

**Alerta sobre a necessidade da utilização das cinzas provenientes de termoelétricas, visando minimizar sérios problemas no equilíbrio do ecossistema ambiental.**

**(Alert on the need for the use of ash from thermoelectric plants, aiming to minimize serious problems in balance of the environmental ecosystem.)**

J. V. Nardi

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis - SC, 88020-300.

nardijv@gmail.com

**RESUMO**

*Nas usinas termoelétricas as cinzas provenientes da queima do carvão vapor são agentes poluidores do meio ambiente. Ao serem depositadas nas bacias de decantação contaminam o solo e aquíferos subterrâneos, e as lançadas pelas chaminés contaminam o ar atmosférico.*

*Prevê-se que no final de 2.020 as cinzas não utilizadas e lançadas ao meio ambiente vão extrapolar a casa dos 5 milhões de toneladas anuais. Inúmeros trabalhos comprovam a eficiência da cinza volante na formação de conglomerados com elevada rigidez mecânica. Esses resultados ratificam ser propícia essa linha de pesquisa, na tentativa de utilização de grande tonelagem de cinza volante na construção rodoviária, levando em consideração estar na região sul do Brasil o maior parque termelétrico da América Latina e que as quantidades de materiais utilizadas na construção de camadas de pavimentos atingem a cifra de milhões de toneladas. O aproveitamento das cinzas direcionado nesse sentido virá minimizar sérios problemas no equilíbrio do ecossistema ambiental.*

*Palavras-chave: Usina termoelétrica, cinza volante, reação pozolânica, agente poluidor, ecossistema ambiental.*

**Abstract**

*In the thermal power plants the ashes from the burning of the steam coal are agents polluting the environment. When deposited in the decantation basins, they contaminate the soil and underground aquifers, and those released by the chimneys contaminate the atmospheric air. It is predicted that by the end of 2,020 the unused ashes and released to the environment will extrapolate the house of 5 million tons per year. Numerous studies have demonstrated the efficiency of fly ash in the formation of conglomerates with high mechanical rigidity. These results confirm the propensity of this line of research in the attempt to use large tonnage of fly ash in road construction, considering that the largest thermoelectric park in Latin America is in the southern region of Brazil and that the quantities of materials used in layers construction of pavements reach the figure of millions of tons. The utilization of the ashes directed in this direction will minimize serious problems in the balance of the environmental ecosystem.*

*Keywords: Thermoelectric power plant, fly ash, pozzolanic reaction, pollutant agent, environmental ecosystem.*

## INTRODUÇÃO

Na região sul do Brasil se concentra o maior parque termelétrico da América Latina. Na queima do carvão para a produção da energia elétrica se originam dois tipos de cinzas, denominadas por cinza volante (fly ash) e cinza de fundo (bottom ash), ambas enquadradas como materiais cerâmicos.

Nas termoelétricas o carvão pulverizado é queimado na câmara de combustão à temperatura variável de 1000<sup>o</sup>C a 1500<sup>o</sup>C. Logo, o tipo de combustível utilizado na obtenção de energia térmica para a produção de vapor d'água é o carvão-vapor pulverizado. Esse vapor movimentada as turbinas, as quais, acopladas aos alternadores permite a geração da eletricidade.

A cinza que se aglomera, caindo no fundo da câmara de combustão se denomina cinza de fundo. Nessa queda, submerge em água onde é resfriada e umedecida, sendo a remoção feita por arraste hidráulico e lançada nas bacias de decantação.

O resíduo finamente dividido resultante da combustão e arrastado pelos gases de exaustão é denominado de cinza volante. Flutuando em direção à chaminé, a cinza volante é coletada mecanicamente por ciclones e precipitadores eletrostáticos. Nos coletores onde já sofre um processo de resfriamento, é retirada por intermédio de parafusos transportadores, até o equipamento pneumático que a conduzirá ao silo de armazenagem. A quantidade de cinza volante não usada é igualmente lançada nas bacias de decantação.

Sendo a cinza considerada um rejeito industrial parte é vendida (cinza volante) e o restante lançado ao meio ambiente em bacias de decantação e/ou em cavas de mineração, retornando dessa forma ao meio ambiente. Consiste num particulado sólido sílica-aluminoso, tendo como característica o seu baixo custo comercial e ser um agente poluidor na natureza, contaminando o solo, aquíferos subterrâneos e quando transportada pelo vento é inalada pela população, vindo ficar retida em seus pulmões, prejudicando a saúde das pessoas que residem nas cidades lindeiras as termoelétricas [1].

