

Janaide Cavalcante Rocha é engenheira civil pela Universidade Federal de Goiás – UFGO (1988). É mestre em Ciências e Técnicas Ambientais pela École Nationale des Ponts et Chaussées – ENPC (1991), em Paris, França. Doutora em Engenharia Civil pelo Institut National des Sciences Appliquées – INSA de Lyon, na França (1995). No período de 1997 a 2003, esteve em diversas missões no URGC – Matériaux INSA de Lyon, como cooperação de pesquisa CAPES-Coffecub. É professora da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, onde atua na graduação e pós-graduação, na área de Materiais e Processos Construtivos. Coordena o Laboratório ValoRes (Valorização de Resíduos na Construção Civil e Desenvolvimento de Materiais) do Núcleo de Pesquisa em Construção – NPC. Tem diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais e em congressos nacionais e internacionais, e publicação de livro na área de Reaproveitamento de Resíduos.
E-mail: janaide@npc.ufsc.br

Malik Cheriaf é engenheiro civil pela École Nationale des Travaux Publics Alger, na Argélia (1986). Obteve o título de mestre (1987) e doutor (1993) no Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, França. Em 1998, concluiu o pós-doutorado na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC na área de Valorização de Resíduos. Na área didática, iniciou sua carreira na UFSC como professor visitante em dedicação exclusiva, dedicando-se tanto à graduação como à pós-graduação. Atua na área de Materiais e Componentes da Construção, Valorização de Resíduos e Desenvolvimento de Softwares relacionados ao Ambiente Construído. Coordena o sistema do Centro de Referência e Informação em Habitação – Infohab.
E-mail: malik@infohab.org.br

3.

Aproveitamento de resíduos na construção

Janaíde Cavalcante Rocha e Malik Cheriaf

Introdução

A abordagem do tema “Reaproveitamento de Resíduos na Área do Ambiente Construído” revela uma importante reversão no nível de prioridade que o assunto normalmente preenchia, não apenas na concepção e produção da edificação, mas dentro das cadeias produtivas do setor da Construção Civil. A legislação própria relacionada aos resíduos gerados pelo setor estabelece a responsabilidade pela geração ao que antes era conhecido apenas por entulho ou “bota-fora de obra”. Por outro lado, com o desenvolvimento da consciência do setor em relação aos problemas ambientais que o cercam, tem-se hoje uma consciência da necessidade de desenvolvimento de materiais e processos construtivos que não causem danos ao homem e ao meio ambiente.

A importância do aproveitamento de resíduos em uma coletânea voltada para a habitação de interesse social deve-se basicamente a dois fatores:

- a possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, através da investigação de suas potencialidades; e

- a interface direta do setor da Construção com a cadeia produtiva fornecedora de insumos, bem minerais, e, indiretamente, através do potencial uso de materiais e processos que causem mínimo impacto na cadeia produtiva.

No presente capítulo encontram-se: alguns conceitos usados para a terminologia do aproveitamento de resíduos, aspectos relacionados à geração dos resíduos; a identificação de assuntos que merecem atenção prioritária; e recomendações que poderão ser adotadas para o aproveitamento de resíduos como materiais de construção.

Conceituação

Alguns conceitos são apresentados visando a um melhor enquadramento quanto ao aproveitamento de resíduos como materiais de construção, conforme segue abaixo e ilustra o esquema da Figura 1.

- Recuperação: retirada do resíduo do seu circuito tradicional de coleta e tratamento. Exemplo: recuperação de PET, papéis, do sistema de coleta formal, ou ainda de lodos de tratamento de efluentes destinados à eliminação em aterros controlados.

- Valorização: dar um valor comercial a um determinado resíduo. Exemplo: vidros para a produção de silicatos e vitrocerâmicos.

- Valorização energética: utilização do poder calorífico dos resíduos. Exemplo: casca de arroz usada no processo de beneficiamento e secagem do arroz, madeiras destinadas à queima em caldeiras, incorporação de lodo em matrizes para redução dos tempos de queima, visando à eficiência energética.

- Reciclagem: introduzir o resíduo no seu ciclo de produção em substituição total/parcial de uma matéria-prima. Exemplo: areia industrial oriunda do processo de extração em pedreiras, reciclagem do resíduo de construção no concreto.

- Reciclagem química: valorização sob a forma de produtos químicos.

- Reemprego: novo emprego de um resíduo para uso análogo ao seu primeiro ciclo de produção. Exemplo: incorporação de argamassas ainda no estado fresco reprocessadas (moinho ANVAR) para produção de uma nova argamassa, uso da água de lavagem de caminhões-betoneiras na produção de concretos.

- Reutilização: aproveitamento de um resíduo, uma ou mais vezes, na sua forma original, sem beneficiamento. Exemplo: reutilização da areia de fundição nos moldes.

