

# RECICLAGEM DE ENTULHO PARA A PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

## PROJETO ENTULHO BOM



## JOSÉ CLODOALDO SILVA CASSA

1946 - 1999

Criador e coordenador do Projeto Entulho Bom, Prof. Cassa foi um brilhante pesquisador. Dinâmico e empreendedor, criou e coordenou Projetos e Grupos de P&D, contribuindo na formação de diversos pesquisadores. Foi autor de mais de 150



trabalhos técnico-científicos sobre reciclagem e aproveitamento de resíduos sólidos industriais, materiais cerâmicos, ciência dos materiais, planejamento de experimentos, metodologia da pesquisa, administração de ciência e tecnologia, redes neurais artificiais, estatística multivariada, química, engenharia química, tecnologia mineral, entre outros temas.

Engenheiro Químico pela Universidade do Brasil (1969) e Mestre em Metalurgia Extrativa e Ciência dos Materiais pela COPPE (1975), em 1977 foi para o *Imperial College – University of London*, onde obteve o título de Ph.D na área de Metalurgia e Ciência e Engenharia dos Materiais (1981). Completou a sua formação na *University of Florida*, onde realizou Pós-Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais (1992).

A partir de 1970, passou a integrar o quadro docente da UFBA, onde foi professor do MEAU e do DCTM da Escola Politécnica. Foi Professor visitante dos Cursos de Pós-Graduação em Metalurgia e Ciência e Engenharia dos Materiais – COPPE/UFRJ (1984/85) e Ciência e Engenharia de Materiais – IME (1988). Nesse período, orientou diversos trabalhos de doutorado e de mestrado.

Bolsista do CNPq desde 1967, foi coordenador do Comitê Assessor (CA) de Geociências e Tecnologia Mineral do PADCT/CNPq, membro do CA de Minas, Metalurgia e Materiais do CNPq e membro do CA de Ciência e Tecnologia para o Setor Mineral da Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia.

Foi, também, consultor *ad hoc* para avaliação de projetos de pesquisa do PADCT, CNPq, FINEP, CADCT, FEP, FAPEX, UFBA, entre outras instituições, e consultor independente em diversos projetos de P&D do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia CEPED, na área de Tecnologia Química e Mineral.

# RECICLAGEM DE ENTULHO PARA A PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

## PROJETO ENTULHO BOM



Premiado pela  
**ONU**  
100 MELHORES PRÁTICAS  
para a melhoria da qualidade de vida



Premiado pela  
**CAIXA**  
10 MELHORES PRÁTICAS  
para o desenvolvimento urbano

**REDUZIR, RECICLAR E REAPROVEITAR SÃO MAIS QUE  
ATOS DE CONSCIENTIZAÇÃO: SÃO ATOS DE CIDADANIA**

**CAIXA ECONÔMICA FEDERAL**

*Presidente*

Emílio Carazzai

*Diretor de Desenvolvimento Urbano*

Aser Cortines

*Superintendente Nacional de Parcerias*

Jorge Arraes

*Gerente de Desenvolvimento Urbano*

Beatriz Cerqueira Lima

*Superintendente de Negócios*

Samuel Rocha

**FUNDAÇÃO ESCOLA POLITÉCNICA**

*Secretário Executivo*

Carlos Emílio de Menezes Strauch

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

*Reitor*

Heonir Rocha

*Vice-Reitor*

Othon Jambeiro

**EDITORA DA UFBA**

*Diretora*

Flávia Garcia Rosa

*Conselho Editorial*

Antônio Virgílio Bittencourt Bastos, Arivaldo Leão Amorim,  
Aurino Ribeiro Filho, Cid Seixas Fraga Filho,  
Fernando da Rocha Peres, Mirella Márcia Longo Vieira Lima

*Suplentes*

Cecília Maria Bacelar Sardenberg, João Augusto de Lima Rocha,  
Leda Maria Muhana Iannitelli, Maria Vidal de Negreiros Camargo,  
Naomar Monteiro de Almeida Filho, Nelson Fernandes de Oliveira

**PARCERIA**

**LIMPURB** - Empresa de Limpeza Urbana do Salvador

**PMS** - Prefeitura Municipal do Salvador

**APOIO**

**CADCT** - Superintendência de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico

**SEPLANTEC** - Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia

**Governo do Estado da Bahia**

# RECICLAGEM DE ENTULHO PARA A PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

*Organizado por*

José Clodoaldo Silva Cassa (*em memória*)

Alex Pires Carneiro

Irineu Antônio Schadach de Brum

*Textos de*

Alex Pires Carneiro

Ana Maria Vieira de Oliveira

Barbara Elizabete Correia Quadros

Célia Maria Martins Neves

Dayana Bastos Costa

Elaine Pinto Varela Alberte

Irineu Antônio Schadach de Brum

José Clodoaldo Silva Cassa (*em memória*)

Marcos Jorge Almeida Santana

Paulo César Burgos

Táís Santos Sampaio

Tarcísio de Paula Pinto

Vanderley Moacyr John

**SALVADOR**  
**2001**

Direitos desta edição cedidos à Caixa Econômica Federal e à Editora da Universidade Federal da Bahia. Permitida a transcrição ou reprodução parcial, desde que seja citada a fonte.