“Somente no Estado do Rio Grande do Sul estão disponíveis, para uso, em torno de 1,5 milhões de toneladas/ano de cinzas volantes e 700 mil toneladas/ano de cinzas de fundo. Considera-se já nestes números a parcela absorvida pelo uso na fabricação de cimento. Ressalta-se, ainda, que toda a cinza de fundo é atualmente descartada, retornando para as cavas de mineração. Até o final da década a produção de cinzas não utilizadas e as serem, portanto, dispostas no ambiente, ultrapassará os 5 milhões de toneladas/ano.” [2].

## **AÇÃO NEFASTA DA CINZA**

Não é comum nos preocuparmos com o ar que respiramos, embora muitas vezes existam contaminantes, não perceptíveis, que causam lentamente problemas à saúde, sendo esse fato prejudicial ao funcionamento do corpo humano. Além das poeiras naturais, o ar transporta as artificiais que são pequenas partículas sólidas criadas artificialmente em vários processos industriais. É comum em determinadas áreas industriais que o ar que respiramos contenha partículas contaminantes. Ao passar do tempo, lentamente nosso corpo é agredido e prejudicado em função de depósitos indesejáveis nos pulmões.

Muitos contaminantes não representam perigo ao homem, a não ser que sejam respirados em quantidades anormais. Outros se respirarmos esporadicamente não representam perigo, mas quando tal fato se torna uma constância do dia-a-dia, mesmo em pequenas dosagens, a ação da exposição a longos períodos representa a possibilidade de se adquirir graves doenças, culminando no colapso do organismo.

A poeira sílica-aluminosa é o exemplo típico de contaminantes que pode ser respirada, em grandes quantidades, sem apresentar efeito tóxico aparente, mas a exposição diária e contínua, por anos, pode resultar em grandes problemas para a saúde da população.

As referidas partículas não provocam reações rápidas e os sintomas das doenças aparecerão após a exposição prolongada. O termo genérico do problema causado por poeiras é a pneumoconiose, que se caracteriza por doença dos pulmões decorrentes da inalação habitual do ar que contém, em suspensão, partículas metálicas, cerâmicas e/ou minerais.

A medicina constata que as doenças que afetam os pulmões comprometem outros órgãos. Mesmo que uma quantidade suficiente de oxigênio possa ser levada a outros órgãos, esses poderão não funcionar adequadamente. Logo, quando um ou mais órgãos são afetados, as pessoas passam a estar sob condições de risco de vida. A pneumoconiose mais difundida é a silicose, que resulta da poeira que contém sílica e é a mais comum em virtude da ampla ocorrência deste material na natureza e de seu emprego diversificado na indústria. A doença causada por essas partículas é a silicose (devido a inalação de partículas que contenham sílica, e classificada como CID 10–J62) e a aluminose (devido a inalação de partículas que contenham alumínio, classificada como CID 10–J63.0) [3].

## **CARACTERÍSTICAS DO LITORAL SUL DO BRASIL**

Geologicamente uma das características fundamentais do litoral sul do Brasil é a planície litorânea onde ocorrem, com muita frequência, as acumulações de solos arenosos e

dunares. Nessa região encontram-se os cordões litorâneos de areias, existentes ao longo de toda a planície costeira da região. São solos inertes constituídos por areia quartzosa, contendo pouquíssima proporção de silte e/ou argila e classificadas como areias finas e médias [4, 5].

## **REAÇÕES POZOLÂNICAS**

As reações pozolânicas que ocorrem entre a cinza, cal hidratada e água, à temperatura ambiente, formam compostos cimentantes. São reações muito complexas e ainda não bem definidas. Essa complexidade é realçada, principalmente, pela heterogeneidade das composições físicas e químicas da cinza [6, 7]. A reação mais importante é a que resulta num gel cimentante, que tem como finalidade cimentar agregados (britas e/ou areias) a ela incorporados. Uma série de trabalhos abordam estudos relacionados às reações pozolânicas, onde envolvem produtos em que a resultante das reações químicas, entre os seus componentes, gera uma pasta cimentante [8, 9].

## **DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Construção civil é o termo que engloba a confecção de obras como casas, edifícios, pontes, barragens, fundações de máquinas, estradas, aeroportos e outras infraestruturas, onde participam engenheiros civis e arquitetos em colaboração com especialistas e técnicos de outras disciplinas.

