



# ANÁLISE DA EFETIVIDADE AMBIENTAL DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS APLICADA A ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Jucimara Cardoso da Silva <sup>1</sup>  
Nigério dos Santos Sousa <sup>2</sup>  
Osires de Medeiros Melo Neto <sup>3</sup>  
Amanda Jéssica Rodrigues da Silva <sup>4</sup>

## RESUMO

As cinzas volantes produzidas como resíduo de usinas termelétricas podem gerar grandes riscos ambientais, como: causar poluição no ar, nas águas superficiais e subterrâneas quando não se tem um correto e adequado plano de destinação residual. Entretanto, o adequado tratamento deste resíduo pode proporcionar um desenvolvimento ambientalmente sustentável e com grande potencial de desenvolvimento socioeconômico da região de instalação das termelétricas e sobretudo, o avanço da engenharia geotécnica com ênfase na sustentabilidade. O presente trabalho, tem por objetivo avaliar a efetividade ambiental da Política Nacional de Resíduo Sólido (PNRS) por meio de um estudo de caso do relatório de impacto ambiental da Termelétrica de Viana, de modo a mostrar a eficiência do uso da cinza volante como aditivo a ser usado no melhoramento de solo. Ao relacionar as exigências da PNRS com as ações mitigadoras dos impactos negativos, bem como com as ações potencializadoras dos impactos positivos gerados pela implementação da usina de termelétrica no Município de Viana - ES pode-se concluir que essa política apresenta grande potencial de efetividade ambiental e ainda, que tanto a gestão do empreendimento como a técnica avaliada apresentam governança perante os oito princípios de Ostrom.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento, sustentabilidade, engenharia geotécnica, melhoramento de solo e sistemas de governança.

## INTRODUÇÃO

O cenário mundial apresenta-se em desenvolvimento socioeconômico crescente, que por sua vez, tem desencadeado um aumento bastante significativo no número de construções de edificações. Arelado a este desenvolvimento têm-se segundo Cardoso (2013) os problemas relacionados com desigualdade social, pobreza e ainda, as mudanças climáticas que vêm colocando o atual sistema de desenvolvimento em debate, e aumentando a necessidade de definir e caminhar para um desenvolvimento sustentável, ou seja que atenda

---

<sup>1</sup> Mestranda do Curso de **Engenharia Civil e Ambiental** da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, jucimara.engenhariacivil@gmail.com;

<sup>2</sup> Mestrando do Curso de **Ciência e Engenharia de Materiais** da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, nigeriocbm@gmail.com;

<sup>3</sup> Mestrando do Curso de **Engenharia Civil e Ambiental** da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, osiresdemedeiros@gmail.com;

<sup>4</sup> Mestranda do Curso de **Engenharia Civil e Ambiental** da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, amanda.jessica25@hotmail.com;



aos critérios para o uso racional do patrimônio natural e não gere desigualdades sociais. Segundo o relatório de Brundtland (1987), o desenvolvimento sustentável “ é aquele que atende as necessidades da geração presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”

Thomé *et al.* (2005) e Consoli *et al.* (2009) diz que em muitos países, desenvolvimentos urbanos e industriais ocorrem em terrenos onde os solos subjacentes são solos residuais fracamente ligados com altas proporções de vazios. Assim, em terrenos de baixa capacidade de suporte, tem-se como opção melhorar o comportamento estrutural do solo através da estabilização química. O processo de estabilização química consiste em adicionar ao solo materiais com características químicas específicas, como por exemplo, o cimento, a cal e/ou a cinza volante, com a finalidade de conferir ao solo elevada resistência e durabilidade, de modo a torná-lo ideal para ser usado nas diversas obras de engenharia civil.

As cinzas volantes produzidas por usinas termelétricas podem gerar grandes riscos ambientais, como: causar poluição no ar, nas águas superficiais e subterrâneas quando não se tem um correto e adequado plano de destinação residual. Indiramma *et. al* (2019) afirma que nos países desenvolvidos, mais de 80% de cinzas volantes são utilizadas na fabricação de tijolos, concreto celular blocos, construção de estradas, aplicação de aterros, cerâmica, tijolos isolantes, recuperação de metais e construções de barragens. Enquanto nos países subdesenvolvidos, apenas cerca de 10% de cinzas estão sendo utilizadas em vários segmentos como cimento, produtos de cimento amianto e fabricação de concreto indústrias, desenvolvimento da terra, aterro rodoviário, produtos para construção como tijolos / ladrilhos / blocos, recuperação de mina de carvão e fonte de micro e macro nutrientes na agricultura.