**EQUIPE TÉCNICA PROJETO ENTULHO BOM**  
**COORDENAÇÃO**

Prof. José Clodoaldo S. Cassa (Coordenador- DCTM / UFBA)  
Eng<sup>o</sup>. Alex P. Carneiro (Coordenador- MEAU / UFBA)  
Prof. Irineu S. de Brum (Pesquisador- DCTM / UFBA)

**COLABORADORES E CONSULTORES**

Prof. Antônio Sérgio R. da Silva (DCTM / UFBA), Eng<sup>a</sup>. Célia Maria M. Neves (CEPED)  
Prof. Emerson de A. M. Ferreira (MEAU / UFBA), Prof. Enric Vazquez (UPC / Barcelona – Espanha)  
Dr. Francisco O. Neto (Bolsita DCR-CNPq / UFBA), Dr. Giovanni Florida (Bolsista DCR-CNPq / UFBA)  
Prof. Luis Edmundo P. de Campos (GEOTEC / UFBA), Prof. Marcos Jorge A. Santana (MEAU / UFBA)  
Eng. Paulo César Burgos (GEOTEC / UFBA), Eng<sup>a</sup>. Solange B. Costa (DERBA)  
Dr. Tarcísio de P. Pinto (I&T), Prof. Vanderley M. John (PCC / USP)

**LIMPURB (Parceria)**

Arqt<sup>da</sup>. Ana Maria V. de Oliveira, Arqt<sup>da</sup>. Bárbara Elizabete C. Quadros, Arqt<sup>da</sup>. Lás Alves

**CAIXA ECONÔMICA FEDERAL**

Antônio Triana Filho, Adriana S. de Almeida, Econ. Augusto César A. de Souza Júnior  
Eng. Carlos Eduardo Guimarães, Adm. Cláudio M. Silva, Econ. Francisco Liguori  
Econ. Júlio M. Neto, Eng. Oswaldo S. de Oliveira, Eng. Raul S. de Moura  
Adm. Savio Marcos Garbin, Eng. Tacito Q. Maia

**BOLSISTAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (UFBA)**

Aledson D. Costa, André R. R. de Souza, David A. Fortuna, Dayana B. Costa, Elaine P. V. Alberte  
Enéas B. da Silva Júnior, Eric dos Santos, Fábio J. S. Carneiro, Fernanda C. Nascimento  
Geison dos S. Pereira, Rafael M. Mota, Rodrigo T. de Oliveira, Táis S. Sampaio

**REVISÃO TÉCNICA**

Dra. Luciana Amaral de Lima, Eng<sup>a</sup>. Solange Bastos Costa (Capítulo VI), Eng<sup>a</sup>. Telma Catarina C. Pires

**DESIGN GRÁFICO**

Maria Helena Pereira da Silva

**REVISÃO REDACIONAL**

Prof<sup>a</sup> Ana Maria de C. Luz

**NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA**

Maria de Fátima C. Botelho (CBR-5/908)

**FOTOGRAFIA**

Ana Carolina Castilho, Projeto Entulho Bom e Autores

---

Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção / Organizado por  
Alex Pires Carneiro, Irineu Antônio Schadach de Brum e José Clodoaldo da Silva  
Cassa. \_ Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.  
312 p. ; il.

Realização: Projeto Entulho Bom  
ISBN 85-232-0226-9

1. Reciclagem 2. Resíduos Sólidos 3. Construção Civil – Materiais de  
Construção I. Carneiro, Alex Pires. II. Brum, Irineu Antônio Schadach de.  
III. Cassa, José Clodoaldo da Silva. IV. Título.

CDU: 691.002.8

---

*Este livro é dedicado ao Professor José Clodoaldo Silva Cassa, criador do Projeto Entulho Bom, brilhante pesquisador, cuja contribuição às atividades de ensino, pesquisa e extensão no país, em especial na Escola Politécnica da UFBA representa um exemplo memorável de competência e dedicação acadêmica. O Prof. Cassa será sempre lembrado pelo seu senso crítico apurado, seu dinamismo, principalmente pelo entusiasmo com que trabalhava e estimulava o crescimento intelectual de todos que tiveram o privilégio de com ele compartilhar desafios e superar obstáculos, em nome da produção do conhecimento científico para um mundo melhor, mais digno, mais humano. Seu exemplo permanecerá, perene e multiplicador.*