As pastas cimentantes têm como finalidade cimentar grãos de agregados, formando um material sólido com propriedades mínimas desejadas, no que se refere à resistência, permeabilidade e durabilidade, resistindo assim os esforços solicitados ao desgaste e à ação das intempéries que são submetidas na área da construção civil.

É a pasta que influencia decisivamente na cimentação do material inerte (britas e/ou areias). A adição do agregado produz um conglomerado pozolânico maciço. Para cada novo material a ser desenvolvido se requer pesquisa, onde serão testadas todas as características desejadas ao novo produto a ser utilizado.

## **HISTÓRICO DO USO DAS CINZAS NA ÁREA RODOVIÁRIA**

Em muitos países têm sido utilizadas grandes quantidades de cinza volante e cinza de fundo nos mais diversos setores da construção civil.

Em “Caracterização e Avaliação das Cinzas da Combustão de Carvão Mineral Geradas na Região do Baixo Jacuí – RS” [10] se visualiza detalhadamente a utilização das cinzas em nível mundial. Na área da construção civil poderemos citar: produção de Cimento Portland

pozolânico, artefatos de construção civil, pré-moldados de concreto, concreto celular, concreto asfáltico, aterros estruturais melhorados com aglomerado, bases e sub-bases de pavimentos, remediação de solos contaminados, obtenção de zeólitas, materiais cerâmicos e vitro-cerâmicos.

O exemplo mais significativo da possibilidade do uso das cinzas volantes foi à construção das pistas do Aeroporto de Newark, nos Estados Unidos, projetado para aeronaves do porte do Galaxy (Lockheed C-5 Galaxy) e Jumbo (Boeing 747) [11].

No Brasil o emprego das cinzas em pavimentos ainda permanece latente, embora em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, inúmeras pesquisas já tenham sido realizadas, na tentativa de se obter conhecimentos práticos sobre as particularidades do comportamento desse material e suas misturas.

Em 1976, foi construída pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), sob a responsabilidade do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), a primeira pista experimental desenvolvida, exclusivamente, com materiais cerâmicos com características pozolânicas (cinza e cal hidratada). O local escolhido foi Nova Brasília, no Município de Imbituba, em Santa Catarina. Os trabalhos laboratoriais referentes às misturas pozolânicas estão detalhados em “Estabilização de Areia de Duna com Cal e Cinza Volante” [12].

Em 1981 foi apresentado um grande estudos relativo ao conjunto das medições de campo, na referida Pista Experimental, efetuados pelos engenheiros e técnicos da Divisão de Pesquisas do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/DNER). Concluiu-se que “As misturas areia-cal-cinza volante, que já demonstraram bom comportamento em laboratório, foram de desempenho completamente satisfatório em campo” [13].

Com relação ao dimensionamento de pavimentos pozolânicos, em 1984, foi apresentado novo estudo dado pelo “Método de Projeto de Pavimento Semi-Rígido: aplicação para o caso de base pozolânica” [14].

Levando em consideração o bom desempenho da primeira pista experimental, em 1985 foi apresentado ao Instituto de Pesquisas Rodoviárias o Relatório Final sobre o “Projeto de acréscimo de 1 km de pista experimental com Solo - Cinza Volante - Cal Hidratada em Nova Brasília”. O projeto foi executado acrescentando-se mais 1 km de pista experimental na já existente. Relatos mais completos sobre as pistas experimentais se encontram em [15, 16]. Devido aos bons resultados obtidos foi proposto, ao Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC), um projeto de pavimentação entre as localidades de Barra da Lagoa a Ingleses (Rodovia SC-406), localizadas na ilha de Santa Catarina e numa extensão de 18,5 Km. O desenvolvimento técnico é exposto em trabalho apresentado na referência [17],

onde na análise de custos comprova-se ser o pavimento pozolânico mais barato que o pavimento tradicionalmente usado no Brasil, as bases e sub-bases elaboradas com brita graduada.

Inúmeros trabalhos técnicos já foram apresentados em Congressos, inclusive teses de mestrado [18] e doutorado [19], referindo-se as propriedades das cinzas e a possibilidade de sua utilização na área rodoviária. Igualmente para esse tipo de pavimento foi desenvolvido metodologia para determinação das características mecânicas de misturas de solo e estabilizantes químicos [20].

Na pavimentação a estabilização pozolânica dos solos corresponde ao processo de pastas cimentantes agregarem os grãos de areia e/ou brita, procurando-se desta forma viabilizar o uso da cinza, resultando assim em economia no custo final da construção de pavimentos rodoviários. Infelizmente o tempo tem mostrado a falta de interesse dos órgãos governamentais na execução desse tipo de pavimento.

## **DISCUSSÃO**

As partículas sílica-aluminosas são abundantes nas bacias de decantação das usinas termoelétricas, aparentemente inofensiva nesses locais, mas quando secas e transportadas pelo vento, são inaladas pela população das cidades lindeiras, vindo dessa forma a ficar retidas em seus pulmões. Tal fato faz com que, lentamente, ocorram reações nos tecidos pulmonares, provocando, gradativamente, a perda da elasticidade normal do órgão. Este processo imperceptível, que se arrasta com o tempo, desencadeia, através de longa exposição, uma diminuição da capacidade de troca gasosa entre o oxigênio e o gás carbônico, vindo, a partir de uma certa época, dificultar de maneira perniciosa o sistema respiratório. Tal fato dará origem ao aparecimento de doenças como a silicose e a aluminose.

Além da contaminação do ar atmosférico, as cinzas sílica-aluminosas que escapam pelas chaminés e as depositadas nas bacias de sedimentação, irão aumentar a contaminação dos solos, rios e aquíferos subterrâneos. Tal ocorrência acarretará seríssimos problemas no equilíbrio do ecossistema ambiental, caso não se encontre utilização adequada que venha a utilizar, em grandes quantidades, esse rejeito industrial.

A planície litorânea da região sul do Brasil é extremamente rica em jazidas arenosas, com reservas garantidas a longo prazo, vindo dessa forma baixar, drasticamente, o custo da utilização desse material na construção civil.

A cinza é um material que por si só possui pouco ou nenhum valor cimentante, mas numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com o

hidróxido de cálcio em temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentantes. Basta misturar cinza, cal e água para que ocorram as reações pozolânicas. Desta forma obtém-se pastas cimentantes para agregar partículas de areia e/ou brita na formação de corpos sólidos. Sendo um rejeito industrial de baixo custo, dará origem a produtos economicamente viáveis.

Cabe aos órgãos governamentais e a área da construção civil alocar recursos para desenvolver pesquisas visando o aproveitamento desse rejeito industrial.

No Brasil também comprovou-se em laboratório e pistas experimentais a possibilidade do uso de nossas cinzas em misturas pozolânicas, visando à construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários. A estabilização pozolânica não é utilizada no Brasil, mas os estudos preliminares atestam a viabilidade do aproveitamento das cinzas geradas na região sul, ratificando a possibilidade de solução do problema da poluição das cinzas no ecossistema ambiental, aliado à obtenção de um pavimento tecnicamente competitivo com o padronizado no país, as bases e sub-bases de brita graduada.

## CONCLUSÕES

- Na região sul do Brasil as cinzas provenientes das termoelétricas é um fator contaminante do ar atmosférico, vindo prejudicar a saúde da população lindeira as usinas termoelétricas, no que se refere a problemas de silicose e aluminose;
- Igualmente é fonte poluidora do ecossistema ambiental, no que se refere à contaminação do solo, nível freático e rios;
- A planície litorânea da região sul do Brasil é caracterizada como um manancial de jazidas de areia, disponível para ser utilizado na construção civil;
- As propriedades pozolânicas das misturas das cinzas e cales hidratadas permitem a utilização das areias litorâneas na formação de conglomerados para a construção civil;
- Cabe aos órgãos federais, estaduais, municipais e a área da construção civil alocar recursos para desenvolverem pesquisas visando o aproveitamento desse rejeito industrial;
- Na área rodoviária as misturas pozolânicas de cal, cinza, areia e água já são usadas em alguns países desenvolvidos;
- Embora essas misturas ainda não sejam utilizadas no Brasil, a experiência brasileira comprovou, em estudos laboratoriais e pistas experimentais, a possibilidade de nossas cinzas serem usadas em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários;
- Deverão ser incentivadas linhas de pesquisas no esforço da procura, nas mais diversas áreas da construção civil, de formas atrativas de utilização desse rejeito industrial;

- Caberá a engenharia rodoviária a futura solução dessa forma de poluição, em função do consumo de grandes quantidades desse rejeito industrial, na construção de pavimentos na região sul do Brasil;

- A não utilização desse tipo de pavimentação poderá acarretar seríssimos problemas no equilíbrio do ecossistema ambiental, caso não se encontrem utilizações adequadas que venham a usar, em grande quantidade, esse rejeito industrial; e