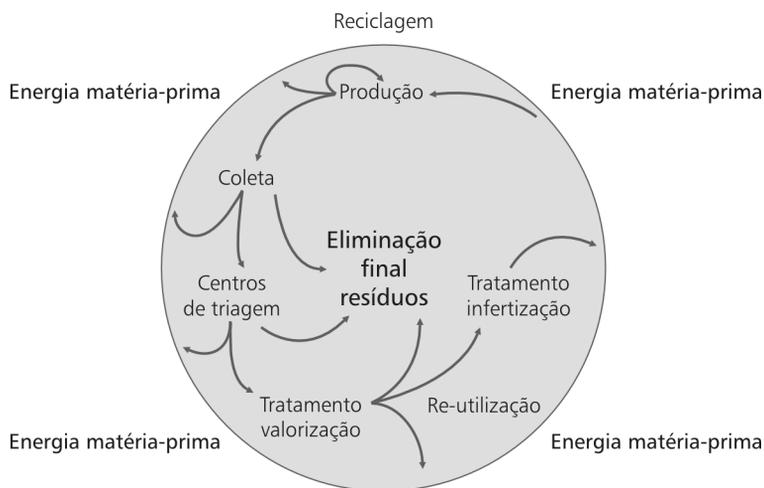


Figura 1 – Esquemática dos processos de aproveitamento de resíduos (redução de matéria-prima e eficiência energética)

Aproveitamento de resíduos

As formas mais usuais de aproveitamento de resíduos, muitas vezes, foram realizadas baseando-se em aspectos qualitativos – como textura, forma, granulometria, cor, capacidade de aglutinar –, sem qualquer tipo de investigação que pudesse dar por embasamento características que fornecessem justificativas para avaliar o comportamento ao longo do tempo, causando não somente danos ao meio ambiente como expondo a edificação a riscos de contaminação, além do comprometimento devido à exposição.

As formas adequadas de aproveitamento de resíduos, ou de subprodutos industriais, como matéria-prima secundária, devem envolver um completo conhecimento do processo as unidades de geração dos resíduos, a caracterização completa dos resíduos e identificação do potencial de aproveitamento, identificando as características limitantes do uso e da aplicação. Já para os resíduos originados pelo setor

da Construção Civil, durante as diversas etapas da construção, devem ser aprimoradas formas de minimização da geração, e quando possível a introdução dos resíduos no próprio processo ou unidade de serviço onde este foi gerado.

Cabe salientar que, para as soluções visando ao reaproveitamento dos resíduos, existem tecnologias e procedimentos diversos, mais ou menos sofisticados, mão-de-obra ou capital intensivos, processos importados e desenvolvidos no país. Sua escolha, entretanto, deve ser feita tendo em vista se atingir o aproveitamento ambientalmente adequado, ao menor custo possível, respeitando-se as características socioeconômicas e culturais de cada município.

Visando a uma avaliação do potencial de aproveitamento de resíduos, Cheriaf et al. (1997) estabeleceram a necessidade de identificação dos parâmetros estruturais, geométricos e ambientais dos resíduos, conforme procedimento esquematizado na Figura 2, abaixo.

Caracterização	
Parâmetros estruturais	Parâmetros geométricos
Difracção de raios X Análises termogravimétricas Análise química Espectrometria infra-vermelho	Granulometria Densidade Superfície específica Microscopia eletrônica de varredura
Outros parâmetros	Parâmetros ambientais
Reologia Matéria orgânica Consistência Pureza	Lixiviação de resíduos- NBR 10005 Solubilização de resíduos- NBR 10006 Testes adaptados de materiais

Figura 2 – Esquema geral para caracterização dos resíduos
Fonte: Cheriaf et al. (1997)

- a) Parâmetros estruturais: identificação e conhecimento da estrutura e composição dos resíduos através da realização de ensaios: análise química, difracção aos raios X, análise térmica diferencial, condutibilidade térmica, perda de massa ao fogo.

- b) Parâmetros geométricos: identificação da morfologia e textura do resíduo, através das seguintes análises: microscopia eletrônica de varredura; granulometria; superfície específica; solubilidade e viscosidade.
- c) Parâmetros ambientais: identificação dos constituintes que podem ser potencialmente lixiviados e/ou solubilizados dos resíduos, pH.
- d) Outros parâmetros: identificação das propriedades relacionadas à unidade de geração do resíduo, e das formas de beneficiamento que podem ser associadas: reologia, presença de óleos, graxas, conteúdo orgânico, pureza, consistência, capacidade de retenção de umidade, capacidade de moagem.

Interface de Materiais – Sustentabilidade

A interdependência dos conceitos de meio ambiente, valorização de resíduos, saúde e saneamento é bastante clara, e as ações nestes setores devem, portanto, ser integradas e voltadas, em última análise, para a melhoria da qualidade de vida da população brasileira.

No que se refere ao aproveitamento de resíduos para desenvolvimento de materiais e processos construtivos, não há dúvida de que desconhecimento e aplicações inadequadas constituem um grave problema de risco para a população e para o meio ambiente.

O conhecimento das propriedades requer ainda a identificação dos contaminantes presentes nos resíduos, principalmente quando há necessidade de um beneficiamento como calcinação ou exposição a elevadas temperaturas de queimas, que podem gerar uma poluição secundária, uma vez que a massa de resíduo, quando incorporada, por exemplo, a matrizes que sofrerão transformação térmica, pode liberar poluentes durante o processo de queima.

O princípio de responsabilidade, atribuindo ao gerador a responsabilidade pelo seu resíduo, é um elemento facilitador no que tange às etapas de acondicionamento, transporte, tratamento, aproveitamento e destinação final.

A participação da população, como futuros consumidores de materiais produzidos a partir de resíduos ou de matérias-primas secundárias, pode ser elemento

propulsor na aplicação de recursos públicos e no uso racional e eficaz de materiais usados nas habitações de interesse social.

De todos os segmentos da Construção Civil, apesar ainda dos baixos níveis de desempenho, o que mais se desenvolveu e que teve mais abrangência quanto à aplicação dos conceitos de sustentabilidade foi o de materiais e componentes da construção. A explicação para esse fato é simples: a pressão exercida pelos órgãos de controle ambiental quanto a manuseio e destinação adequada dos resíduos gerados, os altos custos envolvendo a destinação final em aterros controlados e a pressão da população quanto à operação das atividades industriais em perímetros urbanos. Essa pressão, entretanto, é diferenciada, já que a regulamentação, o controle e a fiscalização da produção industrial competem aos estados.