---

## ○ APRESENTAÇÃO

A Caixa Econômica Federal, como principal agência do Governo Federal para o financiamento dos setores de habitação, saneamento e infra-estrutura urbana, colabora para o aprimoramento técnico e institucional desses setores, apoiando projetos de inovação tecnológica ou de gestão que tragam alternativas de melhoria das condições de habitabilidade da população de mais baixa renda. Nesse contexto, a Universidade Federal da Bahia, em parceria com a CAIXA, desenvolveu o Projeto Entulho Bom, cujo foco principal é a reciclagem e o reaproveitamento de entulho para materiais de construção, buscando minimizar os impactos socioambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos, preservar recursos naturais e melhorar a qualidade de vida na Região Metropolitana de Salvador. Acreditamos que a tecnologia aqui apresentada poderá contribuir significativamente para a melhoria da gestão dos resíduos sólidos, visto que



a sua aplicação impacta na redução da quantidade de materiais dispostos nos aterros sanitários, aumentando a sua vida útil. Além disso, a adoção dessa alternativa poderá baratear o custo de produção de moradia destinada a famílias de menor renda, minimizando, assim, o problema habitacional nas cidades brasileiras.

Vale ressaltar que, em consequência do excelente trabalho realizado, essa iniciativa foi selecionada pelo Programa CAIXA Melhores Práticas, que premiou casos de sucesso em desenvolvimento urbano no Brasil, e representou o País no Programa *Best Practices and Leadership Programme*, realizado pela ONU no ano 2000, em nível mundial, para premiar as melhores experiências em gestão urbana.

Boa leitura!

**Emílio Carazzai**

*Presidente*

**Caixa Econômica Federal**

---

## ○ PREFÁCIO

A sociedade está se tornando cada vez mais exigente em relação à questão ambiental. O entulho, resíduo das atividades de construção e demolição, apresenta-se como um dos principais problemas nas áreas urbanas, pois sua geração e descarte inadequado causam diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. As soluções para esses problemas passam por desenvolvimento e implantação de tecnologias adequadas, que busquem a redução, reutilização e reciclagem desse resíduo.

Com o objetivo de contribuir para a minimização desses impactos, a preservação de recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida, foi concebido pelo Prof. José C. Cassa, em 1997, o **Projeto Entulho Bom**, inicialmente denominado de “Aproveitamento de Resíduos Sólidos para a Produção de Materiais de Construção de Baixo Custo – Região Metropolitana de Salvador (RMS)”.

Os estudos desenvolvidos nesse projeto de pesquisa visaram ao aproveitamento seguro e racional dos resíduos sólidos disponíveis na RMS para a produção de materiais de construção, incluindo seus aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais. Na etapa inicial, foi realizado o diagnóstico dos setores produtores de resíduos da região, o qual identificou o entulho como resíduo de interesse para o projeto. Foram, então, realizadas pesquisas experimentais para a reciclagem do entulho de Salvador na produção de materiais de construção (camadas de pavimentos, argamassas e tijolos), buscando-se o manuseio ambientalmente adequado desses materiais e a ampliação da oferta de habitação e infra-estrutura urbana, de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável local.

A Caixa Econômica Federal (CAIXA) foi a primeira instituição a apoiar a pesquisa, disponibilizando recursos financeiros e

humanos fundamentais para a sua realização, administrados pela Fundação Escola Politécnica (FEP). O projeto, desenvolvido na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA), contou com a importante parceria da Empresa de Limpeza Urbana do Salvador (LIMPURB) nos estudos do entulho de Salvador. A Superintendência de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado da Bahia (CADCT), por sua vez, apoiou a pesquisa, viabilizando os recursos necessários para a realização de diversas atividades a ela vinculadas.

O Projeto Entulho Bom, sendo reconhecido pela relevância do trabalho e dos resultados positivos que obteve ao longo do seu desenvolvimento, foi consagrado, em 2000, com o prêmio **10 Melhores Práticas do Brasil** para o desenvolvimento sustentável do Programa CAIXA Melhores Práticas. O projeto também foi escolhido como uma das **100 Melhores Práticas do Mundo**, entre cerca de 700 concorrentes, no *Best Practices and Local Leadership Programme*, promovido, no mesmo ano, pela Organização das Nações Unidas.

No âmbito local, os estudos realizados contribuíram, de forma significativa, para a questão do aproveitamento de resíduos como materiais de construção na região de Salvador e para o desenvolvimento das atividades de pesquisa da UFBA. O projeto subsidiou a elaboração da dissertação “Reciclagem de Entulho de Salvador para a Produção de Materiais de Construção”, de autoria do pesquisador Eng. Alex Carneiro no mestrado em Engenharia Ambiental Urbana - UFBA. Além disso, contribuiu para a formação acadêmica de mais de 10 alunos de iniciação científica dos cursos de graduação em Engenharia da UFBA. Consolidou, ainda, um grupo de pesquisa sobre materiais de construção e criou uma rede cooperativa de pesquisa na área de aproveitamento de resíduos no DCTM - UFBA.

