico e ambiental das organizações. **Revista de Auditoria Governança e Contabilidade**, v. 3 n. 5 RAGC, 2015.

PRADHAN, P. *et al.* A Systematic Study of Sustainable Development Goal (SDG) Interactions. **Earth's Future**, v. 5, n. 11, p. 1169–1179, 2017. <https://doi.org/10.1002/2017EF000632>

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Environmental agreements and cleaner production**. Paris: UNEP, 2007. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/environmental-agreements-and-cleaner-production>. Acesso em: 05 maio 2025.

REN21. **The 2023 Renewables Global Status Report points to major opportunities for renewables in the transport sector**. 2023 <https://sl1nk.com/0DN2d>.

ROBALINHO, E.; ALEGRE, P. Célula a combustível tipo PEMFC: energia renovável e eficiente. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 2, p. 448-462, 2021. <https://sl1nk.com/LGoWB>

ROUHI, K. *et al.* Towards sustainable electricity generation: Evaluating carbon footprint in waste-to-energy plants for environmental mitigation in Iran. **Energy Reports**, v. 11, p. 2623–2632, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.02.017>

SANETRAN. **Tudo sobre Waste-to-Energy (WtE)**: Entenda como essa tecnologia transforma resíduos em energia. Curitiba: Sanetran, 2024. Disponível em: <https://sanetran.com.br/blog/waste-to-energy/>. Acesso em: 08 set. 2025.

SATHISH, T. *et al.* Waste to fuel: Pyrolysis of waste transformer oil and its evaluation as alternative fuel along with different nanoparticles in CI engine with exhaust gas recirculation. **Energy**, v. 267, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126595>.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa**. Brasília: SEBRAE/DIEESE, 2013. https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Como implementar a produção mais limpa na sua empresa**. Brasília: SEBRAE, 2018. <https://sl1nk.com/traON>

SILVA FILHO, J. C. G. *et al.* Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Production**, v. 17, n. 1, p. 109–128, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132007000100008>

SILVA, A. C. **Sistemas Elétricos de Potência e Proteção de Linhas de Transmissão**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2938/1/MONOGRAFIA_SistemasEl%C3%A9tricosPot%C3%Aancia.pdf

SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sob o enfoque da Produção Mais Limpa**. 2011. Dissertação de mestrado para título de mestre em hidráulica e saneamento – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13072011-100539/publico/simiao.pdf>

SINGH, M.; SIDDIQUE, R. Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on properties of concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 20–32, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.006>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS (SNIRH). **Mapa interativo empreendimentos hidrelétricos**. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SLUNGE, D. *et al.* The implementation of the substitution principle in European chemical legislation: a comparative analysis. **Environmental Sciences Europe**, v. 35, n. 1, p. 107, 2023. https://www.researchgate.net/publication/376236037_The_implementation_of_the_substitution_principle_in_European_chemical_legislation_a_comparative_analysis

SOUZA, J. F. T. *et al.* Usinas nucleares no Brasil e a importância das normas reguladoras para um gerenciamento eficaz e a segurança da sociedade. **Revista Conexão Ciência**, v. 14, n. 2, p. 55-66, 2019. <https://doi.org/10.24862/cco.v20i3.2063>

STATKRAFT BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. Florianópolis: Statkraft, 2024. <https://www.statkraft.com.br/sustentabilidade/relatorios/>.

STAUDT, T. **Estudo de transformadores de corrente utilizados em instrumentação**. 2011. Dissertação de mestrado (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92359?show=full>

STOY, L.; KULKARNI, Y.; HUANG, C.-H. Optimization of Iron Removal in the Recovery of Rare-Earth Elements from Coal Fly Ash Using a Recyclable Ionic Liquid. **Environmental Science & Technology**, v. 56, n. 8, p. 5150–5160, 2022. DOI: 10.1021/acs.est.1c08552

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL (STF). **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do STF**. Brasília: STF, 2021. Disponível em: <https://www.stf.jus.br>. Acesso em: 30 out. 2025.

TERA AMBIENTAL. **Qual é a importância do inventário de resíduos para as empresas**. [S.I.], 2019. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog/>. Acesso em: 15 set. 2025.

TIAN, X. et al. Recovery of valuable elements from coal fly ash: A review. **Environmental Research**, v. 282, 121928, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121928>.

TIWARI, P. et al. Hazardous effects of waste transformer oil and its prevention: A review. **Next Sustainability**, v. 3, 100026, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100026>.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). **O Sistema Elétrico**. São Paulo: USP, 2025. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840834/59/SistemaEletrico1.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2025.