Assim, pode-se destacar que o melhoramento de solo com uso de cinzas volantes apresenta diversas vantagens dentro do contexto de sustentabilidade, dentre elas pode-se citar: uma redução de custos com transporte do solo escavado, pois parte do material de escavação pode ser aproveitado no próprio serviço. Com isso, há uma redução de poluentes emitidos para atmosfera pela frota de equipamentos de movimentação de terra; diminuição da degradação ambiental, visto que a quantidade de áreas destinada ao expurgo será reduzida acarretando menores desmatamento para tal finalidade, bem como abertura de valas para disposição do material retirado do local da obra e sobretudo, pelo grande potencial de desenvolvimento sustentável que as cinzas apresentam para os países em desenvolvimento.

Lambe e Whitman (1979) já afirmavam a décadas atrás que a sustentabilidade se tornaria uma grande preocupação para a indústria da construção e seus subsetores, isso inclui



engenharia geotécnica, que se concentra no projeto de terraplenagem (aterros, diques, canais, reservatórios), fundações, muros de arrimo e subgrades de pavimentos necessário para grandes projetos de construção e infraestrutura.

De acordo com Rocha *et.al* (2016) a engenharia geotécnica é responsável por uma parcela considerável do impacto ambiental em projetos de infraestrutura e construção. Como resultado, a sustentabilidade está se tornando cada vez mais um tópico de pesquisa importante nessa área. Portanto, é de fundamental importância a aplicação dos instrumentos de mitigação dos impactos ambientais nas obras de engenharia. No âmbito nacional, o licenciamento e a AIA foram definidos como dois dos principais instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente através da Lei nº 6.938/81. Esses instrumentos têm sido regulados e implementados por um crescente quadro legal e institucional.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar o potencial de desenvolvimento sustentável da técnica de estabilização química fazendo uso da análise de efetividade ambiental da Política Nacional de resíduos sólidos e do SSE de melhoramento de solo, com ênfase no uso do cinza volante como aditivo para a estabilização dos solos.

#### Estudo de Caso

O estudo de caso deste trabalho tem por finalidade avaliar o relatório técnico de impacto ambiental da Usina Termelétrica Viana (CPM RT 513/07) no município de Viana, estado do Espírito Santo. Neste relatório, é possível encontrar informações e dados que permitem compreender o projeto, os impactos positivos e negativos que poderá gerar no meio ambiente e na sociedade, assim como as medidas já previstas para potencializar os impactos positivos e minimizar os negativos.

O relatório de impacto ambiental do empreendimento objeto de estudo dessa pesquisa ressalta que, a implantação do empreendimento é compatível com o Plano Diretor do Município de Viana, assim como com o plano estratégico de desenvolvimento local desta cidade.

#### **METODOLOGIA**

A metodologia deste trabalho foi dividida basicamente em três passos, descritos a seguir:

**1º Passo:** Usar a análise de efetividade ambiental para avaliar as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei 12.305/2010) referentes a destinação adequada dos resíduos sólidos, com ênfase no uso, destinação e implementação de ações no resíduo