Os resultados alcançados na transferência de conhecimento podem ser avaliados pela boa repercussão dos eventos promovidos pelo projeto: o *Workshop* “Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais e Urbanos na Construção Civil” e o Curso Internacional “Aproveitamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil”, ambos realizados em 1998, na Escola Politécnica da UFBA.

Além disso, a qualidade e quantidade das publicações desenvolvidas pela equipe (mais de 25 artigos publicados em anais de congressos nacionais e internacionais e revistas indexadas) e a boa aceitação dos trabalhos apresentados em eventos técnico-científicos contribuíram, também, para a transferência de conhecimento.

A publicação deste livro é uma das formas mais eficientes de transferência de conhecimento do Projeto Entulho Bom. Aqui são apresentados seus principais resultados, consolidando o conhecimento adquirido e disponível durante o desenvolvimento dessa pesquisa. Esta publicação consiste num conjunto de textos com a valiosa contribuição de diversos pesquisadores que são referência sobre o tema.

Na introdução, o Prof. Enric Vazquez prepara os leitores para um melhor entendimento das questões apresentadas no livro, contribuindo, assim, com sua experiência de mais de 10 anos desenvolvendo estudos sobre o tema. São abordadas questões como a geração de resíduos na construção, a reciclagem de entulho, o panorama da reciclagem na Europa, entre outras.

Os aspectos relacionados com o desenvolvimento sustentável e os impactos ambientais causados pela construção civil são detalhadamente abordados pelo Prof. Vanderley John no capítulo I. Nesse capítulo, é destacada a importância da reciclagem de resíduos sólidos na produção de materiais de construção e a necessidade de desenvolver estudos multidisciplinares.

No capítulo II, é apresentado o diagnóstico dos setores produtores de resíduos da Região Metropolitana de Salvador. Esse diagnóstico possibilitou a identificação e a caracterização das principais ocorrências de resíduos sólidos que ofereciam condições de utilização como materiais de construção da região, selecionando o entulho como resíduo de interesse para o projeto.

A gestão adequada dos resíduos sólidos de construção e demolição é o tema abordado pelo Dr. Tarísio Pinto no Capítulo III, onde é dada uma atenção especial às questões da eficiência e sustentabilidade da gestão diferenciada *versus* a gestão corretiva.

No Capítulo IV, as arquitetas Ana Vieira e Bárbara Quadros apresentam o Plano de Gestão Diferenciada do Entulho que está sendo implantado em Salvador pela LIMPURB (Empresa de Limpeza Urbana do Salvador). Nesse capítulo, são expostos os objetivos, a concepção, a estratégia de implantação e os benefícios desse plano.

No capítulo V, são apresentadas as características do entulho e as propriedades dos agregados reciclados produzidos a partir desse resíduo, incluindo-se os resultados obtidos com a experiência realizada em Salvador para a caracterização desses materiais.

Os capítulos VI, VII e VIII abordam, respectivamente, a utilização de agregado reciclado em pavimentos, tijolos e argamassas. Nesses capítulos, além da fundamentação teórica sobre o tema, são relatadas as experiências realizadas em Salvador sobre o desempenho dos materiais produzidos com agregado reciclado.

Por fim, no capítulo de considerações finais, é apresentada a síntese das vantagens da reciclagem do entulho e discutida a necessidade de estudos complementares e de mecanismos para a sua efetiva implantação.

Pioneiro no país sobre o tema, este livro deverá contribuir para a difusão de práticas e técnicas para a reciclagem do entulho e para a minimização dos impactos causados pela sua geração. Ele é dirigido a empresas de construção civil, indústrias geradoras de resíduos, empresas de tratamento e disposição final de resíduos, empresas de gestão de resíduos, instituições do setor de habitação popular, fabricantes de materiais de construção, Secretarias de Governo e Prefeituras, organizações ambientais, universidades, instituições de pesquisa e demais profissionais, pesquisadores e estudantes interessados no tema. Espera-se que a sua leitura contribua para a conscientização do meio técnico sobre a necessidade de reduzir, reutilizar e reciclar resíduos.

**Os organizadores**

## ○ AGRADECIMENTOS

Durante os últimos três anos e meio em que desenvolvemos o Projeto Entulho Bom, diversas instituições e pessoas contribuíram, de forma significativa e valiosa, para os trabalhos que culminam com esta publicação, às quais expressamos nosso profundo agradecimento:

À Caixa Econômica Federal, pelo apoio pioneiro e irrestrito a esta atividade de pesquisa, viabilizando o alcance de resultados tão relevantes; especialmente a Beatriz Lima, Osvaldo Serrano, Jorge Arraes, Augusto César de Souza Jr., Telma Pires, Francisco Ligouri, Tácito Maia, Raul de Moura e demais dirigentes e técnicos, que se dedicaram efetivamente para o sucesso do projeto.

À Fundação Escola Politécnica, pela eficiente administração financeira dos recursos e ao seu Secretário Executivo, Carlos Emílio Strauch, e à sua equipe, pelo apoio nos momentos em que mais precisamos.

À Empresa de Limpeza Urbana do Salvador, na figura do seu presidente, Dr. Jalon Oliveira, pela parceria fundamental e indispensável ao projeto, e a Ana Vieira, Bárbara Quadros, Rilda Bloise e demais funcionários dessa instituição envolvidos com o Projeto Entulho Bom, pelo afinho com que se dedicam ao tema.

À Superintendência de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, na pessoa de sua diretora, Dra. Cleilza Andrade, pelo apoio financeiro, essencial às diversas atividades desenvolvidas pelo Projeto Entulho Bom; e a Ana Oliveira, pela presteza e disposição em colaborar para o êxito deste projeto.

À Universidade Federal da Bahia, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa, em especial ao Magnífico Reitor, Prof. Heonir Rocha, aos Profs. Caiuby Alves, Luis Edmundo Campos e demais professores, pesquisadores, funcionários e alunos da

Escola Politécnica, que nos deram o apoio decisivo para continuarmos o trabalho, sobretudo, após a prematura partida do Prof. José Clodoaldo Cassa.

Ao Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana da UFBA, em especial a Emerson Ferreira, Marcos Jorge Santana e demais professores, funcionários e alunos, que nos deram suporte e depositaram confiança neste trabalho.

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFBA, especialmente a Caio Mário Castilho, Maria do Carmo Cabanelas e Maria Lúcia Senna, pelo apoio e pela concessão de bolsas de Iniciação Científica.

Ao Núcleo de Tecnologia de Preservação e Restauro da UFBA, particularmente a Mário Mendonça e Allard do Amaral, pela colaboração ao projeto.

À Editora da UFBA, em especial à sua diretora, Flávia Rosa, pelo apoio e orientação para a elaboração deste livro.

Ao Departamento de Infraestrutura e Rodagens da Bahia – Setor de Pesquisa Tecnológica, em especial a Solange Costa e a Ubirajara Souza, e ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento do Estado da Bahia, em especial a Célia Neves, pelas significativas contribuições ao projeto, materializadas na transferência de conhecimento para a equipe e na realização de ensaios laboratoriais indispensáveis à pesquisa.

Às diversas instituições e empresas da Região Metropolitana de Salvador – CONDER, CRA, FIEB, SIC, SEPLANTEC, SGM, SINDUSCON, SUDIC, UEFS, Aratu, Ciminas, Concremassa, Concreta, Drescon, Microsílica, Nassau, Poty, Sika, Vedacit – que contribuíram para a realização do diagnóstico dos resíduos e para as atividades experimentais do projeto.

A Ana Luz, pela paciência e dedicação na revisão redacional, a Maria de Fátima Cleomenis, pela normalização bibliográfica, e a



Maria Helena Pereira da Silva, pela sensibilidade e criatividade na concepção do *design* gráfico deste livro.

A Luciana Amaral de Lima, pela motivação e apoio decisivos na elaboração deste livro e que, com o seu conhecimento, ajudou a enriquecer a publicação.

Aos professores e pesquisadores Enric Vazquez, Tarcísio Pinto e Vanderley John que, além de parceiros desta publicação, são também idealizadores de uma nova mentalidade na área de resíduos.

As pesquisadoras Elaine Alberte, Dayana Costa e Táis Sampaio, pela dedicação, perseverança, competência e entusiasmo com que desenvolveram as atividades do Projeto Entulho Bom, tornando-se peças fundamentais para o êxito deste trabalho.

Aos professores e pesquisadores Paulo Burgos, Antônio Sérgio da Silva, Giovanni Floridia e Francisco Oliveira Neto, que colaboraram de forma significativa para o desenvolvimento do projeto.

Aos bolsistas de iniciação científica da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Aledson Costa, André Rodamilans, David Fortuna, Fábio Carneiro, Geison Pereira, Rafael Mota, Rodrigo Tejo, que tanto contribuíram nas atividades iniciais deste projeto, e aos bolsistas Eric dos Santos, Fernanda Calmon e Enéas da Silva Jr., pelo apoio na conclusão deste livro.

Aos técnicos laboratoriais Armando José da Silva, Emanuel do Nascimento, Ivo Oliveira, José Renato da Silva, Júlio Muniz, Luís Orlando Lima e Paulo César Santana, dos Laboratórios de Materiais de Construção e de Geotecnia do DCTM - UFBA e do Laboratório de Engenharia Civil do CEPED, pela dedicação na realização dos ensaios.

Por fim, a todos aqueles que não foram citados, mas que contribuíram, de alguma maneira, para o sucesso na concretização deste trabalho.

**Os organizadores**





## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>22</b>
-------------------	-----------

**Enric Vázquez**

### **CAPÍTULO I**

<b>APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</b>	<b>26</b>
------------------------------------------------------------------------	-----------

**Vanderley M. John**

<b>DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b>	<b>28</b>
------------------------------------	-----------

<b>A CONSTRUÇÃO CIVIL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b>	<b>29</b>
---------------------------------------------------------	-----------

<b>RECICLAGEM E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</b>	<b>35</b>
-------------------------------------------------	-----------

Vantagens Ambientais da Reciclagem

Riscos da Reciclagem

<b>RECICLAGEM PRIMÁRIA VERSUS SECUNDÁRIA</b>	<b>39</b>
----------------------------------------------	-----------

<b>RECICLAGEM DE RESÍDUOS E MULTIDISCIPLINARIDADE</b>	<b>40</b>
-------------------------------------------------------	-----------

<b>CONCLUSÃO</b>	<b>43</b>
------------------	-----------

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>43</b>
-----------------------------------	-----------

### **CAPÍTULO II**

<b>DIAGNÓSTICO DOS SETORES PRODUTORES DE RESÍDUOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR/BA</b>	<b>46</b>
----------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

**José Clodoaldo S. Cassa, Irineu Antônio S. de Brum,**

**Alex Pires Carneiro, Dayana Bastos Costa**

<b>DIAGNÓSTICO DO SETOR QUÍMICO</b>	<b>49</b>
-------------------------------------	-----------

Complexo Petroquímico de Camacari – COPEC

Centro Industrial de Aratu – CIA

Indústria Cerâmica da RMS

<b>DIAGNÓSTICO DOS SETORES DE MINERAÇÃO E METALURGIA</b>	<b>57</b>
----------------------------------------------------------	-----------

<b>DIAGNÓSTICO DO SETOR DE LIMPEZA URBANA</b>	<b>61</b>
-----------------------------------------------	-----------

<b>DIAGNÓSTICO DO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL</b>	<b>65</b>
-------------------------------------------------	-----------

<b>CONCLUSÃO</b>	<b>69</b>
------------------	-----------

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>73</b>
-----------------------------------	-----------

### **CAPÍTULO III**

<b>GESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM ÁREAS URBANAS – DA INEFICÁCIA A UM MODELO DE GESTÃO SUSTENTÁVEL</b>	<b>76</b>
<b>Tarcísio de Paula Pinto</b>	
<b>IMPACTOS DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)</b>	<b>79</b>
<b>POTENCIAL DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO</b>	<b>87</b>
<b>A GESTÃO DIFERENCIADA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO</b>	<b>91</b>
Facilitação da Disposição	
Segregação na Captação	
Reciclagem para Alteração da Destinação	
<b>BASES LEGAIS PARA UMA NOVA GESTÃO</b>	<b>102</b>
<b>CUSTOS OPERACIONAIS E INVESTIMENTOS PARA A GESTÃO DIFERENCIADA</b>	<b>105</b>
<b>COMENTÁRIOS FINAIS</b>	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>112</b>

### **CAPÍTULO IV**

<b>GESTÃO DIFERENCIADA DO ENTULHO NA CIDADE DE SALVADOR</b>	<b>114</b>
<b>Bárbara Elizabete C. Quadros, Ana Maria V. de Oliveira</b>	
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>117</b>
A Cidade de Salvador	
A Limpurb	
O Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos	
<b>EVOLUÇÃO DA GESTÃO DO ENTULHO</b>	<b>124</b>
<b>PROJETO DE GESTÃO DIFERENCIADA DE ENTULHO</b>	<b>128</b>
Concepção	
Estratégia de Implantação	
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>137</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>141</b>

## **CAPÍTULO V**

### **CARACTERÍSTICAS DO ENTULHO E DO AGREGADO RECICLADO 142**

**Alex Pires Carneiro, Bárbara Elizabete C. Quadros,  
Ana Maria V. de Oliveira, Irineu Antônio S. de Brum  
Táís Santos Sampaio, Elaine Pinto V. Alberte, Dayana Bastos Costa**

**CARACTERÍSTICAS DO ENTULHO 146**

**CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO RECICLADO 152**

**PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO AGREGADO RECICLADO 154**

**RECICLAGEM DE ENTULHO E ECONOMIA 157**

#### **EXPERIÊNCIA REALIZADA**

**CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO E DO AGREGADO RECICLADO  
DE SALVADOR 159**

**CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO 160**

Apresentação e Análise dos Resultados

**CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO 168**

Apresentação dos Resultados

**APLICAÇÕES DO AGREGADO RECICLADO 177**

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA 179**

**CONCLUSÃO 181**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 182**

**NORMAS TÉCNICAS CITADAS 186**

## **CAPÍTULO VI**

### **USO DO AGREGADO RECICLADO EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS 188**

**Alex Pires Carneiro, Paulo César Burgos, Elaine Pinto V. Alberte**

**CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE PAVIMENTOS 192**

Materiais

Propriedades e Especificações dos Materiais

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS 198**

Métodos Tradicionais

Métodos MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM PAVIMENTOS 201**

## **EXPERIÊNCIA REALIZADA**

<b>USO DO AGREGADO RECICLADO DE SALVADOR EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTOS</b>	<b>204</b>
<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	<b>205</b>
<b>MÉTODOS DE AVALIAÇÃO</b>	<b>207</b>
<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>208</b>
Metodo Tradicional	
Metodo MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)	
Avaliação Econômica	
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>223</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>225</b>
<b>NORMAS TÉCNICAS CITADAS</b>	<b>227</b>

## **CAPÍTULO VII**

<b>USO DO AGREGADO RECICLADO EM TIJOLOS DE SOLO ESTABILIZADO COM CIMENTO</b>	<b>228</b>
<i>Célia Maria M. Neves, Alex Pires Carneiro, Dayana Bastos Costa</i>	
<b>USO DO SOLO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO</b>	<b>233</b>
<b>TIJOLOS E BLOCOS DE SOLO ESTABILIZADO</b>	<b>235</b>
<b>FABRICAÇÃO DE TIJOLOS E BLOCOS DE SOLO ESTABILIZADO</b>	<b>236</b>
Equipamentos de fabricação de tijolos e blocos	
<b>CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE SOLO E DOSAGEM DE TRAÇO</b>	<b>242</b>
<b>REQUISITOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE</b>	<b>243</b>
<b>EXPERIÊNCIA REALIZADA</b>	
<b>O USO DO AGREGADO RECICLADO DE SALVADOR EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO</b>	<b>245</b>
<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	<b>247</b>
<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>248</b>
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>256</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>258</b>
<b>NORMAS TÉCNICAS CITADAS</b>	<b>260</b>

## **CAPÍTULO VIII**

<b>USO DO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO</b>	<b>262</b>
<b>Marcos Jorge A. Santana, Alex Pires Carneiro, Táis Santos Sampaio</b>	
<b>UTILIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS</b>	<b>266</b>
<b>AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO</b>	<b>269</b>
Propriedades da Argamassa no Estado Fresco	
Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido – Argamassas em Corpos-de-Prova	
Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido – Argamassas em Painéis	
Critérios de avaliação das argamassas de revestimento	
<b>EXPERIÊNCIA REALIZADA</b>	
<b>USO DO AGREGADO RECICLADO DE SALVADOR EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO</b>	<b>276</b>
<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	<b>277</b>
<b>MÉTODO DE PRODUÇÃO E DE AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS</b>	<b>278</b>
<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>283</b>
Argamassas no Estado Fresco	
Argamassas no Estado Endurecido – corpos-de-prova	
Argamassas no Estado Endurecido – Painéis de revestimento	
Avaliação Subjetiva das Argamassas	
Avaliação Econômica	
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>292</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>295</b>
<b>NORMAS TÉCNICAS CITADAS</b>	<b>297</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	
<b>REDUÇÃO, RECICLAGEM E REAPROVEITAMENTO – AÇÕES DE CIDADANIA</b>	<b>300</b>
<b>Alex Pires Carneiro</b>	

## ○ INTRODUÇÃO

Em 1987, o Relatório Brundtland “Our Common future” dizia que “o desenvolvimento é sustentável quando satisfaz às necessidades das gerações atuais, sem hipotecar a capacidade das gerações futuras de satisfazer às suas próprias”. Tratava-se de uma chamada a estender a solidariedade até as gerações futuras. Ao problema ético clássico da distribuição eqüitativa dos recursos somava-se a questão sobre que recursos, em que forma e a que velocidade distribuir e usar. A resposta geral não é outra senão que “em um mundo finito, o crescimento não pode ser sustentado e o desenvolvimento tem que ser sustentável, ou não será”.

Concretamente, torna-se imprescindível o uso mais racional dos recursos tais como a energia e as matérias primas naturais, bem como a implantação de uma gestão de resíduos mais lógica. A indústria da construção origina uma enorme corrente de resíduos dos processos de demolição e construção, e usa e abusa das matérias primas naturais como os agregados. Só na União Européia, os resíduos da construção estão entre 221-334 milhões de toneladas por ano, o que significa de 607 a 918 kg/pessoa/ano, frente a uma média de 390 kg/pessoa/ano de resíduos sólidos urbanos (lixo doméstico). Em recente publicação, pesquisadores do Projeto Entulho Bom da Universidade Federal da Bahia mostram que a evolução da coleta de resíduos da construção, na cidade de Salvador, passou de 200.000 t/ano, em 1996, para mais de 500.000 t/ano, em 1998. A caracterização realizada detectou um alto potencial de reciclabilidade desses resíduos.

Não cabe dúvida de que a importância dessa reciclagem não escapou ao Brasil.





A Construção Sustentável baseia-se na prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, no uso dos resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte. Portanto, devem ser tomadas medidas que transformem as correntes de resíduos em recursos reutilizáveis. A maior parte da investigação dirigiu-se aos resíduos de construção e demolição. Quando esses resíduos são selecionados, graduados e limpos adequadamente, tornam-se um agregado secundário, cuja utilização, em função da origem e tratamento, cobrem desde um aterro até um concreto.

Na Holanda, Alemanha, Dinamarca e Bélgica, as primeiras usinas de reciclagem entraram em serviço há 15 anos. No Reino Unido, França e Espanha, a experiência ainda não cumpriu uma década. As usinas estão sempre concentradas em áreas urbanas, pois é onde ocorre a máxima produção de resíduos e também onde se apresenta a maior e mais constante demanda de materiais. A maior parte do material secundário, obtido nas usinas de tratamento, vai para os pavimentos como material de sub-base ou base, simplesmente compactado ou tratado com algum ligante para aumentar sua coesão e capacidade portante.

Em 1999, o Relatório Symonds concluiu que o nível médio de reciclagem, na construção europeia, era somente de 28%, e a demolição seletiva ainda era pouco freqüente. Essa é a causa do predomínio das aplicações nas bases e sub-bases de pavimentos e de um limitado uso no concreto. A situação pode ser decepcionante, se não se impulsionar a atividade a partir do setor público, através de um sistema de impostos. Em nosso país, como provavelmente em muitos lugares do Brasil, a competição do agregado natural primário é feroz e, até muito recentemente, não se havia adequado as taxas de deposição, nem aplicado com rigor a lei de aterros sanitários

especiais. O voluntariado de investigadores, os técnicos e os importantes investimentos de empresas do setor reciclador não tiveram mais que um modesto reflexo na prática construtiva cotidiana.

O principal obstáculo estava na crença de que um material secundário não pode ter constância na qualidade. Além disso, os materiais secundários estão constantemente sujeitos aos mesmos requerimentos dos primários, por falta de normas adequadas. A produção de materiais secundários de alta qualidade, comparáveis aos primários, é possível, porém os custos de produção de tais materiais tendem a ser algo maiores. De uma forma clara, só se pode competir em aplicações “low-tech”, como as já citadas, naquelas em que o nível de exigência rebaixa os custos de produção. Por isso, o papel estratégico dos governos ou das autoridades do estado é decisivo, guiando economicamente as reciclagens e deposições, exigindo o cumprimento das leis, cobrando os impostos e depósitos e orientando os processos de reciclagem. Não se pode esquecer, além disso, que existem situações particulares em que a produção de agregados reciclados de alta qualidade para o concreto pode ser claramente competitiva.

Na Catalunha, no último ano, conseguimos dar um passo de gigante, que abre, por fim, as portas ao uso desses materiais secundários de uma forma massiva e programada. O GERD (Demolition Recycling Companies Guild) preparou e pactuou, em conjunto com o governo catalão, um programa 2001-2006 de “Construção com Materiais Residuais”. Esse programa é, ao mesmo tempo, um importante documento para a planificação territorial de infraestruturas que incluirão materiais secundários. O programa integra as realidades do setor industrial, as realidades da produção de materiais secundários e os deveres impostos pela convergência europeia. Os pontos desse programa estão contidos nos três objetivos fundamentais:



1. O desenvolvimento de mecanismos administrativos eficientes
2. A introdução de um novo modelo de aterro sanitário (Classe I), a modificação das taxas de deposição e outras medidas econômicas para tornar atrativa a reciclagem.
3. O desenvolvimento das atividades recicladoras e o uso real desses produtos na construção.

A Administração Catalã de Pavimentação já autorizou o uso desses materiais em suas obras, e a Instituição Espanhola para o Concreto iniciou o caminho sem retorno da mesma autorização, pela mão do nosso Departamento Universitário.

Em toda Espanha, o objetivo é alcançar 40% de reciclagem em 6 anos. Em nosso Estado isso será possível.

O caminho da aceitação desses materiais é longo, cheio de obstáculos e de desencorajadores passos atrás. Porém uma modesta experiência de 10 anos e os últimos êxitos nos permitem animar os companheiros brasileiros a continuar nesse caminho também iniciado e a perseverar na aplicação dos logros e estratégias que se apresentam neste livro. Em qualquer caso, sempre estaremos dispostos a colaborar no progresso do querido Brasil que, para mim, já é uma segunda pátria.

O exemplo do professor e amigo J. Cassa fica como guia e, para nós, a lembrança de sua humanidade, inteligência e gentileza perdurará o resto de nossas vidas.

**Prof. Dr. Enric Vázquez**

*Universidade Politécnica da Catalunha - Barcelona / Espanha  
Departamento de Engenharia da Construção*

Traduzido pela **Dra. Luciana Amaral de Lima**