Essa pressão diferenciada pode ser exemplificada pelo fato de alguns órgãos de controle ambiental ainda permitirem estocagem dos resíduos no próprio processo industrial onde foram gerados, desde que acondicionados de forma adequada. Já a exigência de se eliminarem os resíduos em aterros industriais controlados é a forma como o estado interfere no problema, por intermédio dos seus órgãos de controle ambiental, exigindo dos geradores sistemas de manuseio, estocagem, transporte e destinação adequados.

Logo, a indústria de transformação tem encontrado grandes dificuldades na disposição final dos resíduos gerados em seus processos produtivos, causando sérios problemas ambientais e crescentes incrementos nos custos industriais, por falta de soluções tecnológicas apropriadas e de instalações adequadas à eliminação dos resíduos. Por força dos organismos nacionais e internacionais de controle do meio ambiente, que ganharam grande importância com a Norma ISO 14000, a questão da reciclagem e reaproveitamento de resíduos passou a ser estratégica em termos das políticas econômica e industrial.

78

Estão sendo igualmente cada vez mais procuradas formas diversas e oportunidades de valorização de resíduos nos materiais e componentes de construção civil.

A implantação de modelos de produção mais limpa em processos industriais tem sido também um importante elemento na minimização dos resíduos gerados, como também tem tornado possível uma intervenção dos centros de pesquisa na solução do problema e na identificação de matérias-primas secundárias para o desenvolvimento de materiais. Citando um exemplo, em Santa Catarina está havendo uma importante parceria da FIESC-IEL, Produção mais Limpa e os centros de pesquisa,

principalmente UFSC e UNESC, o que trouxe uma vantagem compartilhada por poucas instituições de pesquisa, pois esta está presente nas principais regiões catarinenses e apresenta um retrato global da produção industrial do estado, principalmente através dos programas de desenvolvimento regional.

A indústria da Construção Civil apresenta-se, dentro deste contexto, com um grande potencial para a solução desses problemas, pela viabilidade que apresenta de incorporação desses resíduos nos materiais de construção, possibilitando, ainda, redução nos custos dos produtos da construção.

Logo, o desenvolvimento tecnológico de processos associados à reciclagem de resíduos industriais passa a ter hoje enorme relevância. O aumento no descarte de rejeitos sólidos, bem como os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais, vem impulsionando os estudos sobre o aproveitamento desses resíduos como novos materiais, reduzindo o seu impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais e a criação de novos empregos.

Quanto ao aproveitamento de resíduos como materiais de construção, só nos últimos anos iniciaram-se discussões mais consistentes do problema e do potencial de aproveitamento. Alguns centros de pesquisa, com maior capacidade instalada, conseguiram envolver os geradores de resíduos e aplicar os resultados em processos industriais. Entretanto, pontos delicados da questão precisam ser mais atacados: estabelecimento de normas e de procedimentos que auxiliem na validação dos materiais desenvolvidos com resíduos e mapeamento da disponibilidade dos resíduos. Além disso, a forma de avaliação do potencial de liberação de poluentes ainda não é consensual, tendo sido empregados os procedimentos estabelecidos para lixiviação e solubilização de resíduos. Salienta-se, além disso, que a análise de metais que compõem a concentração total de uma matriz necessita, muitas vezes, o acoplamento de duas ou mais técnicas, não sendo mais suficiente uma boa reprodutibilidade dos resultados, mas uma boa exatidão dos resultados analíticos (CURTIUS; FIEDLER, 2002).

Atualmente, entretanto, na maioria das pesquisas apresentadas com o aproveitamento de resíduos, tem sido avaliado o enquadramento quanto à presença de contaminantes: resíduos perigosos (classe I), não inertes (classe II) ou inertes (classe III), NBR 10005, 10004, 10006. Cabe ressaltar, ainda, que existe uma discussão maior no meio técnico e científico sobre a adequação dos procedimentos estabelecidos pela norma para a classificação dos resíduos, que poderá trazer um novo enquadramento e mudanças nos critérios de análise.

Além da diversidade dos resíduos produzidos, função da atividade industrial, tem-se uma grande quantidade podendo ser investigada para uso como materiais de construção, como se pode depreender do Quadro 1, em anexo, espelhando a situação do estado de Santa Catarina.

Como resultado, apenas uma pequena quantidade desses resíduos vem recebendo tratamento ou destinação adequados, com a principal parcela armazenada nas próprias instalações onde foram gerados. Há, portanto, uma grande parcela que pode ser avaliada e identificada como fonte de matéria-prima para a construção civil.

Conhecimento dos Processos

O interesse pelos resíduos da construção civil está vinculado a dois motivos principais: primeiro, ao fato de a constituição química da grande maioria dos resíduos ser predominantemente de silicatos, aluminatos e óxidos alcalinos, os mesmos compostos que constituem a composição química básica dos materiais de construção; segundo, ao importante volume de resíduos disponibilizado anualmente nos processos, que podem ser usados como insumos básicos empregados na elaboração de materiais e componentes de construção civil.

É de vital importância o conhecimento do processo de geração dos resíduos e o sistema de extração, manuseio e acondicionamento.