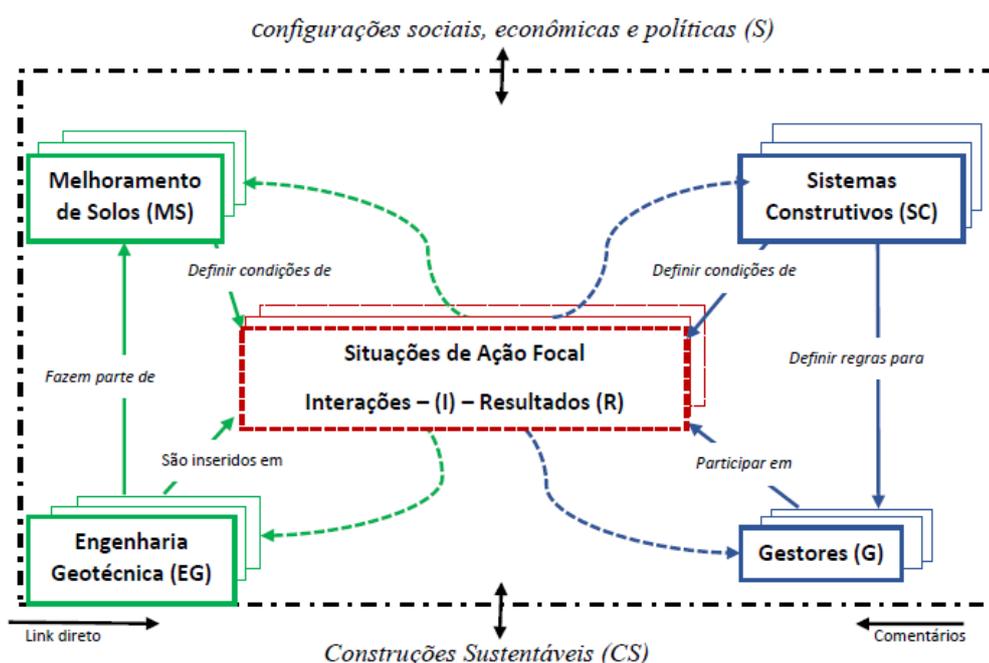


produzido pela termelétrica de carvão mineral, a cinza volante. Para isso, será buscado na literatura os planos de ações feitos por termelétricas para destinação adequada do cinza volante e para explanar os resultados será traçado um diagrama em forma de mapa mental com determinada exigência da política e quais as ações realizadas pelas empresas está ligada aquela exigência.

**2º Passo:** A partir das abordagens da PNRS será definida as variáveis do SSE do melhoramento de solo, explanado no diagrama da Figura 1. Para isso, será traçada uma tabela com duas colunas, sendo a primeira referente as variáveis de 1º nível, já expostas no diagrama, e a segunda coluna explanando as variáveis de segundo nível, definidas a partir da importância das variáveis de 1º nível, sendo essas variáveis resultados da abordagem do estudo de caso dentro da temática do melhoramento de solo com uso de resíduos de termelétricas e da relevância das construções geotécnicas com ênfase no desenvolvimento sustentável.

**3º Passo:** Ostrom (1999) afirma que, se os oito princípios institucionais, também chamados de princípios de governança, forem atendidos em uma determinada gestão de recursos existe ali uma boa governança. Portanto, por fim, será avaliado a existência dos princípios institucionais de Ostrom na análise da efetividade da PNRS ligada a gestão da termelétrica de Viana.

Figura 1: SSE do Melhoramento dos Solos



Fonte: Autores (2020)



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Análise de efetividade ambiental da Política Nacional de Resíduos Sólidos**

- **Apontamentos da PNRS em relação aos resíduos sólidos industriais**

A partir da PNRS, Lei 12.305/2010, especificamente parágrafo II, artigo 6º e 7º, que trata dos princípios e objetivos deste instrumento, foram selecionados oito itens dentre princípios e objetivos que melhor se enquadram a aplicação do desenvolvimento do empreendimento de termelétricas de carvão mineral, responsáveis hoje pela produção em alta escala de resíduos de cinza volante, sendo estes os seguintes:

- 1- A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- 2- O desenvolvimento sustentável;
- 3- O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;
- 4- O direito da sociedade à informação e ao controle social;
- 5- Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- 6- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- 7- Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- 8- Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

- **Apontamentos dos impactos ambientais causados pela termelétrica Viana**

O relatório técnico de impacto ambiental da Termelétrica de Viana (CPM RT 513/07), aponta os impactos ambientais causados pelo empreendimento, bem como determina ações mitigadoras para os impactos negativos e ações potencializadas para os impactos positivos.

Conforme, este documento o empreendimento causou impactos sociais, econômicos além dos impactos ambientais como por exemplo: alterações físicas, bióticas, mudanças no lençol freático e ainda possíveis contaminações química do solo pelos resíduos industriais e poluição do ar pela emissão de gases, oriundos da fase de instalação, implementação e principalmente na fase de operação onde a cinza volante é emitida pela queima do carvão mineral durante a produção de energia elétrica.

O relatório de impacto ambiental do empreendimento objeto de estudo dessa pesquisa ressalta que, as emissões de gases oriundos dos escapamentos de veículos e máquinas que irão trabalhar nas obras na fase de instalação também poderão contribuir para a alteração da qualidade do ar da área interna do empreendimento e nas vizinhanças.



○ **Construção do mental com exigências da PNRS *versus* ações implementadas pelas termelétricas**

Como já informado na metodologia o mapa mental irá cruzar as exigências da PNRS as ações realizadas pela Termelétrica para cumprir tais exigência da política.

Nos itens anteriores pode-se observar quais são as exigências apontadas dentro da política que se aplicam ao empreendimento analisado, bem como a partir da consulta do documento de impacto ambiental desse empreendimento pode-se definir quais são os impactos causados e assim, a partir do mapa a seguir (Figura 2.1 e Figura 2.2) pode-se identificar quais as ações do empreendimento para mitigar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos a partir de alguns pontos relevantes da política retirados a partir dos princípios e objetivos da PNRS explanados anteriormente.

**Quadro 1: Mapa Mental mostrando quais as exigências da PNRS foram atendidas, bem como a forma de atendimento destas.**

<b>Exigências da PNRS</b>	<b>Ações do empreendimento</b>
Visão sistêmica, na gestão de resíduos sólidos	Serão privilegiadas as contratações de mão-de-obra e de serviços junto a moradores e empresas localizadas nas áreas de influência.
	Controle de velocidade dos veículos.
	Promover o treinamento da mão-de-obra responsável pelo manejo de resíduos da unidade industrial.
Desenvolvimento Sustentável	Implantar um plano de gerenciamento de resíduos.
	O prognóstico dos impactos sobre os recursos atmosféricos na fase de operação irá traçar o que será provável de acontecer no futuro, quando a Termelétrica Viana estiver em operação no ano todo.
	Simulação para determinar os locais onde as concentrações dos poluentes atmosféricos atingissem os maiores valores, comparando-os com os padrões ambientais estabelecidos na Resolução CONAMA N.º 003/90.
	Implementação de um programa de coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos a partir da etapa de implantação do empreendimento.
	Desenvolver um Programa de Comunicação Social que seja adequado ao público-alvo a ser atingido e que esteja bem enquadrado dentro do perfil do empreendimento. Esse programa irá considerar as visões e expectativas existentes



Direito da sociedade à informação e ao controle social	na região acerca do empreendimento, visando dissipar dúvidas e promover uma aproximação do empreendedor com a comunidade em geral.
	Informar à população, através do Programa de Comunicação Social, da intenção por parte da empresa de priorizar a contratação do pessoal local para a fase de Instalação do projeto.
	Realizar reuniões com a comunidade, o poder público e entidades locais para esclarecimentos necessários, objetivando dissipar as expectativas exacerbadas, explicando, de forma didática os potenciais impactos do empreendimento.
Qualidade Ambiental	Implantação de programa de Educação ambiental aos trabalhadores, abordando tópicos como a importância da preservação do meio ambiente, a fauna e a flora.

Fonte: Autores (2020)

- **Detalhamento do SSE**

As variáveis de segundo nível do SSE referente ao melhoramento do solo foram definidas com base na relevância da pesquisa, bem como a partir dos princípios, diretrizes e objetivos da PNRS e, ainda por meio da análise do relatório de impacto ambiental da termelétrica de Viana, onde pode-se constatar que as medidas mitigadoras das ações negativas geradas por esse empreendimento e as medidas potenciais das ações positivas do empreendimento atendem as exigências da política. E assim pode-se definir que a PNRS está cumprindo a sua efetividade ambiental junto ao desenvolvimento sustentável de empreendimento da termelétrica.

**Tabela 1. Variáveis de primeira e segunda camada do SSE do melhoramento de solo.**

<b>Variável de primeira camada</b>	<b>Variáveis de segunda camada</b>
Configurações sociais, econômicas e políticas (S)	S1 - Desenvolvimento econômico das regiões periféricas.
	S2 - Desenvolvimento de novos métodos construtivos para a construção civil.
	S3 – Melhores Condições habitacionais para a população subdesenvolvida.
	S4 – Maior desenvolvimento de Projetos Políticos e sociais.
Melhoramento de Solos (MS)	MS1 - Solo melhorado com adição de cal e cinza



---

	volante.
Sistemas Construtivos (SC)	SC1 – Camadas de sub-base com espessura otimizada para obras de edificações, terraplenagem e pavimentação. SC2 – Fundações superficiais assente em solo melhorado com aglomerantes ao invés de fundações profundas.
Engenharia Geotécnica (EG)	EG1- Construções geotécnicas eficientes, que façam uso de cinza volante para melhorar o comportamento estrutural do solo e assim, permitir a gestão adequada dos resíduos de termelétricas e assim, garantir o desenvolvimento sustentável da engenharia geotécnica
Gestores (G)	G1- Responsáveis pela implementação e gestão das termelétricas.
Situações de ação: Interações (I) → Resultados (O)	
Construções Sustentáveis (CS)	CS1 - Redução do uso de equipamentos de movimentação de terra e conseqüentemente, diminuição de poluentes para a atmosfera. CS2 - Uso de materiais antes descartados na natureza como aditivo do solo, (por exemplo: cinza volante, cinza de casca de arroz e resíduos cerâmicos). CS3 – Construções mais eficientes economicamente, socialmente e com foco total na preservação ambiental.