UVESP. **Barueri será pioneira na América Latina com usina que transforma lixo em energia**. São Paulo: UVESP, 2014. Disponível em: <https://uvesp.com.br/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

VEERARAGHAVAN, S. et al. Optimized injection strategy for hydrogen-waste transformer oil biodiesel dual-fuel engines: A novel waste-to-energy solution towards environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 202, 107749, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107749>.

VU, H. P.; MULLIGAN, C. N. An Overview on the Treatment of Oil Pollutants in Soil Using Synthetic and Biological Surfactant Foam and Nanoparticles. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, 1916, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms24031916>.

WANG, M. *et al.* Efficient remediation of crude oil-contaminated soil using a solvent/surfactant system. **RSC Advances**, v. 9, n. 5, p. 2402–2411, 2019. <https://doi.org/10.1039/C8RA09964B>

XISTO, R.; MENEZES JUNIOR, M. Q.; DELUQUE, J. V. V. Plano de gerenciamento de resíduos sólidos em uma empresa do setor elétrico. **Cadernos UniFOA**, v. 17, n. 49, p. 61–73, 2022. <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v17.n49.3910>

YUHARA, C. H. **Supressão de vegetação para implantação de linhas de transmissão no estado de São Paulo nos anos de 2013 e 2014**. 2015. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. <https://acesse.one/nA3H2>

ZANON, B. E. M. **O conceito de energia elétrica**: uma UEPS desenvolvida no contexto das metodologias STEAM. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020. http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/6216/1/Bruna%20Eloiza%20Moreira%20Zanon_2020.pdf.

APÊNDICE A – PERGUNTAS DO QUESTIONÁRIO

25/11/25, 01:08

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

Introdução

Este questionário integra um TCC em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFSC, cujo objetivo é identificar a aplicação de técnicas de Produção Mais Limpa (P+L) na gestão de resíduos sólidos do setor elétrico nacional.

O intuito é identificar estratégias de gestão e soluções técnicas que contribuam para otimizar a eficiência ambiental da operação no setor elétrico, promovendo processos mais sustentáveis e economicamente viáveis.

- Como forma de reconhecimento, **todas as empresas participantes até o dia 24/11** receberão os resultados consolidados da pesquisa, acompanhados de **recomendações de técnicas e boas práticas de P+L** adequadas ao porte e à natureza de suas atividades. Essas informações poderão, inclusive, **ser incorporadas aos relatórios de conformidade ambiental e de sustentabilidade** como evidência de engajamento institucional com práticas de melhoria contínua.

Caso a empresa não disponha de tempo hábil para responder integralmente ao formulário, **o envio do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)** já representará uma contribuição significativa para esta pesquisa.

Todas as informações fornecidas serão para fins acadêmicos, e o **nome da empresa poderá ser omitido na versão final do trabalho**, conforme preferência.

Agradeço antecipadamente pela colaboração e pela contribuição ao avanço do conhecimento sobre sustentabilidade no setor elétrico.

Bloco 1 – Identificação da Empresa

Dados básicos

1. Nome da empresa

25/11/25, 01:08

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

2. O nome necessita ser mantido em anonimato na publicação do TCC?*Marcar apenas uma oval.* Sim Não**3. Atuação da empresa
pode marcar mais de uma opção***Marque todas que se aplicam.* Geração Transmissão Distribuição Comercialização Outro: _____**4. Porte da empresa
critério IBGE: nº de empregados – setor industrial***Marcar apenas uma oval.* Grande (\geq 500 funcionários) Médio (100 a 499 funcionários) Pequeno (< 99 funcionários)**Bloco 2 – Resíduos Gerados**

25/11/25, 01:08

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

5. **Quais são os principais tipos de resíduos sólidos gerados anualmente na operação da empresa?**

(assinale os 3 mais presentes):

Marque todas que se aplicam.

- Resíduos metálicos (ex: cabos, sucata de cobre/alumínio)
- Resíduos oleosos (ex: óleos isolantes, estopas contaminadas com óleo)
- Baterias e acumuladores
- Lâmpadas fluorescentes e LEDs
- Resíduos de madeira ou poda (ex: pallets, estruturas, galhos)
- Cinzas de termelétricas ou biomassa
- Resíduos de escritório (ex: papel, plástico, recicláveis)
- Outro: _____

6. **A empresa possui inventário ou banco de dados atualizado sobre a geração de resíduos?**

Marcar apenas uma oval.