- Na perspectiva da utilização das cinzas em grande escala a opção correta será na área rodoviária, onde milhares de quilômetros de pavimentos são construídos por órgãos federal, estadual, municipal e companhias privadas, nos quais as toneladas de materiais utilizadas na construção, das camadas do pavimento, atingem a cifra de milhões de toneladas.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. V. Nardi, Solução Alternativa da Poluição Ambiental Provocada Pelas Cinzas Provenientes das Termoeletricas da Região Sul – Aplicação em Estradas e Construção Civil, Anais do 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiana, GO, 1991, v. 2, p. 403.
- [2] G. M. Rohde, C. S. Machado, Quantificação das Cinzas de Carvão Fossil Produzidas no Brasil, Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), Porto Alegre, RS, Brasil, 2016, p. 40.
- [3] CID-10, Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, 10ª ed. rev., São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, v. 1, 2007.
- [4] SANTA CATARINA, Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral (GAPLAN), Atlas de Santa Catarina, Rio de Janeiro, RJ, 1986.
- [5] J. B. Oliveira, P. K. T. Jacomine, M. Camargo, Classes Gerais de Solos do Brasil – Guia Auxiliar para o seu Reconhecimento, UNESP – FUNEP, 2ª ed., Jaboticabal, SP, 1992.
- [6] P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, Concreto, Estrutura, Propriedade e Materiais, ed. Pini, São Paulo, Brasil, 1999.
- [7] A. M. Neville, Propriedades do Concreto, ed. Pini, São Paulo, 2ª ed., 1997.
- [8] J. V. Nardi, W. Acchar, D. Hotza, Enhancing the Properties of Ceramic Products Through Mixture Design and Response Surface Analysis, Journal of the European Ceramic Society, v. 24, p. 375-379, 2004.
- [9] J. V. Nardi, D. Hotza, Determination of Composition of Pozzolanic Waste Mixtures with Optimized Compressive Strength, Materials Research, v. 7, p. 373-375, 2004.
- [10] M. G. Sandstron, Caracterização e Avaliação das Cinzas da Combustão de Carvão Mineral Geradas na Região do Baixo Jacuí - RS, UNILASALLE, Tese de Mestrado, Canoas, RS, 2012.
- [11] Newark Airport Redevelopment, The Pavement Story, The Port of New York Authority.



- [12] J. V. Nardi, Estabilização de Areia de Duna com Cal e Cinza Volante, Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/DNER), Relatório Nº 2, 1ª Fase, 2ª Etapa, Estudos laboratoriais, Rio de Janeiro, RJ, 1977.
- [13] L. M. C. Motta, Observações sobre a Pista Experimental de Santa Catarina (Areia-Cal-Cinza Volante), Anais da 16ª Reunião Anual de Pavimentação, Recife, Pe, 1981.
- [14] S. Pinto, E. S. Preussler, J. V. S. Gonçalves, Método de Projeto de Pavimento Semi-Rígido: Aplicação para o Caso de Base Pozolânica, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Publicação 693/22, Rio de Janeiro, RJ, 1984.
- [15] J. V. Nardi, Projeto de Acréscimo de 1 Km de Pista Experimental com Solo-Cinza Volante-Cal em Nova Brasília/SC, Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/DNER), Relatório Final, Rio de Janeiro, RJ, 1985.
- [16] J. V. Nardi, Cinza Volante e Cal Hidratada na Estabilização de Solos Arenosos para Construção de Sub-Bases e Bases de Pavimentos, IPR/DNER, Publicação 695/33, Rio de Janeiro, RJ, 1987.
- [17] J. V. Nardi, A. S. Pitta, Projeto de Aproveitamento de Rejeitos Provindos de Termoelétricas através da Queima do Carvão Vapor, para a Construção de Pavimentos, Associação Brasileira de Pavimentação, 20ª Reunião Anual de Pavimentação, Fortaleza, Ce, v. 1, p. 223-244, 1985.
- [18] J. V. Nardi, Estabilização de Areia com Cinza Volante e Cal; Efeito do Cimento como Aditivo e de Brita na Mistura, COPPE/UFRJ, Tese de Mestrado (M. Sc) em Macânica dos Solos, Rio de Janeiro, RJ, 1975.
- [19] J. V. Nardi, Delineamento e Otimização de Misturas Pozolânicas, UFSC, Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, SC, 2004.
- [20] J. V. Nardi, Desenvolvimento de Método de Restrições Sucessivas para Determinação das Características Mecânicas de Misturas de Solo e Estabilizantes Químicos, 11º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 37ª RAPv/11ª ENACOR, Goiânia, Go, 2006.