---

**Fonte: Adaptado de Ostrom (2009: 421).**

- **Princípios de Governança**

A partir do estudo de caso desenvolvido, pode-se afirmar que houve total cumprimento dos princípios de Ostrom (1999) ao se avaliar a efetividade da PNRS ligada ao relatório de impacto ambiental da termelétrica de Viana. E assim, pode atestar que existe governança na gestão do empreendimento e, portanto, que o resíduo da termelétrica, no caso a



cinza volante, pode sim, ser usado como aditivo para melhoramento dos solos problemáticos da engenharia geotécnica e assim, garantir o desenvolvimento sustentável dentro das obras civis, desde que haja governança por parte dos produtores do resíduo, bem como pelos responsáveis por desenvolver a técnica dentro da obra.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise de efetividade ambiental da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) realizada a partir do estudo de caso, do relatório de impacto ambiental da termelétrica de Viana ligada aos princípios e objetivos desta política, pode-se concluir que essa política apresenta grande potencial de efetividade como instrumento de desenvolvimento ambientalmente correto e sustentável, sendo as exigências atendidas de maneira satisfatória.

É de fundamental importância relatar que tal atividade desenvolvida, bem como o estudo de caso realizado atende a todos os princípios de governança estabelecidos por Ostrom (1999) e, portanto, que a gestão do empreendimento apresenta governança dos seus recursos e a análise de efetividade da PNRS é de fato um trabalho satisfatório. E assim, visto que o principal resíduo das termelétricas é a cinza volante pode-se afirmar que usar a cinza volante como aditivo para a estabilização do solo é uma alternativa viável, pois tal atividade classifica como uma destinação correta e adequada para o resíduo de modo, a minimizar os impactos ambientais gerados.

De maneira geral, a partir dos estudos desenvolvidos e consultados para realização deste trabalho pode-se afirmar que, a estabilização do solo apresenta grande potencial de desenvolvimento socioeconômico, pois permite o tratamento de solos problemáticos, como por exemplo o solo expansivo. E assim, será possível desenvolver e viabilizar construções em regiões com baixa capacidade de suporte, promovendo a sustentabilidade das técnicas da engenharia geotécnica a partir do uso de resíduo de termelétrica.



## REFERÊNCIAS

BRUNDTLAND, Gro Harlem — “Our Common Future – The World Commission on Environment and Development” – Oxford University, Oxford University Press, 1987.

CARDOSO, Bruno Oliveira. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo: uma proposta metodológica e de modelo conceitual**. 2013. 253 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Campinas, 2013.

CONSOLI, N. C. *et al.* **Circular-Plate Load Tests on Bounded Cemented Layers above Weak Cohesive-Frictional Soil**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 135, n. 12, p. 1846–1856, 2019.

CONSOLI, N. C. *et al.* **Plate Load Tests on Cemented Soil Layers Overlaying Weaker Soil**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 135, n. 12, p. 1846–1856, 2009.

DANCETTE, R. *et al.* **The Actor in 4 dimensions: A relevant methodology to analyse local environmental governance and inform Ostrom’s social-ecological systems framework**. Published by Elsevier B.V.

LAMBE, T.W.; WHITMAN, R. V. (1979). *Soil Mechanics*. John Wiley.

LTDA, Serviços de Consultoria em Meio Ambiente. **RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL DA TERMELÉTRICA DE VIANA**: relatório técnico. Viana: Cepemar, 2007

OSTROM, Elinor (1999): Design principles and threats to sustainable organizations that manage commons, Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental.

OSTROM, E. *Social-Ecological System Framework: Initial Changes and Continuing Challenges*. Ecology and Society 19(2): 30, 2014.

NDIRAMMA, P.; SUDHARANI, Ch.; NEEDHIDASAN, S. Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment – An experimental study. **Materials Today: Proceedings**. India. 2019

\_\_\_\_\_. Política Nacional do Meio Ambiente, **Lei 6.938**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 de agosto de 1981.

\_\_\_\_\_. Política Nacional de Resíduos Sólidos, **Lei 12.305**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010.

ROCHA, Cecília Gravina da; PASSUELLO, Ana; CONSOLI, Nilo Cesar; SAMANIEGO, Rubén Alejandro Quiñónez; KANAZAWA, Néstor Masamune. Life cycle assessment for soil



stabilization dosages: a study for the 1 Paraguayan Chaco. **Journal Of Cleaner Production**. Paraguayan Chaco . 2016.

THOMÉ, A. *et al.* **Circular footings on a cemented layer above weak foundation soil**. Canadian Geotechnical Journal, v. 42, n. 6, p. 1569–1584, 2005.

The Royal Swedish Academy of Sciences (2009): Economic governance: the organization of cooperation, The Prize in Economic Sciences

WERTHMANN, C. in this issue. **What makes institutional crafting successful? Applying the SES to case studies from India and the greater Mekong Region.**