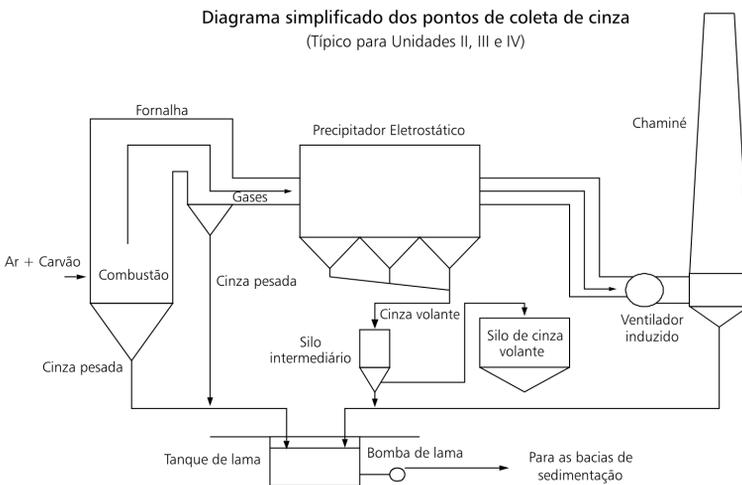


Figura 3 – Fluxograma da geração das cinzas no complexo termelétrico a carvão mineral (complexo Jorge Lacerda, SC)

As cinzas pesadas são materiais que apresentam heterogeneidade em função do processo de produção e cuja composição dependerá do grau de beneficiamento e moagem do carvão, do projeto e tipo de operação da caldeira, do sistema de manuseio e da extração das cinzas. Devido a esses fatores, os resíduos oriundos da queima do carvão mineral vão apresentar variações em sua composição e nas propriedades físico-químicas quando comparadas entre usinas, ou, ainda, de uma caldeira para outra na mesma usina, ou, ainda, numa mesma caldeira em momentos diferentes.

Desenvolvimento dos Materiais

Na Tabela 1 e na Figura 4, encontram-se apresentados os resultados que permitem a avaliação dos parâmetros da composição das cinzas, assim como principais características afetadas devido ao processo de queima e extração em processos termoeletrônicos a carvão mineral.

%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	57,32	61,99	51,71	54,05	58,90	59,00	56,66	55,73	56,82	58,63	59,19
Al ₂ O ₃	28,96	28,62	22,71	25,20	25,24	24,80	27,76	25,63	26,62	27,22	27,12
Fe ₂ O ₃	4,52	2,94	5,93	7,21	6,75	6,81	5,32	6,91	6,59	6,29	5,85
MnO	<id	<id	0,04	0,03	0,03	0,03	<id	0,03	0,03	<id	0,04
MgO	0,69	0,45	0,46	0,62	0,71	0,65	0,62	0,76	0,66	0,72	0,71
CaO	1,30	1,44	2,75	1,31	1,30	1,45	0,87	1,27	1,12	1,16	1,44
Na ₂ O	0,22	0,11	0,09	0,20	0,32	0,43	0,23	0,22	0,29	0,31	0,40
K ₂ O	2,82	1,13	0,94	2,40	2,63	2,69	2,56	2,61	2,65	2,66	2,78
TiO ₂	1,39	1,20	0,86	1,15	1,16	1,16	1,31	1,24	1,28	1,35	1,28
P ₂ O ₅	0,10	0,10	0,08	<id	<id	<id	0,10	<id	0,10	0,10	0,13
PF	2,41	1,87	14,35	7,75	2,89	2,92	4,49	5,47	3,82	1,50	1,04
C. orgânico	2,08	1,20	10,74	7,12	3,01	2,64	3,53	4,60	3,48	1,21	0,90
CO ₂ total	7,66	4,41	40,09	26,91	11,18	9,85	13,52	17,54	13,16	4,43	3,28
S	0,10	0,11	0,65	0,33	0,085	0,10	0,052	0,14	0,095	0,035	0,037
Cl (ppm)	20	<20	1030	126	<20	1032	83	52	260	269	437

Tabela 1 – Parâmetro estrutural: composição química das cinzas coletadas

Da composição das cinzas coletadas em Jorge Lacerda, em diferentes caldeiras, tem-se a presença de:

- quartzo (SiO_2), designado por (1); e
- mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), designada por (2).

Já para as cinzas coletadas em Charqueadas, observam-se as fases:

- quartzo (SiO_2), designado por (1);
- mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), designada por (2);
- calcita (CaCO_3), designada por (3); e
- opalina (SiO_2), designada por (4).

Área específica: 12,85 m²/g

Cinzas de Charqueadas (fração < 0,30 mm)

Cinzas de Charqueadas (fração < 0,30 mm)

Área específica: 1,14 m²/g

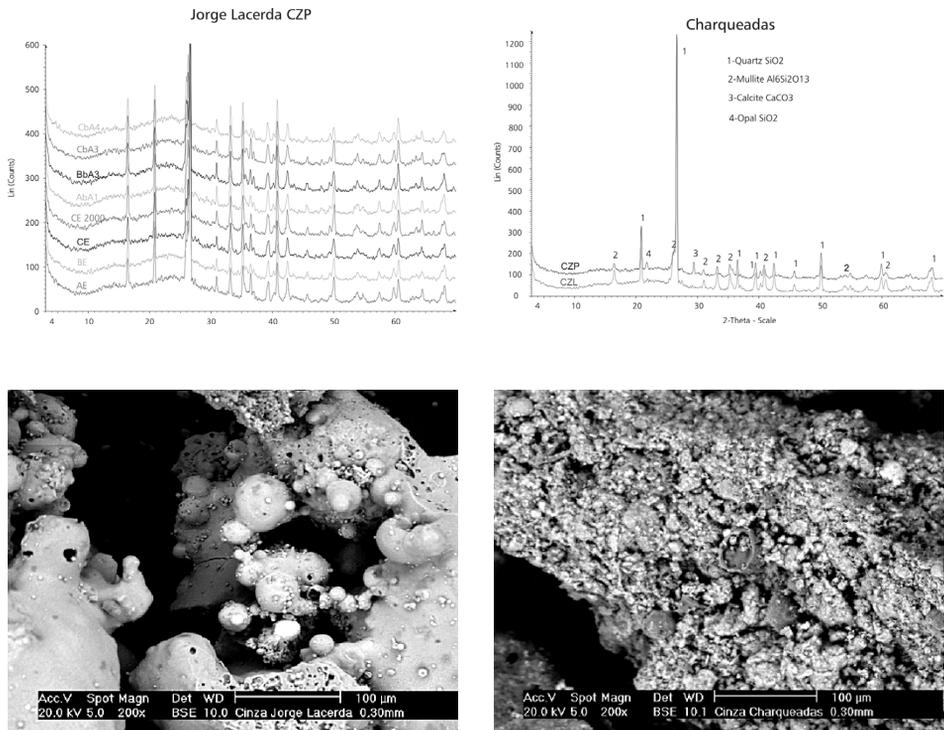


Figura 4 – Parâmetros geométricos: Difratogramas de raios X – micrografias das cinzas

As principais justificativas para análise e investigação dos resíduos exemplificados com uso das cinzas da extração úmida são:

- disponibilidade;
- fase vítrea de natureza silicoaluminosa;
- capacidade de retenção de água, melhorando a qualidade dos produtos de hidratação;
- adequação da granulometria para os agregados usados nos elementos de pré-fabricação.

Das aplicações desenvolvidas, são apresentados quadros das aplicações desenvolvidas e traçadas considerações sobre as vantagens e inconvenientes dos materiais desenvolvidos, considerando os seguintes aspectos:

- características técnicas;
- características sociais; e
- características econômicas.

Características	Resíduos/materiais desenvolvidos
Características Técnicas	Facilidade de elaboração de projetos, melhoria; facilidade de realização de controle; sistema de transporte, acondicionamento; distribuição geográfica; riscos de contaminação; equipamentos existentes
Características Sociais	Segurança no emprego, possibilidade de geração de empregos, redução de passivo ambiental
Características Econômicas	Economia de energia, economia de matérias-primas, economia nos custos de produção, investimentos necessários, custo de transporte e de beneficiamento

Tabela 2 – Recomendações dos atributos considerados

Na seqüência das tabelas 3 a 6 são apresentados os principais atributos relacionados aos seguintes materiais desenvolvidos com resíduos: elementos pré-moldados (blocos estruturais, blocos de vedação, briquetes de pavimentação) e argamassas para revestimento pronta para o consumo, todos resultantes de pesquisas desenvolvidas no âmbito do programa HABITARE.

Vantagens do uso das cinzas	Inconvenientes
Características Técnicas	
<p>a) Grande disponibilidade, estimada em 818 mil toneladas/ano</p> <p>b) Uso no estado natural, sem necessidade de beneficiamento prévio</p> <p>c) Reação pozolânica secundária</p> <p>d) Incorporação como agregado em elementos pré-moldados</p> <p>e) Redução do peso específico dos elementos pré-moldados</p> <p>f) Melhoria da qualidade dos blocos produzidos textura, acabamento final</p> <p>g) Equipamentos de vibroprensagem disponíveis no mercado interno</p> <p>h) Aplicação após 48 h da moldagem e possibilidade de incorporação de pigmentos</p>	<p>a) Necessidade de assegurar uso de cimento sem adições ativas. Exemplo: cimento CPI_S, ou CP-II-F</p> <p>b) Necessidade de sistematizar o controle de umidade da cinza pesada no processo de produção, para compensar a água no processo de fabricação</p> <p>c) Necessidade de instalação de câmara para cura térmica, para favorecer a produção e manuseio durante o inverno</p> <p>d) Instalação de silo de agregados para dosagem das cinzas pesadas, facilitando sua incorporação no processo</p>
Características Sociais	
<p>i) Possibilidade de estabelecimento de cooperativas para a produção dos blocos pré-moldados a partir das cinzas pesadas, para os oito municípios situados num raio de até 30km do complexo de Jorge Lacerda (SC)</p> <p>j) Meio efetivo para tentar reduzir déficit habitacional através da redução nos custos das habitações sociais nas áreas de abrangência dos processos geradores das cinzas</p> <p>k) Na produção em pré-moldados o trabalho é realizado protegido de intempéries climáticas</p> <p>l) Potencial de geração de empregos: na fabricação e aplicação de blocos pré-moldados</p> <p>m) Redução de perdas na construção, uma vez que a diversidade de elementos permite paginação</p>	<p>e) Mão-de-obra especializada somente para uma linha de montagem (fabricação blocos) ou aplicação de blocos</p> <p>f) Necessidade de formação prévia para assentadores de blocos</p>
Características Ambientais	
<p>n) Redução do passivo ambiental dos resíduos gerados da produção termoelétrica dispostos em bacias</p> <p>o) Ferramenta para gestão ambiental da empresa</p> <p>p) Aporte financeiro da empresa geradora nos estudos e aplicações dos blocos pré-moldados</p> <p>q) Minimização dos custos da geração da energia térmica a carvão</p>	<p>g) O transporte das cinzas precisa de licença ambiental</p> 
BLOCOS/ESCADA PRÉ-MOLDADOS COM USO DE CINZAS PESADAS	

Tabela 3 – Aproveitamento das cinzas pesadas em elementos pré-moldados

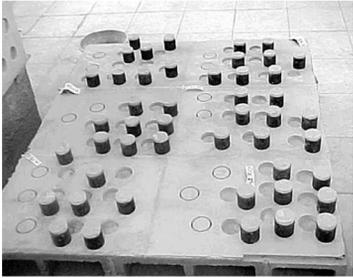
Vantagens do uso das cinzas	Inconvenientes
Características Técnicas	
<ul style="list-style-type: none"> a) Grande disponibilidade, estimada em 818 mil toneladas/ano b) Uso no estado natural, sem necessidade de beneficiamento prévio c) Reação pozolânica secundária d) Melhoria na coesão e plasticidade do concreto e) Redução do peso específico do concreto f) Capacidade de bombeamento g) Manutenção da trabalhabilidade por longo período h) Desnecessário emprego de aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> a) Necessidade de assegurar uso de cimento sem adições ativas. Exemplo: cimento CPI_S, ou CP-II-F, CP_V (ARI) b) Necessidade de sistematizar o controle de umidade da cinza pesada no processo de produção, para compensar a água na usinagem do concreto c) Controle de material carbonoso nas cinzas
Características Sociais	
<ul style="list-style-type: none"> i) Meio efetivo para tentar reduzir déficit habitacional através da redução no custos das habitações sociais nas áreas de abrangência dos processos geradores das cinzas j) Produção em usinas facilita o controle da qualidade do concreto produzido com as cinzas k) Produção pode ser feita no próprio canteiro, pois a técnica de mistura, lançamento e adensamento é bastante conhecida. Melhor aproveitamento da mão-de-obra l) A qualidade e o controle da dosagem podem ser feitos pela leitura dos diagramas de dosagens estabelecidos previamente 	<ul style="list-style-type: none"> d) Uso em processo construtivo convencional
Características Ambientais	
<ul style="list-style-type: none"> m) Redução do passivo ambiental dos resíduos gerados da produção termoeletrica dispostos em bacias n) Oferta de produto opinado, com atributo ambiental e de menor custo o) Aporte financeiro da empresa geradora nos estudos e aplicações das cinzas em concretos usinados p) Minimização dos custos da geração da energia térmica a carvão 	<ul style="list-style-type: none"> e) O transporte precisa de licença ambiental 
CONCRETO USINADO COM USO DE CINZAS PESADAS	

Tabela 4 – Aproveitamento das cinzas pesadas em concretos usinados

Vantagens do uso das cinzas	Inconvenientes
Características Técnicas	
<ul style="list-style-type: none"> a) Grande disponibilidade, estimada em 818 mil toneladas/ano b) Uso em argamassas pré-fabricadas c) Argamassa embalada ou em silo, pronta para o consumo d) Melhoria da qualidade dos serviços de revestimento e) Argamassadeiras com capacidade de processamento de até 40 l/min, disponíveis no mercado interno, de baixo custo f) Possibilidade de incorporação de pigmentos g) Distribuição na obra sob forma de embalagens ou silos 	<ul style="list-style-type: none"> a) Necessidade de assegurar uso de cimento sem adições pozolânicas. Exemplo: cimento CPI_S, ou CP-II-F, CPII-E b) Necessidade de secagem das cinzas c) Instalação de silo de agregados para dosagem das cinzas pesadas, facilitando sua incorporação no processo
Características Sociais	
<ul style="list-style-type: none"> h) Possibilidade de estabelecimento de cooperativas para a produção de argamassas a partir das cinzas pesadas, para os oitos municípios situados num raio de até 30 km do complexo de Jorge Lacerda (SC) i) Meio efetivo para tentar reduzir déficit habitacional através da redução no custos das habitações sociais nas áreas de abrangência dos processos geradores das cinzas j) Potencial de geração de empregos: na fabricação e aplicação de argamassas de revestimento com cinzas 	<ul style="list-style-type: none"> d) Necessidade de formação prévia para mão-de-obra no serviço de revestimento
Características Ambientais	
<ul style="list-style-type: none"> k) Redução do passivo ambiental dos resíduos gerados da produção termoelétrica dispostos em bacias l) Ferramenta para gestão ambiental empresa m) Aporte financeiro da empresa geradora nos estudos e aplicações das argamassa de revestimento n) Minimização dos custos da geração da energia térmica a carvão 	<ul style="list-style-type: none"> e) O transporte das cinzas precisa de licença ambiental 
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM USO DE CINZAS PESADAS	

Tabela 5 – Aproveitamento das cinzas pesadas em argamassas de revestimento

Vantagens do uso de resíduo de construção e demolição	Inconvenientes
Características Técnicas	
<p>a) Disponibilidade, estimada 654,72 t/dia (Florianópolis, SC), Blumenau SC-441, 92 (t/dia)</p> <p>b) Necessidade de beneficiamento prévio do resíduo de construção e demolição</p> <p>c) Argamassas e concretos podem ser dosados no próprio canteiro</p> <p>d) Tecnologia de processamento e classificação já tem estudos de caso bem-sucedidos</p>	<p>a) Necessidade de sistematizar o controle da qualidade do agregado reciclado</p> <p>b) Necessidade de controlar a água a ser absorvida pelo agregado reciclado de entulho ou fazer molhagem prévia com tempos de imersão em água de superiores a 20 min</p> <p>c) Controle do resíduo de demolição de instalações de saúde e industriais devido ao risco de contaminantes</p> <p>d) Controle do teor de gesso incorporado</p>
Características Sociais	
<p>e) A indústria da Construção Civil é a própria geradora do resíduo de obra</p> <p>f) Instalação de usinas para britar e classificar em localizações estratégicas atende à geração de resíduos do município</p> <p>g) Geração de emprego nas unidades de processamento do resíduo da construção e demolição</p>	<p>e) Uso em processo construtivo convencional</p> <p>f) Agregado pode ser fornecido a um baixo custo</p> <p>g) Aplicação em obras públicas</p>
Características Ambientais	
<p>h) Redução do entulho de obra descartado clandestinamente</p> <p>i) Oferta de produto, com atributo ambiental</p>	<p>h) A operação da usina para processamento do entulho necessita licença ambiental</p> 
ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM APROVEITAMENTO ENTULHO	

Tabela 6 – Aproveitamento das resíduos de construção e demolição em argamassas

Conclusão

As experiências bem-sucedidas de desenvolvimento de produtos para a construção civil com resíduos incorporados são impulsionadas, principalmente, pela legislação ambiental, e há uma verdadeira política visando a reduzir a eliminação direta de resíduos em aterros industriais ou sanitários, sem uma prévia valorização ou tratamento.

Das pesquisas realizadas relacionadas à valorização das cinzas de termoelétrica, verificou-se que a participação do gerador no diagnóstico do seu processo, nos investimentos em pesquisa (programas ANEEL e HABITARE) foi fundamental no fortalecimento do núcleo e na parceria com as empresas, fabricantes de materiais de construção para uso das cinzas na produção dos materiais e elementos: blocos estruturais pré-moldados e briquetes de pavimentação, e escada pré-fabricada. A aplicação das cinzas em argamassas industrializadas demanda uma parceria tecnológica, uma vez que na região ainda é comum o uso de argamassas pré-misturadas. Verificou-se, porém, em processo industrial em São Paulo, que as cinzas usadas na pré-fabricação reduzem os custos de produção das argamassas de revestimento.

A participação voluntária dos fabricantes de materiais foi estimulada pelo fato de as cinzas não serem monopólio de uma tecnologia, permitindo vislumbrar a oportunidade de investimento e adequação do processo para o aproveitamento das cinzas pesadas oriundas do complexo termoelétrico de Charqueadas.

Há um grande potencial de estímulo à instalação de cooperativas para produção de fábricas com apoio das prefeituras municipais.

Bibliografia

ANGIOLETTI, R.; GOBIN, C.; WECKSTEIN, M.; DUAND, E. **Vingt quatre critères pour concevoir et construire un bâtiment dans une logique de développement durable**. Cahiers du CSTB, 1996, n. 2864. 29 p.

ANTAC. Plano Estratégico para Ciência e Tecnologia na área do Ambiente Construído: com ênfase na construção habitacional divulgado em meio impresso. 50 p. ANTAC-2002. Disponível em: <www.antac.org.br>.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. 1999. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BERTOLINI, G.; MACOUY, D. A. **A la recherche de l'éco-déchet. Glossaire français-anglais du déchet et de la pollution. Les transformaterurs**. ISBN 2-908035-03-0, 1990, v. I e II. 219 p.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 1999. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

CHENGZI, Z.; AIQIN, W; MINGSHU, T. The filling role of pozzolanic material. **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 6, p. 943-947, 1996. Elsevier Science Ltd.

CHERIAF, M.; CAVALCANTE ROCHA, J.; PERA, J. Pozolanic properties of pulverized coal combustion bottom ash. **Cement Concrete Research Journal**, v. 29, n. 9, p. 1387-1391, 1999. ISSN 0008-8846.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. C. Caracterização dos Resíduos Industriais do Estado de Santa Catarina e as Possibilidades de Valorização na Construção Civil In: ENCONTRO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., e ENCONTRO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997. **Anais...** Canela. p. 81-86.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. C.; PERA, J.; POZZOBON, C. E. Reciclagem e utilização dos resíduos do carvão. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FEPAM, 2002. p. 370-409.

Curtius, A. J.; FIEDLER, H. D. Análise de metais e qualidade analítica. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FEPAM, 2002. p. 211-227.

DE BRITO, L. A.; CHERIAF, M.; ROCHA, J. C. Utilização de entulho de construção civil como agregado graúdo, para a confecção de novos concretos. SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., Ibracon – Comitê Técnico 206. **Anais...** São Paulo, Jun. 2001.

EPA. Disponível em: <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/recycle/recmeas/docs/guide_a.pdf>.

ERDOGDU, K.; TÜRKER, P. Effects of fly ash particle size on strength of Portland cement fly ash mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 28, n. 9, p. 1217-1222, 1999. Elsevier Science Ltd.

GHAFOORI, N., BUCHOLC, J. Properties of High-Calcium Dry Bottom Ash Concrete. **ACI Materials Journal**, v. 94, n. 2, p. 90-101, Mar./Apr. 1997.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; MORAES, R. Physical and Pozzolanic Action of Mineral Additions on the Mechanical Strength of High-Performance Concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, p. 69-76, 2003.

90 KOLAY, P. K.; SINGH, D. N. Physical, Chemical, Mineralogical, and Thermal Properties of Cenospheres From An Ash Lagoon. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 539-542, 2001.

KREUZ, A. L.; CHERIAF, M.; ROCHA, J. C. Estudo das propriedades dos concretos utilizando cinza pesada como parte da areia. In: ENTAC-2002 - ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10.

LENZI, J. L. **Influência do uso de cinzas da combustão de carvão mineral em argamassas de revestimento**. 2001. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

Lei n.º 10.165, de 27 de dezembro de 2000. **Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental** - *Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.*

Sardá, M. **Diagnóstico do entulho gerado na cidade de Blumenau: potencialidade de uso em obra públicas**. 2003. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2003, 220 p.

WELLENKAMP, Franz-Josef. **Moagens fina e ultrafina de minerais industriais: uma revisão**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999. 56 p. (Série Tecnologia Mineral, 75). ISBN 85-7227-122-8.

ANEXO

Quadro 1 – Atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais

Código	Resíduos	Categoria	Descrição
01	Fragmentos derochas; estéril; lodo extração Al Filler	Extração e tratamento de minerais	Lavra a céu aberto e lavra subterrânea, com ou sem beneficiamento; lavra garimpeira
02	Refugo cerâmico; raspas de esmaltação, cinzas de atomização,	Indústria de produtos minerais não metálicos	Beneficiamento de minerais não metálicos, fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos: produção de material cerâmico, cimento, gesso, vidro
03	Areia de fundição; limalhas; lodo; galvanoplastia	Indústria metalúrgica	Produção de fundidos de ferro e aço com ou sem tratamento de superfície (galvanoplastia) , metalurgia dos metais não-ferrosos, em formas primárias e secundárias, produção de laminados, ligas, artefatos de metais não-ferrosos, metalurgia do pó (peças moldadas)
04	Limalhas Refugos metálicos	Indústria mecânica	Fabricação de máquinas, aparelhos, peças, utensílios e acessórios com e sem tratamento térmico ou de superfície
05	Refugos fiação; refugos de capa de fiação; lâminas	Indústria de material elétrico, eletrônico e comunicações	Fabricação de pilhas, baterias e outros acumuladores, fabricação de material elétrico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática; fabricação de aparelhos elétricos e eletrodomésticos
06	Fibras; Fragmentos; embalagens	Indústria de material de transporte	Fabricação e montagem de veículos rodoviários, peças e acessórios; fabricação e reparo de embarcações e estruturas flutuantes
07	Cavacos; pó de serra; sepilho	Indústria de madeira	Serraria e desdobramento de madeira; preservação de madeira; fabricação de chapas, placas de madeira aglomerada, prensada e compensada; fabricação de estruturas de madeira e de móveis
08	Polpa celulósica; aparas; fibras	Indústria de papel e celulose	Fabricação de celulose e pasta mecânica; fabricação de papel e papelão; fabricação de artefatos de papel, papelão, cartolina, cartão e fibra prensada
09	Raspas; pó têxtil; fibras	Indústria de borracha	Beneficiamento de borracha natural, fabricação de câmara de ar, fabricação e acondicionamento de pneumáticos; fabricação de laminados e fios de borracha; fabricação de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex
10	Lodo; raspas de couro; aparas de couro	Indústria de couros e peles	Secagem e salga de couros e peles, curtimento e outras preparações de couros e peles; fabricação de artefatos diversos de couros e peles; fabricação de cola animal

Código	Resíduos	Categoria	Descrição
11	Lodo têxtil; aparas de couro	Indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos tecidos	Beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintéticos; fabricação e acabamento de fios e tecidos; tingimento; fabricação de calçados e componentes para calçados
12	Aparas de plástico; fibras	Indústria de produtos de matéria plástica	Fabricação de laminados plásticos, fabricação de artefatos de material plástico
13	Fibras	Indústria de fumo	Atividades de beneficiamento do fumo
14	Resíduos perdas; Refugo asfáltico.	Indústrias diversas	Usinas de produção de concreto e de asfalto
15	Resíduos orgânicos; óleos graxos; ligninas; resinas; resíduos químicos; fluorgesso fosfogesso; embalagens	Indústria química	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos, fabricação de produtos derivados do processamento madeira; fabricação de combustíveis não derivados de petróleo, produção de óleos, gorduras, ceras, vegetais e animais, óleos essenciais, vegetais e produtos similares, da destilação da madeira, fabricação de resinas e de fibras e fios artificiais e sintéticos e de borracha e látex sintéticos; recuperação e refino de solventes, óleos minerais, vegetais e animais; fabricação de concentrados aromáticos naturais, artificiais e sintéticos; fabricação de tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes e secantes; fabricação de fertilizantes e agroquímicos; produção de álcool etílico, metanol e similares
16	Resíduos orgânicos; Féculas; Embalagens; Vinhoto; vinhaça	Indústria de produtos alimentares e bebidas	Beneficiamento, moagem, torrefação e fabricação de produtos alimentares; matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueadas e derivados de origem animal; fabricação de conservas; preparação de pescados e fabricação de conservas de pescados; beneficiamento e industrialização de leite e derivados; fabricação e refinação de açúcar; refino e preparação de óleo e gorduras vegetais; fabricação de fermentos e leveduras; fabricação de vinhos e vinagre; fabricação de cervejas, chopes e maltes; fabricação de bebidas não-alcoólicas, e alcoólicas
17	Cinzas carvão mineral; lodo industrial; lodo de ETE; areias; siltes	Serviços de utilidade	Produção de energia termoelétrica; tratamento e destinação de resíduos industriais líquidos e sólidos; disposição de resíduos especiais; destinação de resíduos de esgotos sanitários e de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas; dragagem e derrocamentos em corpos d'água
18		Transporte, terminais, depósitos e comércio	Transporte de cargas perigosas, transporte por dutos; marinas, portos e aeroportos; terminais de minério, petróleo e derivados e produtos químicos; depósitos de produtos químicos e produtos perigosos
19	Embalagens	Turismo	Complexos turísticos e de lazer
20	Extratos madeira; pó de serra; cavacos	Uso de recursos naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e de subprodutos florestais