- Sim, atualizado periodicamente
- Sim, mas não atualizado periodicamente
- Não possui
- Outro: _____

7. Caso a resposta seja sim, especificar o método de controle (ex: Excel, IGS, etc.)

Bloco 3 – Gestão de Resíduos

8. **Há na empresa um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)?**

Marcar apenas uma oval.

- Sim, implantado e ativo
- Sim, mas em revisão ou sem aplicação efetiva
- Não possui

25/11/25, 01:08

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

9. Se a resposta anterior for “sim”, por favor envie o PGRS no campo abaixo.

Arquivos enviados:

10. **Há na empresa algum equipamento em circulação contendo PCB?**

PCBs (bifenilas policloradas) são compostos químicos sintéticos presentes principalmente em óleos isolantes de transformadores, capacitores e equipamentos elétricos devido à sua estabilidade térmica e resistência à degradação. Entretanto, são altamente tóxicos e persistentes no meio ambiente.

Marcar apenas uma oval.

- Não, já foram todos substituídos
- Não, porém ainda há algum equipamento armazenado contendo PCB ou traços
- Sim, ainda há equipamentos em uso contendo PCB

11. **A empresa possui parcerias ou contratos de logística reversa para resíduos perigosos (ex.: lâmpadas, baterias, EPIs)?**

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

Bloco 4 – Produção Mais Limpa (P+L)

“Produção Mais Limpa (P+L) é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada a processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência geral e reduzir os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente.” (PNUMA, 2007)

As ações P+L caminham em direção ao desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável, otimizando o uso de matérias primas, e atuando não somente com ações corretivas, mas também preventivas, de modo a evitar a poluição antes que a mesma ocorra.

25/11/25, 01:08

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

12. **Quais medidas condizentes com as práticas P+L já foram adotadas pela empresa?**

pode assinalar mais de uma:

Marque todas que se aplicam.

- Redução na fonte (exemplo: substituição de insumos menos poluentes)
- Reúso de materiais (exemplo: recuperação e reutilização de óleo isolante, alienação de produtos que serão insumos em outras indústrias)
- Reciclagem de materiais (exemplo: cabos, metais, plásticos)
- Processos de logística reversa (exemplo: baterias, lâmpadas, cruzetas de madeira)
- Substituição de materiais por alternativas mais sustentáveis (exemplo: postes compostos recicláveis)
- Monitoramento de indicadores ambientais (exemplo: kg resíduo/MWh, % reciclado, % coprocessado)
- Programas internos de educação ambiental / treinamento de equipes
- Certificações ambientais (exemplo: ISO 14001, ISO 50001, Selo ANEEL etc.)
- Outro: _____

13. **Existem barreiras identificadas para ampliar a adoção de P+L?**

Selecione até três opções

Marque todas que se aplicam.

- Custos elevados de implantação
- Falta de fornecedores especializados ou tecnologia disponível
- Falta de mão de obra capacitada
- Limitações regulatórias e burocráticas
- Resistência cultural ou institucional
- Falta de incentivos governamentais
- Falta de conhecimento de estratégias possíveis
- Outro: _____

25/11/25, 01:08

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

14. **Na sua visão, quais benefícios mais se destacam com a P+L aplicada à gestão de resíduos?**

Selecione até 3 opções

Marque todas que se aplicam.

- Redução de custos operacionais
- Conformidade legal e redução de riscos
- Melhoria de imagem institucional
- Redução de impactos ambientais e emissões
- Inovação tecnológica e competitividade
- Acesso a linhas de crédito / financiamentos sustentáveis
- Outro: _____

Bloco 5 – Perguntas Abertas

Este último bloco permite que você discorra sobre a perspectiva da empresa acerca de algumas questões do tema.

15. Cite um exemplo de boa prática em gestão de resíduos adotada pela empresa que poderia ser replicado no setor.

16. Na sua opinião, quais são os maiores desafios para implantar estratégias P+L no setor elétrico?

25/11/25, 01:08

Questionário: Produção Mais Limpa no Setor Elétrico

17. Que recomendações faria para fortalecer a gestão sustentável de resíduos no setor?

18. Como a empresa enxerga a relação das suas práticas com o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), Especialmente com os ODS 7 (energia limpa e acessível), 12 (consumo e produção responsáveis), e 13 (ações contra a mudança global do clima)?

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários