



Tratamento de Resíduos de Construção e Demolição

Prof. Sérgio Angulo

Laboratório de Materiais e Ecoeficiência de Materiais

sergio.angulo@lme.pcc.usp.br

**APRESENTANDO
O PROBLEMA**

Cenário a ser evitado



www.prefeitura.sp.gov.br

Cenário a ser evitado



www.prefeitura.sp.gov.br

Redes da gestão

SISTEMA DE GESTÃO PARA RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E RESÍDUOS VOLUMOSOS

FACILITAR
descarte
correto

DISCIPLINAR
atores e
fluxos

INCENTIVAR
redução, segregação
e reciclagem



AÇÃO 1
**REDE PARA
GESTÃO DE
PEQUENOS VOLUMES**
(Pontos de entrega
distribuídos pela zona urbana)
(serviço público de coleta)

AÇÃO 2
**REDE PARA
GESTÃO DE
GRANDES VOLUMES**
(Áreas de triagem e transbordo, áreas de
reciclagem, aterros para reservação, aterros
permanentes de RCD)
(prioridade à ação privada regulamentada)

AÇÃO 3
PROGRAMA DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL

AÇÃO 4
PROGRAMA DE FISCALIZAÇÃO

Classes dos resíduos (CONAMA 307)

Classe	Materiais	Finalidade
A	Concreto, argamassa, cerâmica vermelha, etc	Produzir agregados (britas, areias) para construção
B	Madeira serrada, aço, plástico, gesso, etc	Produzir produtos reciclados para setor industrial específico
C	Compósitos (fibras), mantas asfálticas, etc	Indisponíveis, por razões tecnológicas ou econômicas
D	Lâmpadas fluorescentes, cimento amianto, etc	Manejo adequado de resíduos perigosos, sendo alguns recicláveis

Destinos dos resíduos misturados

- Prática proibida pela Resolução CONAMA 307/PNRS
- Classes A, B, C e D (resíduo perigoso) → Aterro industrial (Classe I)
- Classes A (cimentícios) e B (madeira, gesso) → Aterro sanitário (Classe IIa)

Destinos dos resíduos triados

- Prática recomendada pela legislação
- Classe A e B → Área de Triagem e Transbordo (ATT)
- Classe A → Aterro de Inertes ou Usinas de Reciclagem
- Classe B → Catadores e Indústrias recicladoras
- Classe C e D → Aterros específicos

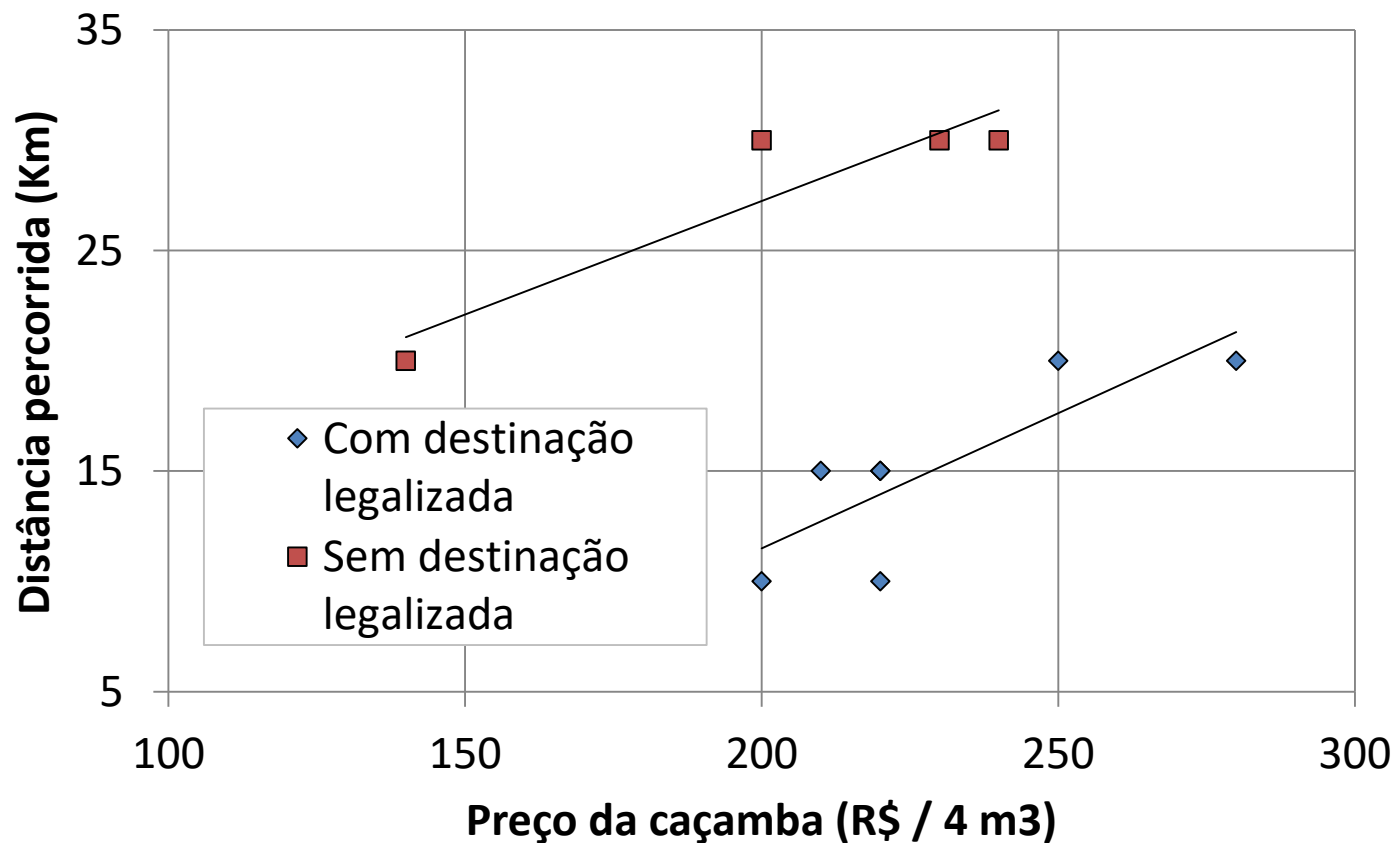
Custos dos destinos dos resíduos

Destino	Custo (R\$ / m ³)
Aterro Classe I	350
Aterro sanitário	100
ATT (com gesso)	25 (50)
Aterro inertes ou Usinas de reciclagem	15

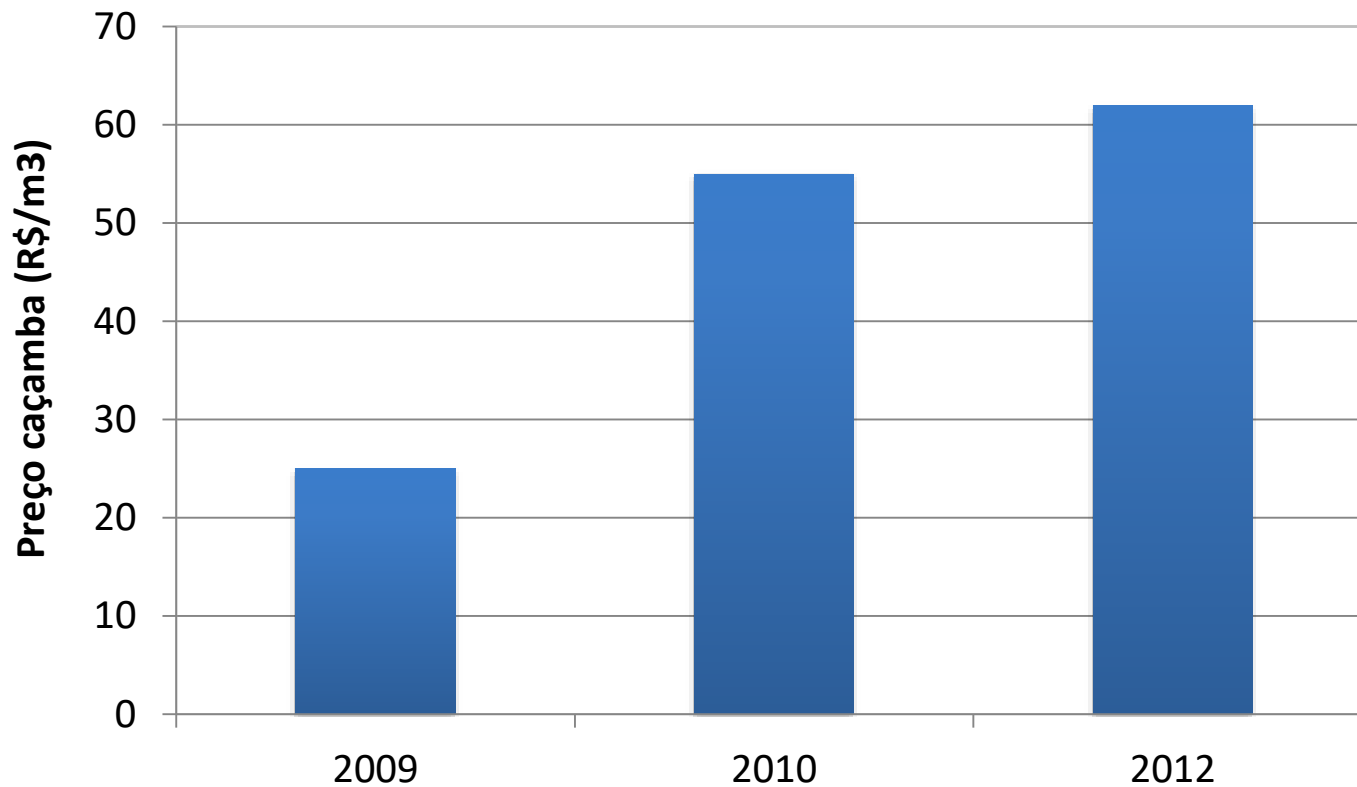
Legalização do transporte

- formaliza as condições impróprias do trabalho
- atende as legislações ambientais, mas restringe as opções de destino
- tem, como consequência, aumento de custo.

Preços das caçambas na RMSP



Evolução do preço na RMSP



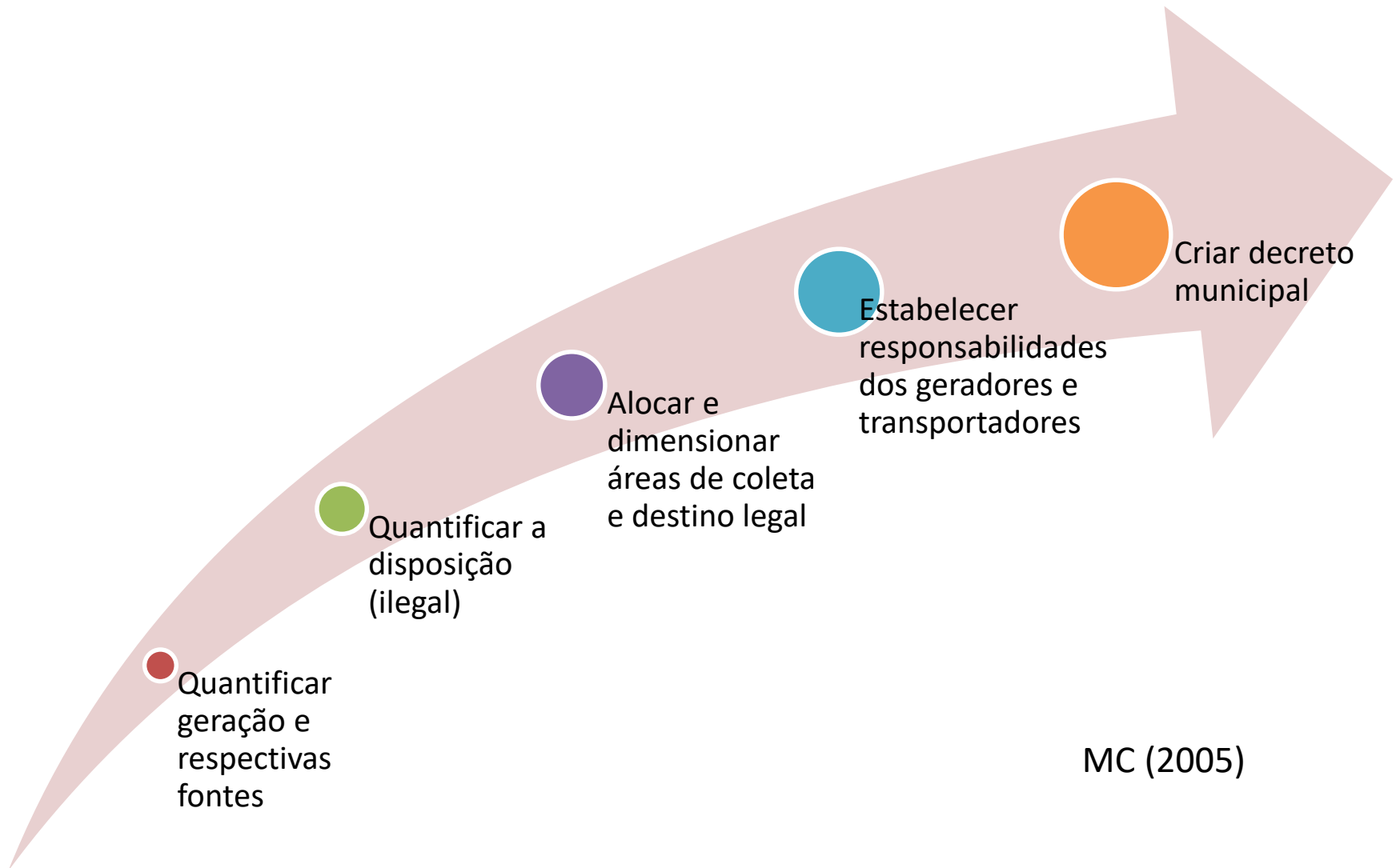
Dados de 2009 e 2010 extraídos de reportagens disponíveis no google.

Observações

- Separar resíduos e usar transportadores legalizados são fundamentais para atender a legislação ambiental.
- Apesar do inevitável aumento no custo do transporte, a triagem dos resíduos implica em menores custos para a destinação.
- A gestão de resíduos está se tornando cada vez mais importante.

DESAFIOS DA GESTÃO

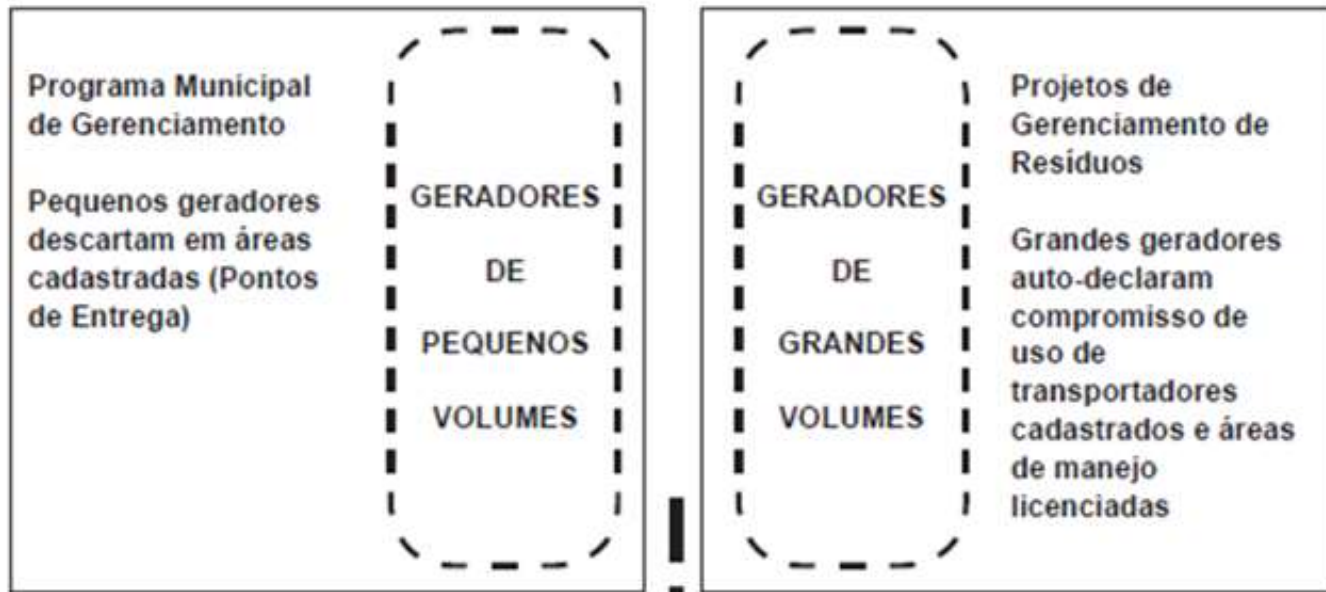
Gestão de RCD no Brasil



MC (2005)

Atribuição de responsabilidades

**PLANO INTEGRADO DE GERENCIAMENTO
DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**
(Resolução CONAMA nº 307)

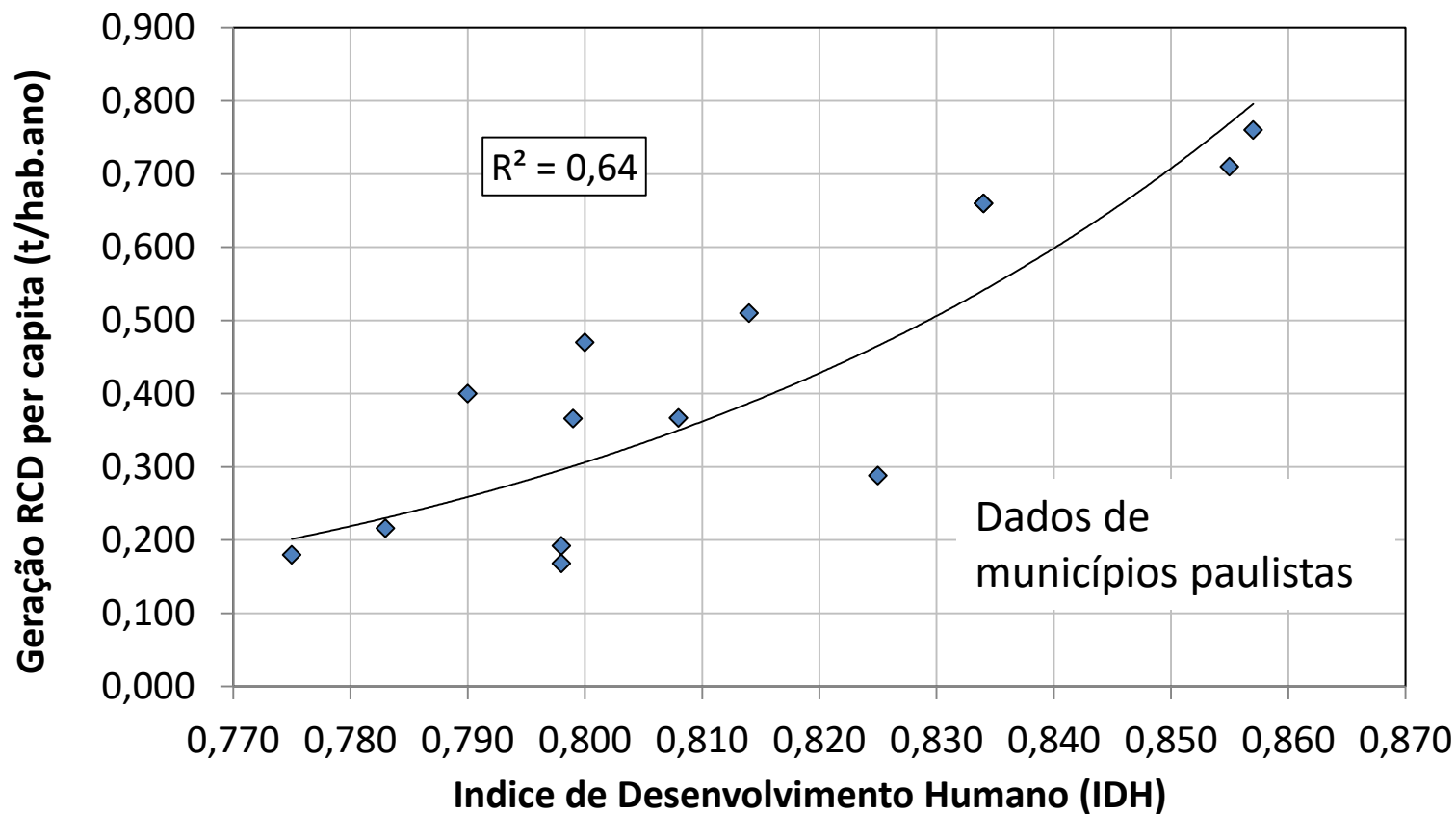


Linhas divisórias entre pequenos e grandes geradores a critério técnico do sistema de limpeza urbana local

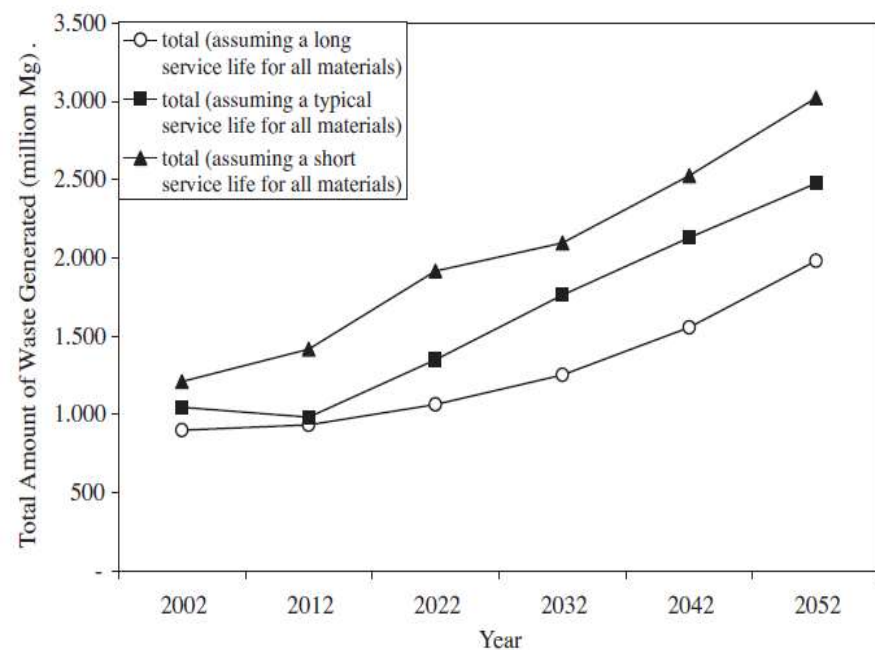
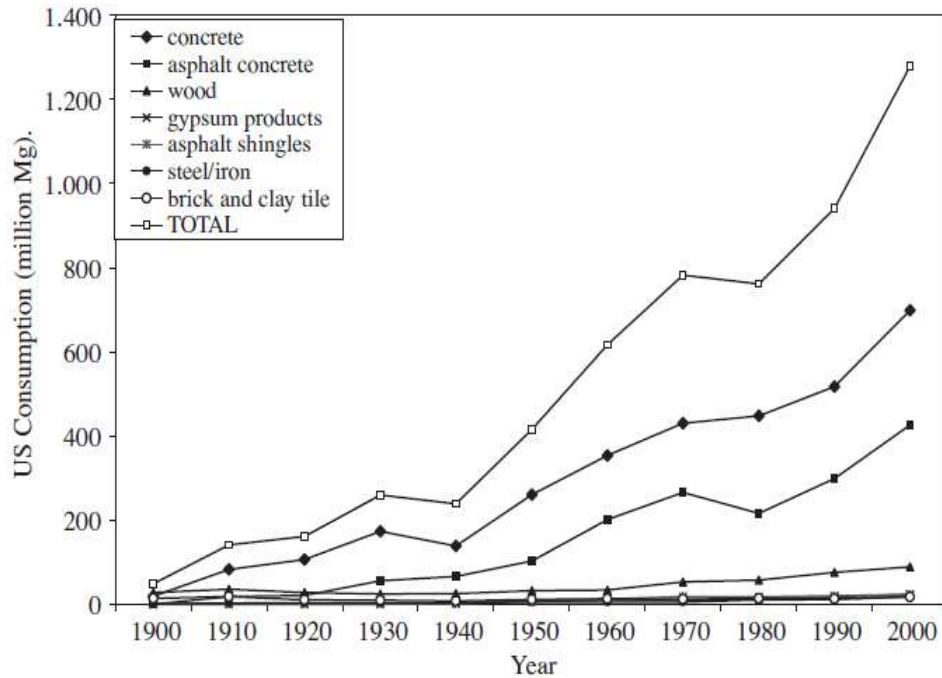
Quantificação do RCD

- Baseado no número de cargas declaradas (em volume) pelos caçambeiros, sem **métodos para estimativa e checagem.**

Estimar a geração (indicadores sócio-econômicos)



Checar a geração (materials flow)

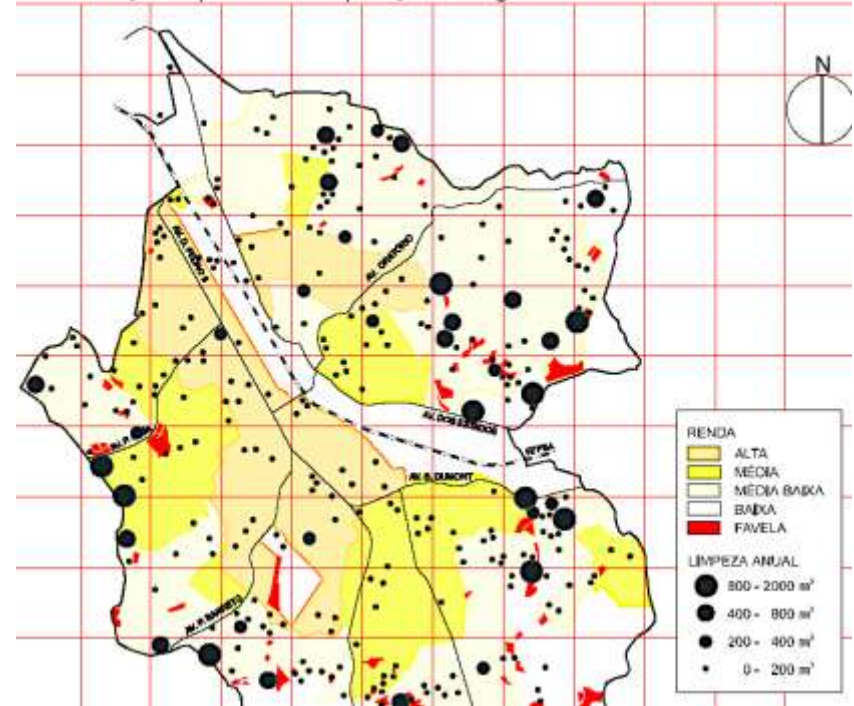


Cochran; Townsend. Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach . Waste Management 30 (2010) 2247-2254

Quantificação das disposições irregulares

- Levantamento de campo das disposições irregulares
 - Caro (mão-de-obra)
 - Difícil atualização.

Localização e porte das deposições irregulares em Santo André / SP



Pinto (1999)

Rastrear
(diagnóstico mais rápido)



Quantificar (3D reconstruction)

Pressione Esc para sair do modo de tela cheia.

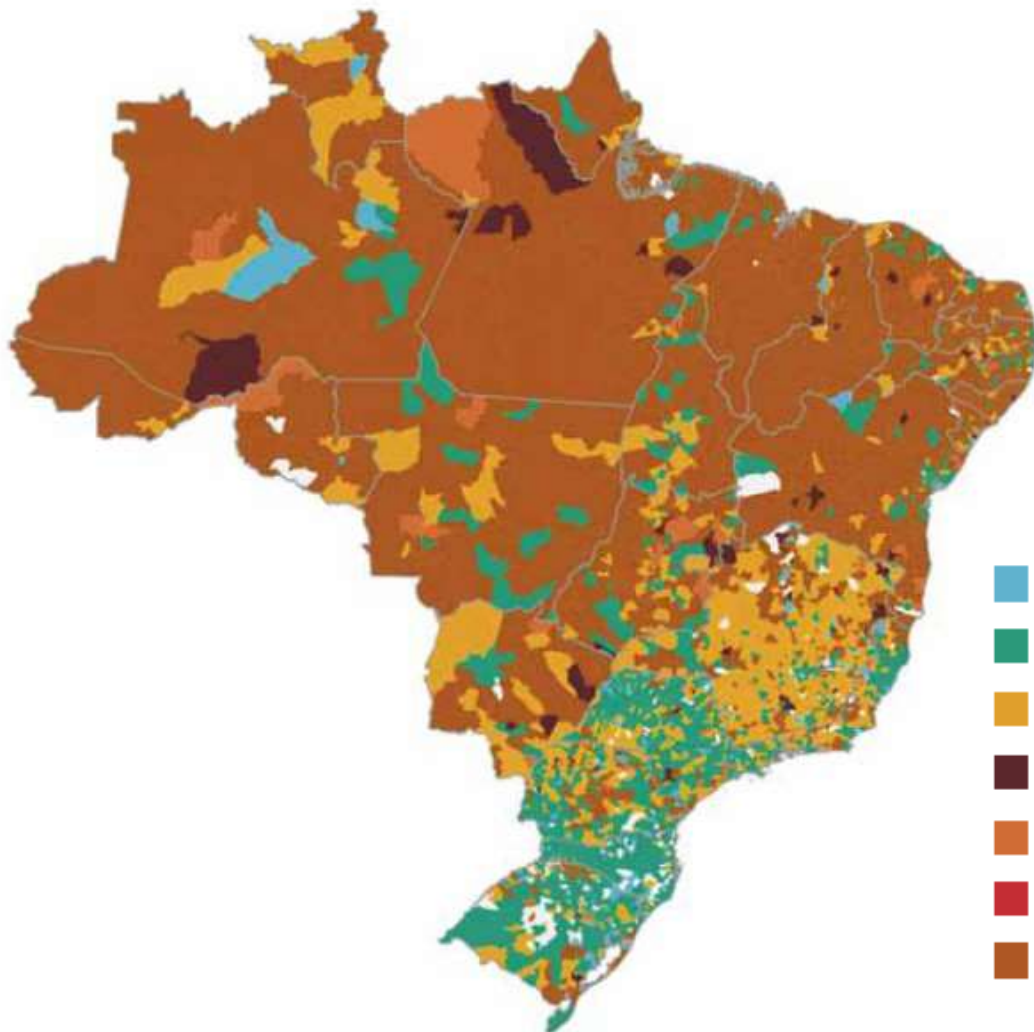









Locais de coleta e destino legalizado

- Viável nos municípios brasileiros de maior porte (> 100.000 hab).
 - Nenhum desses municípios apresenta deficiências graves na gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU).
- Assim, a gestão de RCD depende de uma gestão apropriada de RSU.**

Destinação Final de Resíduos Sólidos no Brasil

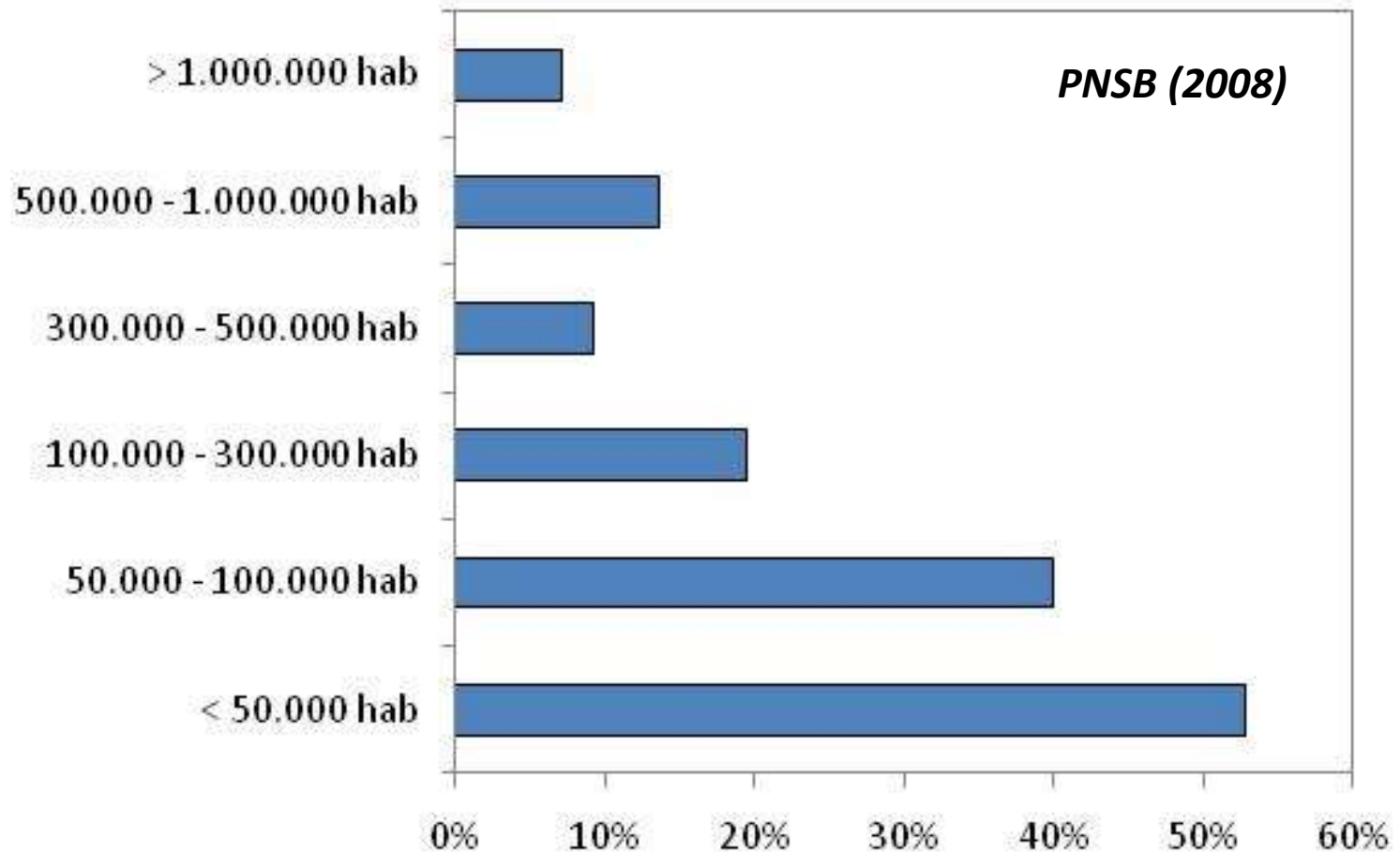
Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008)



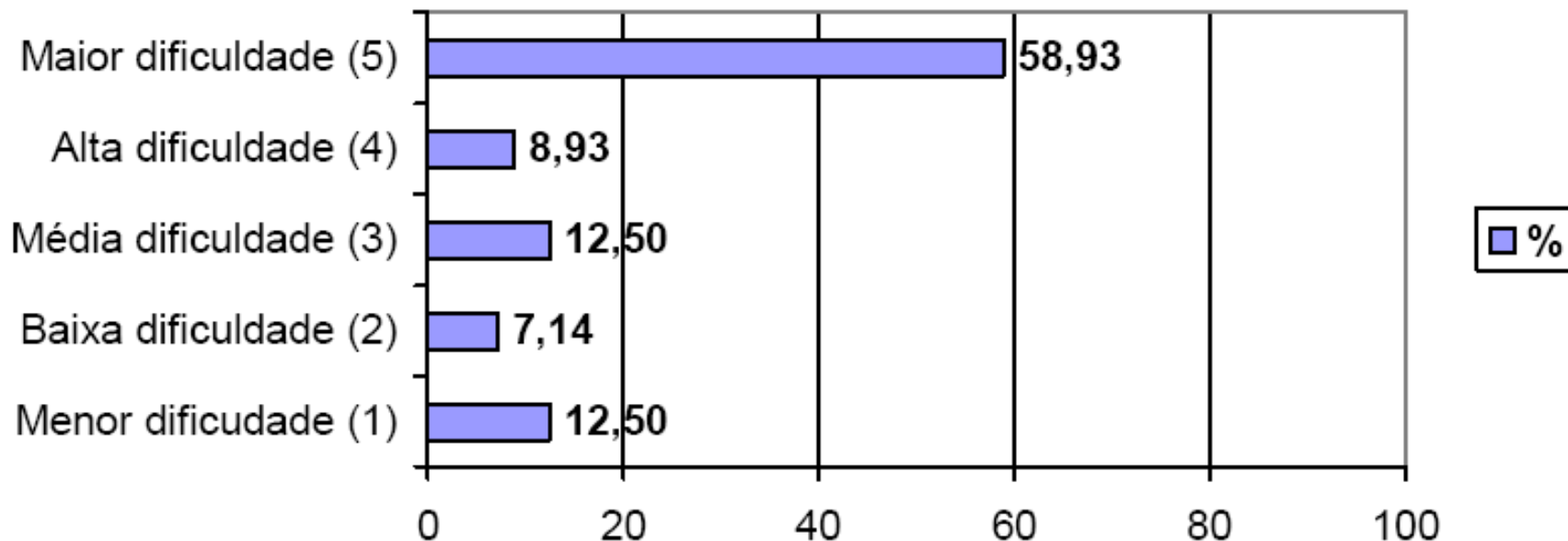
-  Aterro controlado e aterro sanitário
-  Aterro sanitário
-  Aterro controlado
-  Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro sanitário
-  Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro controlado
-  Vazadouro a céu aberto (lixão), aterro controlado e aterro sanitário
-  Vazadouro a céu aberto (lixão)

Disposição em lixões

(% do total do RSU)



Falta de recursos financeiros em pequenos municípios paulistas

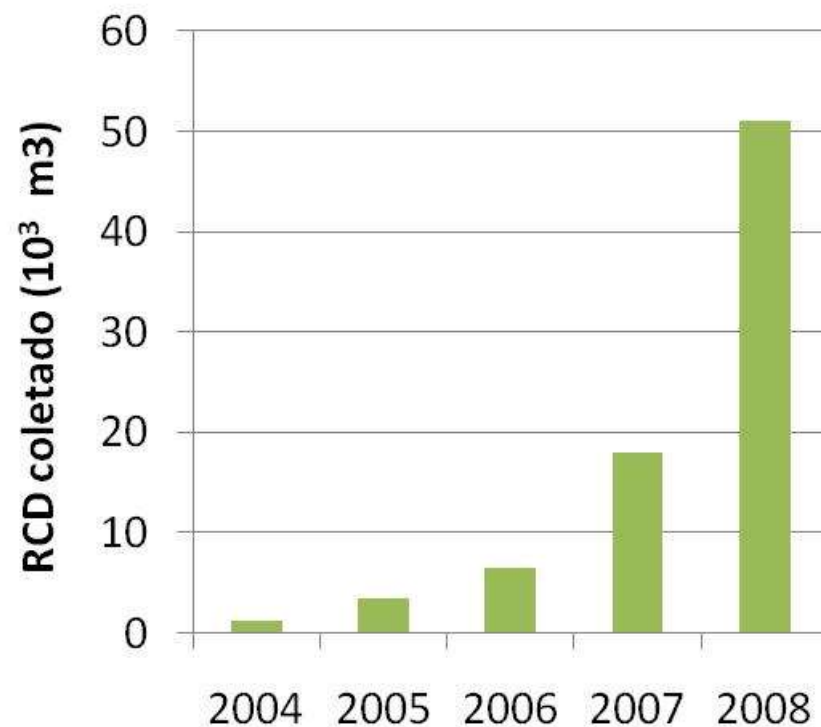
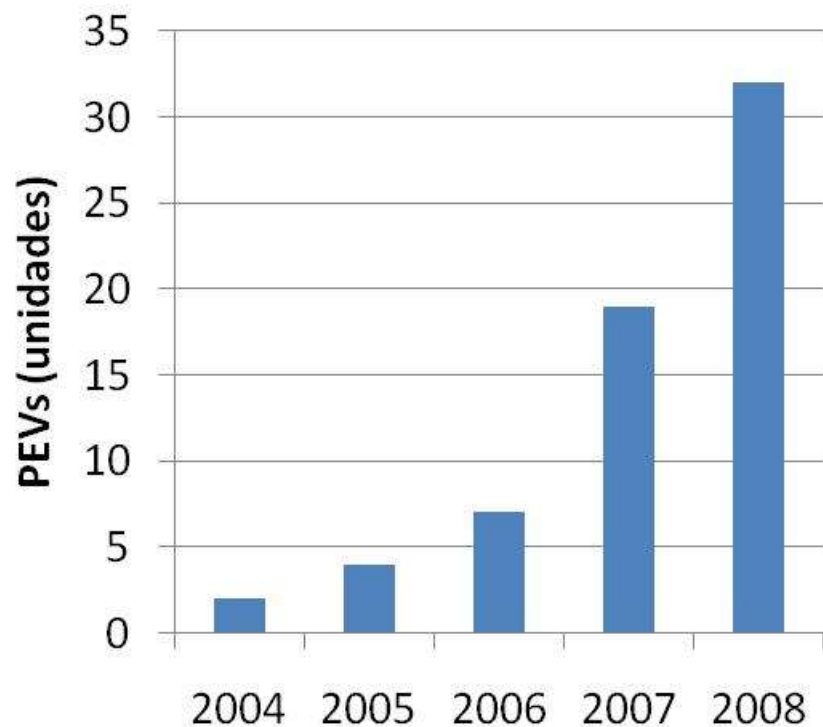


Marques Neto, J. C. Estudo da gestão municipal de RCD na bacia hidrográfica do Turvo Grande. EESC-USP (tese). 2009. 669p.

PEVs

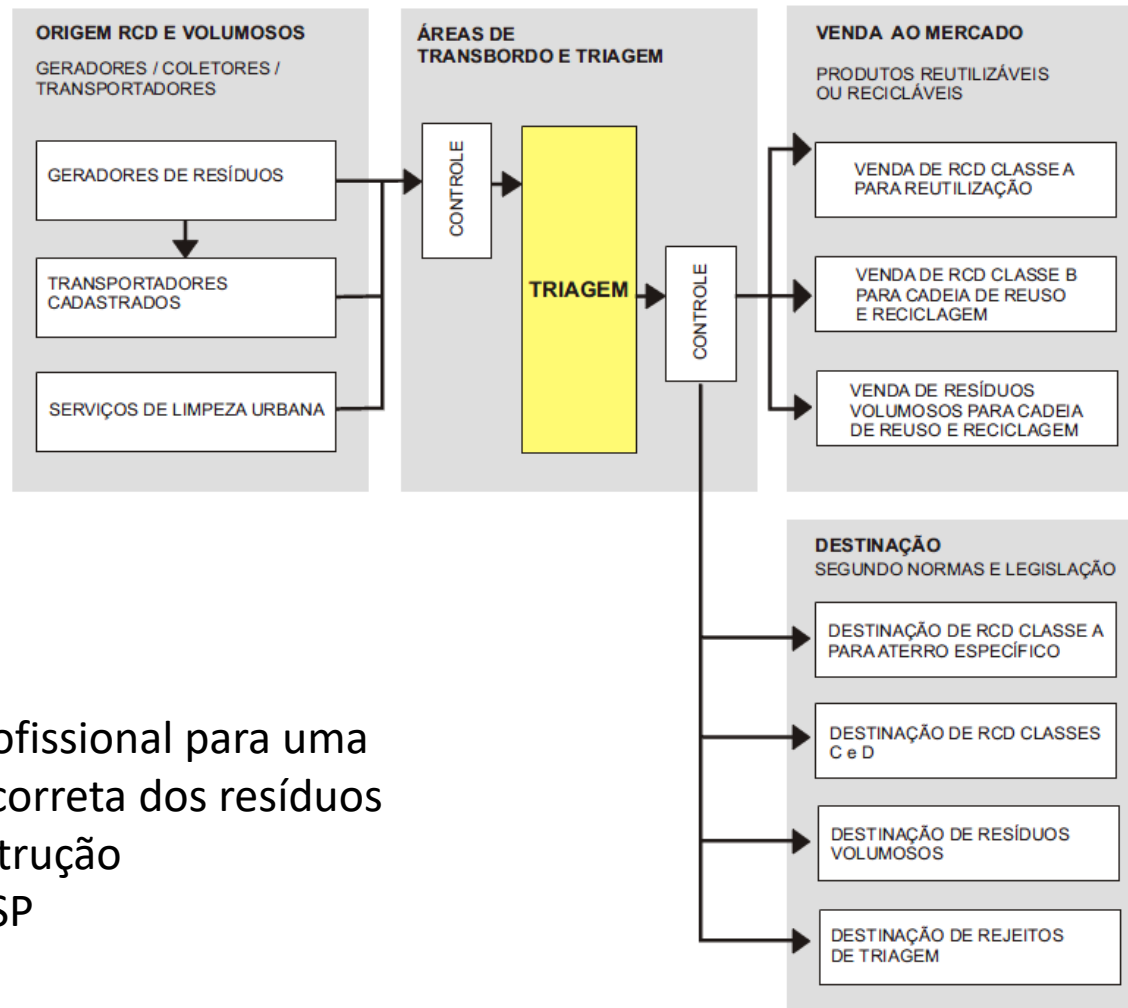


Os PEVs são suficientes? 2025 em SP.....



Área de triagem e transbordo (ATT)

Fluxograma simplificado



Guia Profissional para uma
gestão correta dos resíduos
da construção
CREA - SP

Triagem em ATTs



www.multilix.com.br

Aceitam resíduos Classe A e B misturados

Aterro de inertes



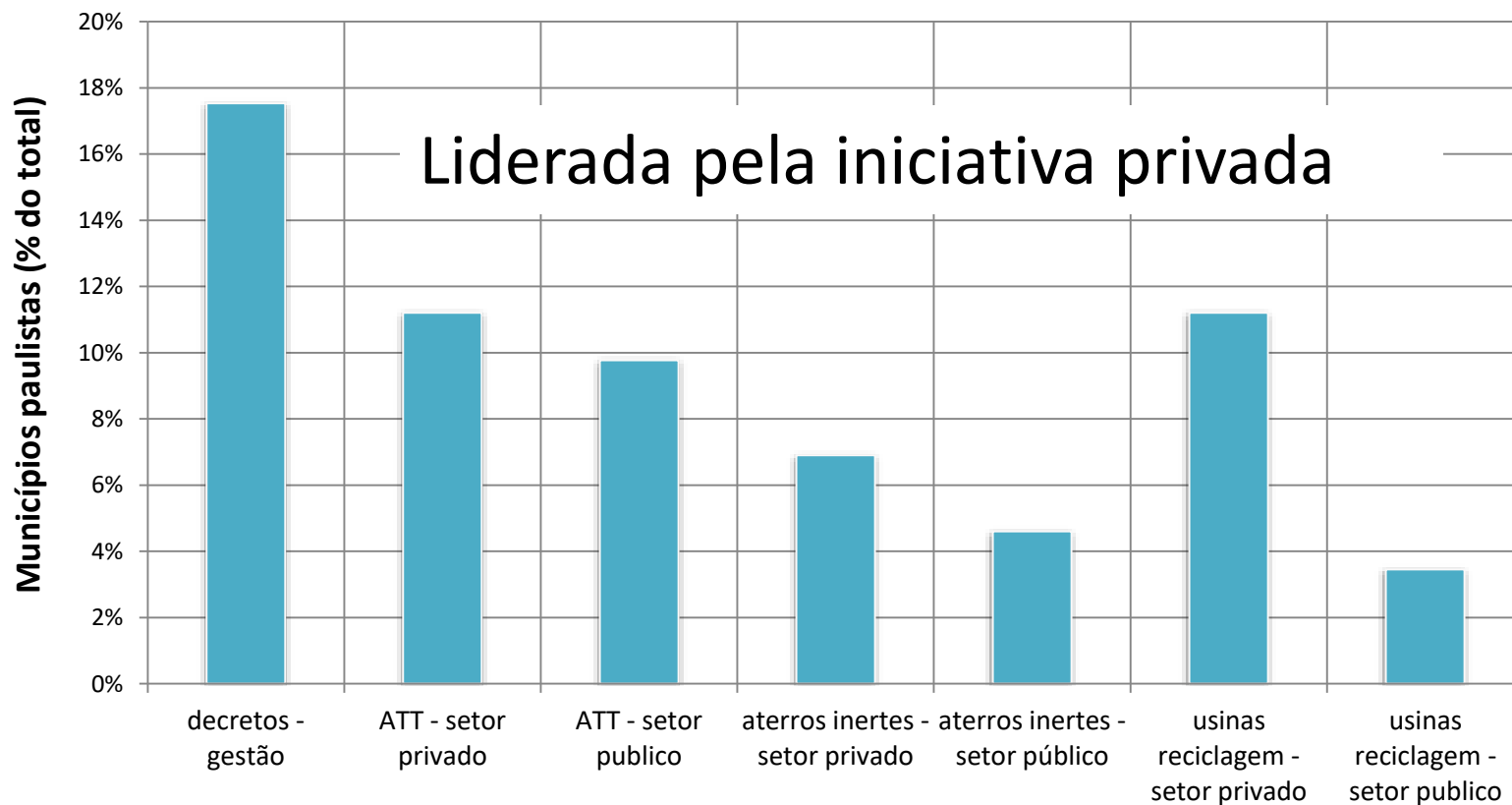
- Região de Itaquera, São Paulo

Usina de reciclagem de RCD (agregados reciclados)



www.itajuba.mg.gov.br

Progressão Lenta (Balauço após 8 anos em SP)



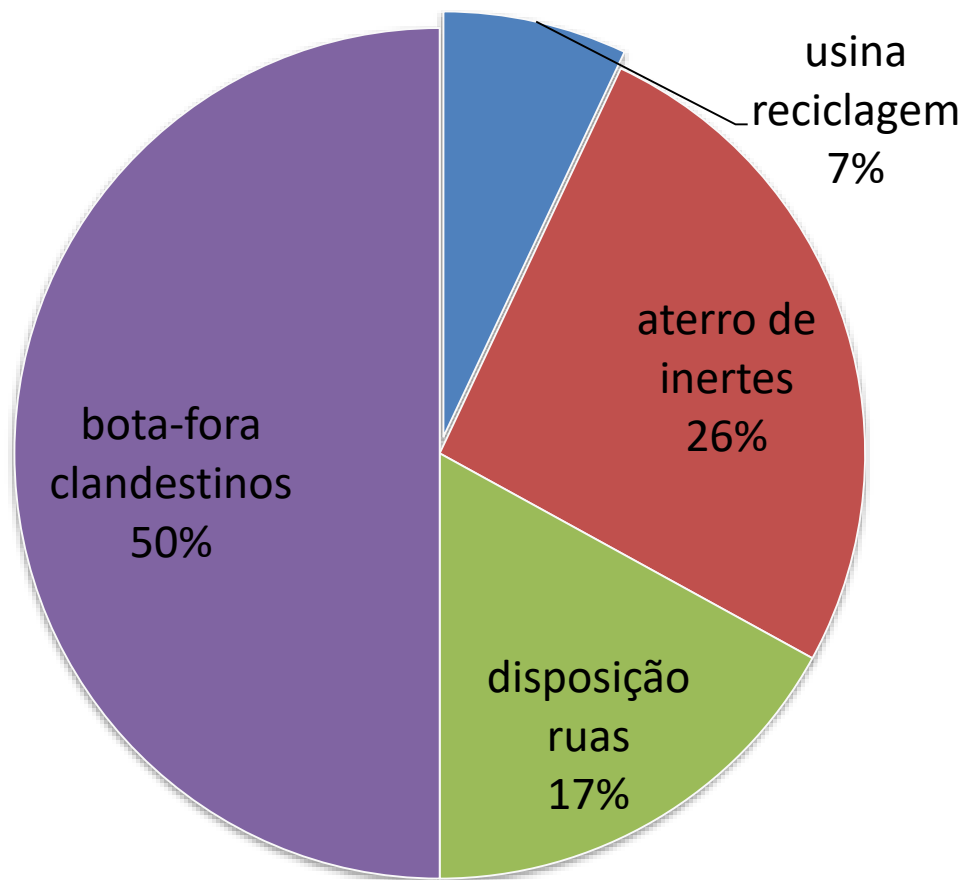
SINDUSCON-SP. Resíduos da Construção Civil e o Estado de São Paulo. 2010.

Usinas de reciclagem no Brasil (dados da ABRECON)

Região	Total de Usinas	Ativas		Em implantação		Inativas	
		Privada	Pública	Privada	Pública	Privada	Pública
Brasil	143	48	11	51	11	8	14
Sudeste	100	40	8	27	5	6	14
Est. São Paulo	71	36	5	17	5	5	3
RMSP	23	16	2	4	0	1	0
% Brasil		81%	19%	82%	18%	36%	64%

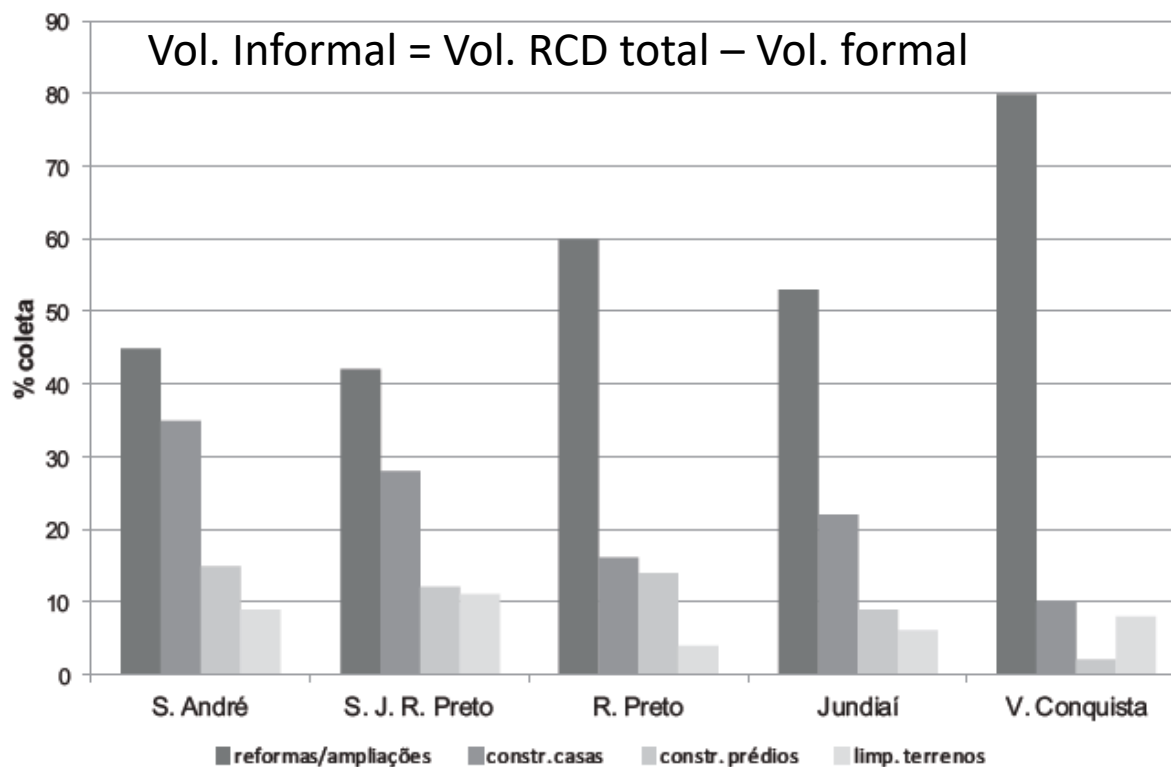
Fonte: ABRECON, IPT (2012)

Eficácia no Destino do RCD



Dados de estudo realizado no IPT para RMSP (2012)

Geradores informais (40-80% do volume do RCD)



Geradores informais
(40-80% do volume do RCD)

**Gestão do RCD é um
problema
majoritariamente público?!**

**GESTÃO
NA ORIGEM**



CONSTRUÇÃO

Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção

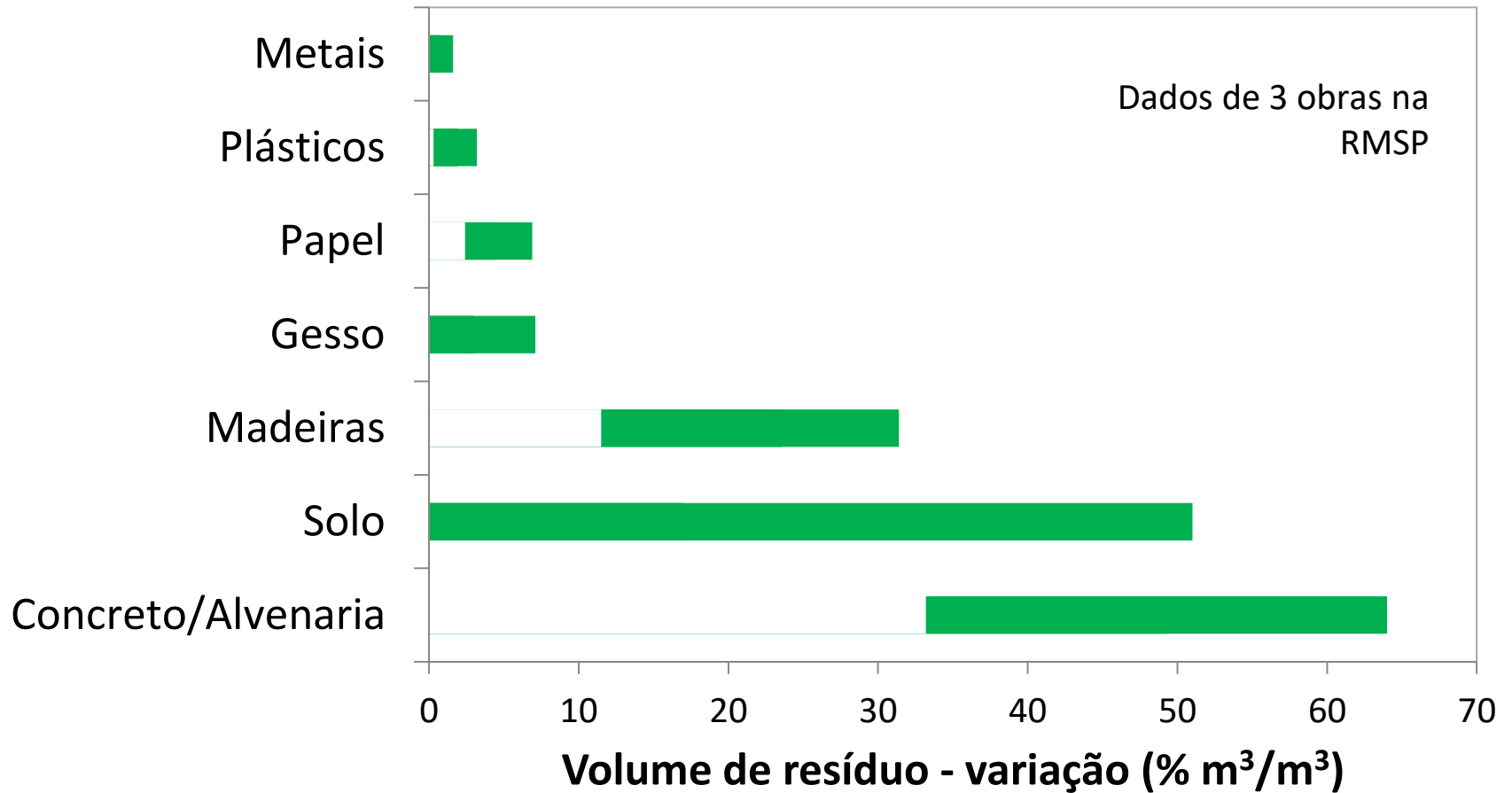
- Caracterização do empreendimento
 - Local da obra, área de construção
- Quantificação dos resíduos
 - Histórico das obras
- Triagem e acondicionamento
 - Bags, caçambas
- Transportadores cadastrados
- Destinos legalizados

Quantificação dos resíduos

Resíduo	Volume (m3)
Solo (classe A)	10.000
Concreto e alvenaria	1.308
Madeira	600
Gesso	356

Finalidade é apenas informar o volume a ser triado e local de destino!!
Não representa a melhor ação ambiental ou o máximo benefício econômico!!!

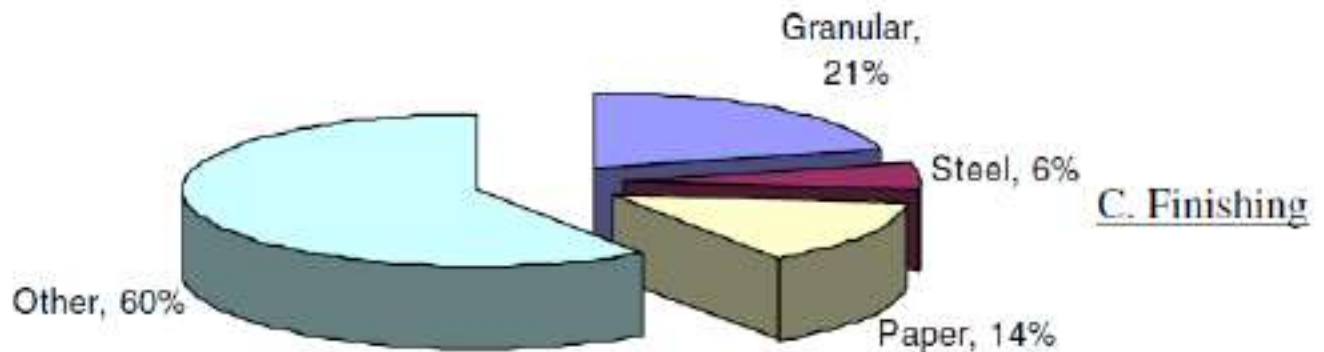
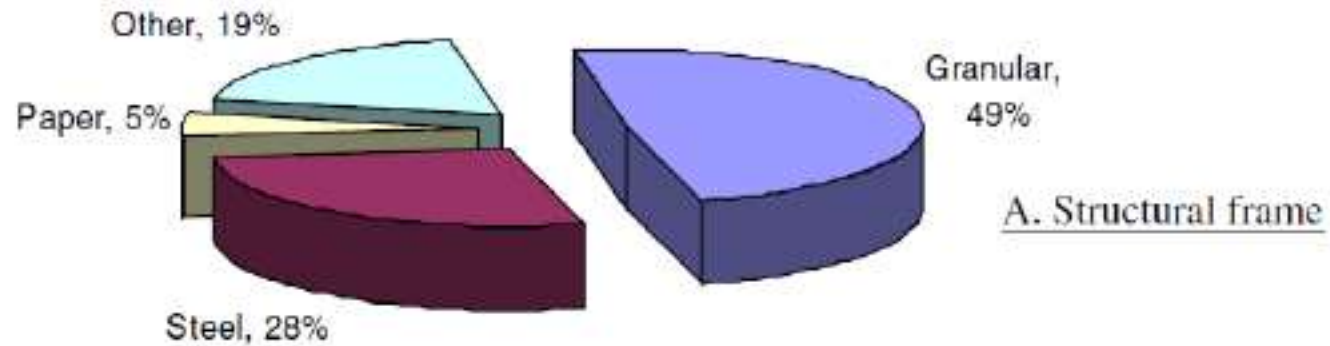
Volume de resíduos é variável



**Depende da forma de estoque
(10-30% v/v do RCD é madeira)**

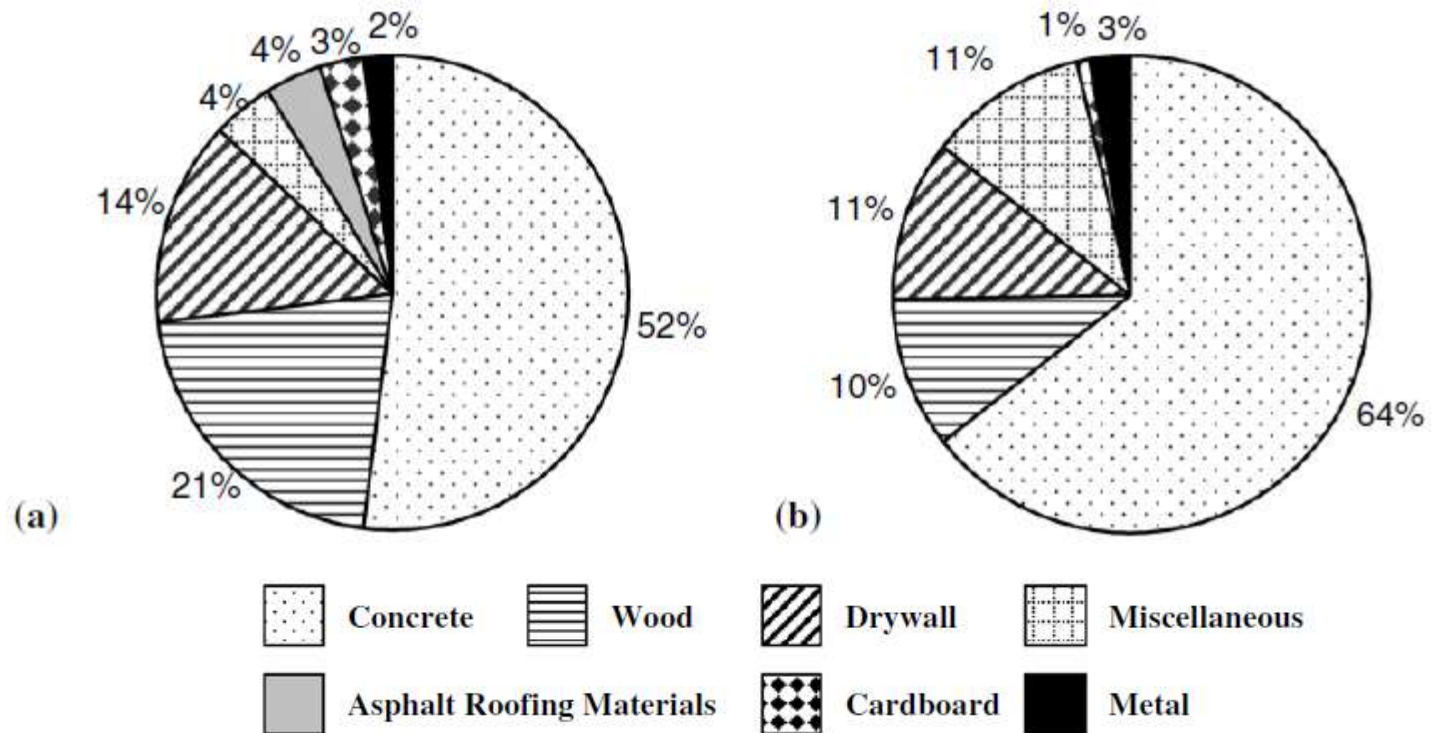


Depende da fase da obra



Depende da tecnologia construtiva

K. Cochran et al. / Waste Management 27 (2007) 921–931



**Obra residencial
(EUA)**

**Obra comercial
(EUA)**

Uso de indicadores

- Permite uma previsão mais apurada da massa (ou volume) de resíduos.
- Pode ser associado a área construída (kg/m^2) ou aos serviços da obra ($\text{kg}/\text{u.s.}$).
- Auxilia a compreensão das causas da variação existentes nesses indicadores.
- Facilita implantação de logística reversa, inclusive uso de resíduo na própria obra.

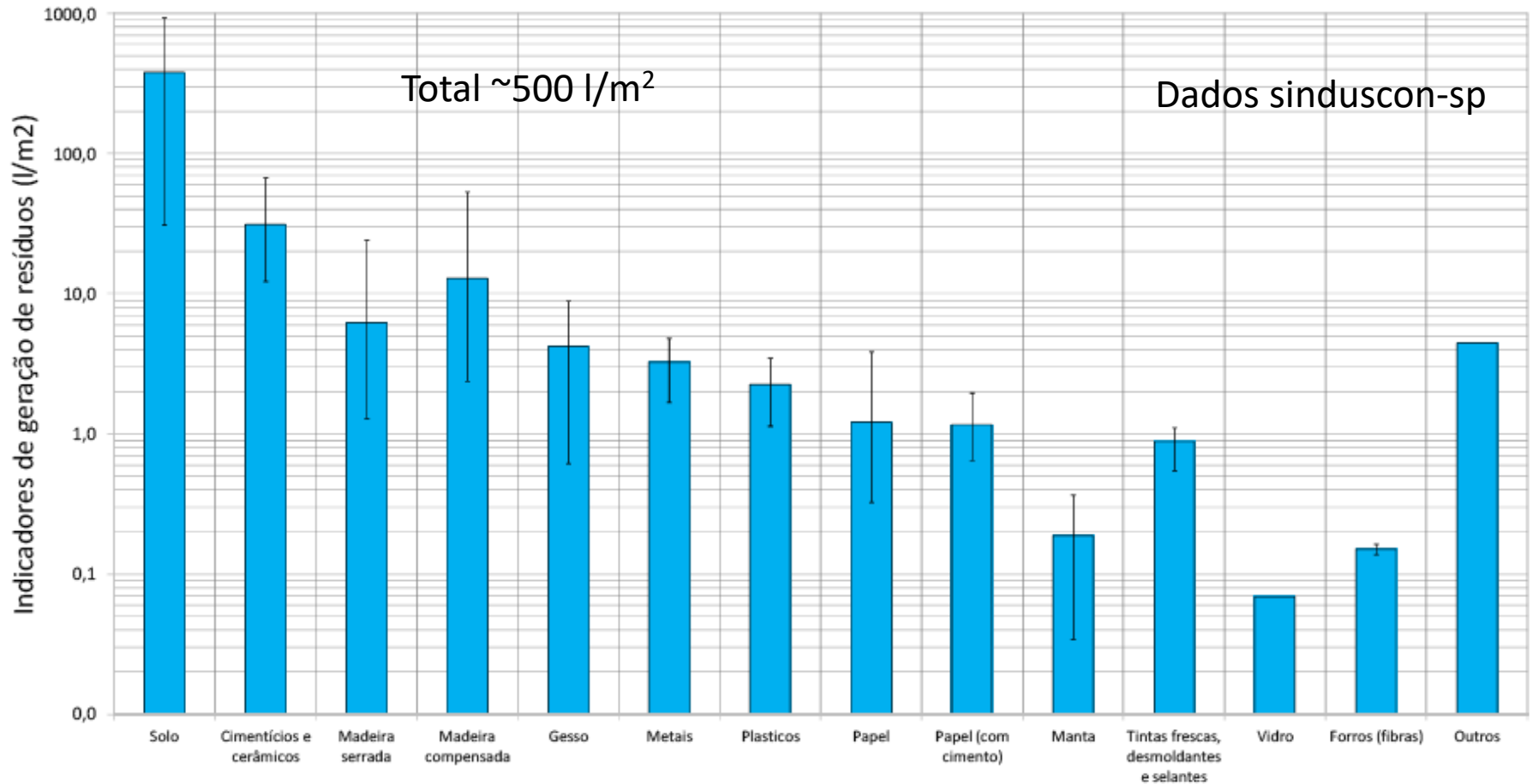
Indicadores de geração de resíduos de construção

	Valor mínimo (kg/m ²)	Valor máximo (kg/m ²)
Concreto	17,8	32,9
Blocos de alvenaria	19,2	58,6
Madeira	2,5	6,4
Gesso	3,7	7,6
TOTAL	44,0	115,0

dados internacionais

Mália et al. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 117-130, jul./set. 2011.

Indicadores de geração (l/m²)

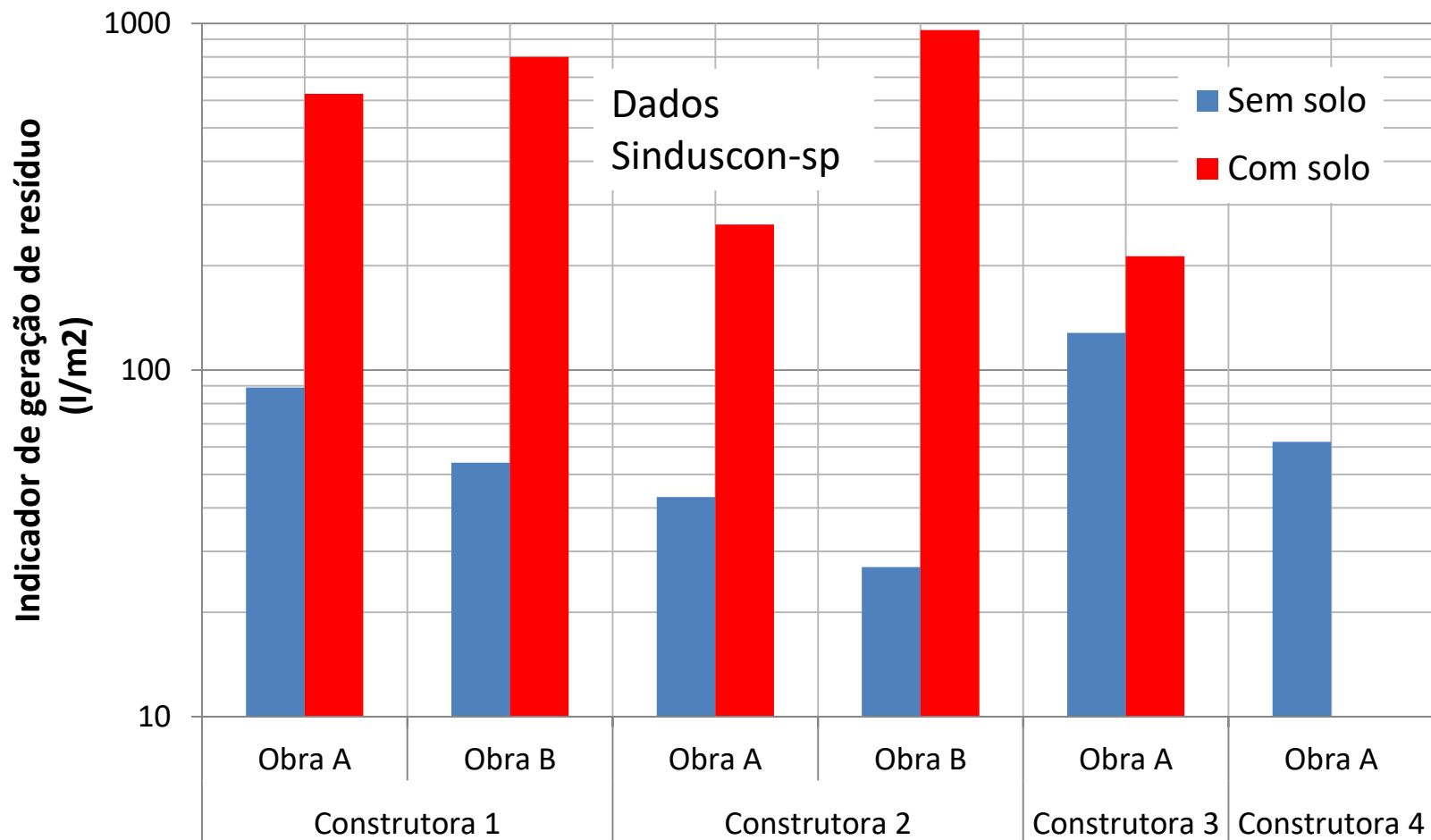


Permite maior detalhamento na identificação de resíduos

Indicadores de geração (l/u.s.)

Etapa	Serviço	Un.	Resíduo	Un.	Construtora A			Construtora B	
					Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 1	Obra 2
Fundação	Escavação/contenção	m3	Solo	1	977,81	1.000	1.000	177,72	476,47
	Fôrma	m2	Madeira	1	77,78	36,84	44,09	38,96	57,76
	Armação	kg	Aço	1	0,16	0,15	0,07	-	-
	Fundação	m3	Cimentícios	1	8,95	6,06	7,26	30,13	48,61
Estrutura	Fôrma	m2	Madeira	1	1,93	1,67	5,30	3,09	4,30
	Armação	kg	Aço	1	0,05	0,06	0,35	-	-
	Concretagem	m3	Cimentícios	1	17,46	14,67	15,40	2,97	50,98
Vedação	Alvenaria	m2	Cimentícios e cerâmicos	1	4,34	4,85	10,03	15,52	4,61
	Gesso acartonado	m2	Gesso		3,90	11,76	2,29	-	-
Instalações	Hidráulicas	m	Plástico		2,79	3,25	4,77	-	-
	Elétricas	m	Metal		0,61	0,80	0,85	-	-
	Aparelhos sanitários	un	Cerâmica branca		6,98	13,33	7,41	-	-

Geração do solo (edifícios multiandares)



Banco de Solos

Transformar resíduos da construção em matéria-prima para novas obras: mais do que um exemplo de sustentabilidade, um ótimo negócio para a sociedade.



Clique aqui para acessar o site
da Bolsa de Recicláveis



www.bolsadereciclaveis.com.br

BANCO DE TERRA, BANCO DE ENTULHO E AGREGADO RECICLADO

www.bolsadereciclaveis.com.br

O que é

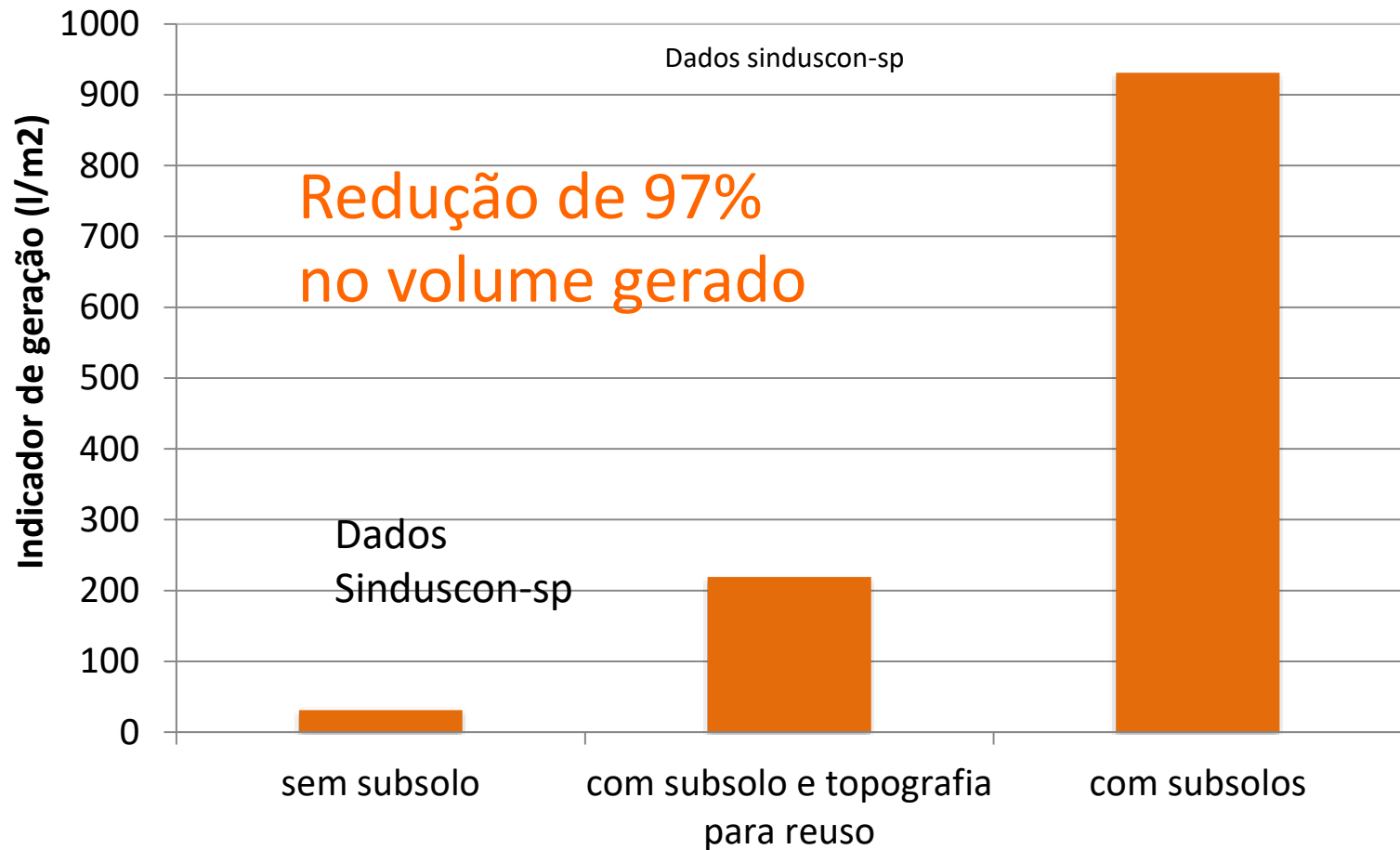
É um serviço virtual, disponível no site da Bolsa de Recicláveis da FIEMG, onde os interessados poderão anunciar suas ofertas ou efetuar a compra de terra, entulho e agregado reciclado, bem como fazer doações ou a troca dos mesmos.

Agregado reciclado é o resultado do beneficiamento do entulho que possibilita a sua reinserção no processo produtivo, como por exemplo, a utilização como agregado em artefatos de concretos/pré-moldados, concreto sem função estrutural e etc., evitando o uso do agregado natural (brita, areia e etc.).

Objetivos

- Aproximar ofertantes e demandantes (empresas e sociedade) que farão aterro e desaterro.
- Dar uma destinação ambientalmente correta aos resíduos que compõem as categorias acima mencionadas, principalmente a terra, reduzindo os seus impactos no meio ambiente.
- Inibir a deposição irregular de resíduos em margens de vias, rodovias, leitos de rios e mananciais, lotes vagos etc.
- Reduzir os custos da destinação dos resíduos gerados no processo produtivo no setor da construção.
- Contribuir com as ações do Poder Público em vários níveis, como por exemplo, a redução de custos operacionais na remoção de deposições clandestinas.
- Sensibilizar a todos – sociedade, empresas e geradores – para a destinação correta dos resíduos.

Gestão das obras (indicadores x implantação)



Classe A misturado com solo



Classe A misturado com solo

- Quando misturados, a única rota possível de destino é o aterro de inertes.
- Quando segregados, permitem diferentes opções de reuso e reciclagem, dentro ou fora da obra.

Gestão das obras (indicadores x tecnologia)

SISTEMA CONSTRUTIVO	Indicador l/m² (TOTAL) MEDIA	Indicador l/m² (CLASSE A) MÉDIA	Indicador l/m² (MADEIRA) MÉDIA
sistema pré-fabricado (4 obras)	52	13	13
sistema moldado in loco (3 obras)	192	78	71

Fonte dos Dados: CTE (Eng. Daniel Ohnuma)

Redução de 70-80% no volume gerado

Fôrmas de madeira



são bastante representativos

Destinação mais restrita

RECICLAGEM

Existem empresas que recebem os resíduos de madeira, processam e os comercializam como matéria-prima para outros usos. Uma opção de reciclagem é a incorporação do resíduo de madeira industrializada para a fabricação de compostos de madeira ou painéis, como aglomerados, compensados, OSB, MDF e a chapa dura ou MDP. Exemplos de resíduos de madeira que podem ser utilizados são os paletes, caixarias, recortes de madeira, etc.

OS RESÍDUOS DE MADEIRA INDUSTRIALIZADA NÃO DEVEM SER COLOCADOS EM CONTATO COM ALIMENTOS, ÁGUA POTÁVEL E CAMA PARA ANIMAIS.

Outra alternativa para os resíduos de madeira industrializada da construção civil (pintadas, preservadas, coladas e outras) é a sua utilização para recuperação da energia, como substituto de combustível em fornos ou caldeiras que possuam um sistema de queima controlada, cujas fomalhas operem com excesso de ar suficiente para combustão dos resíduos à temperatura mínima de 750°C e possuam equipamentos de controle de poluição do ar.

É necessário que o forno ou caldeira esteja em dia com as respectivas licenças emitidas pela CETESB, conforme o disposto no Decreto 8468/76 e suas alterações, que aprova o regulamento da Lei 997/76, bem como o disposto nos Decretos 50.753/06 e 52.469/07, com vista à instalação de novas unidades ou alteração do combustível de unidades existentes.

Logística Reversa?

Fôrmas metálicas



www.ufrgs.br

Resíduos cimentícios



www.capitare.com.br

Fechamento do Ciclo (reciclagem na obra)

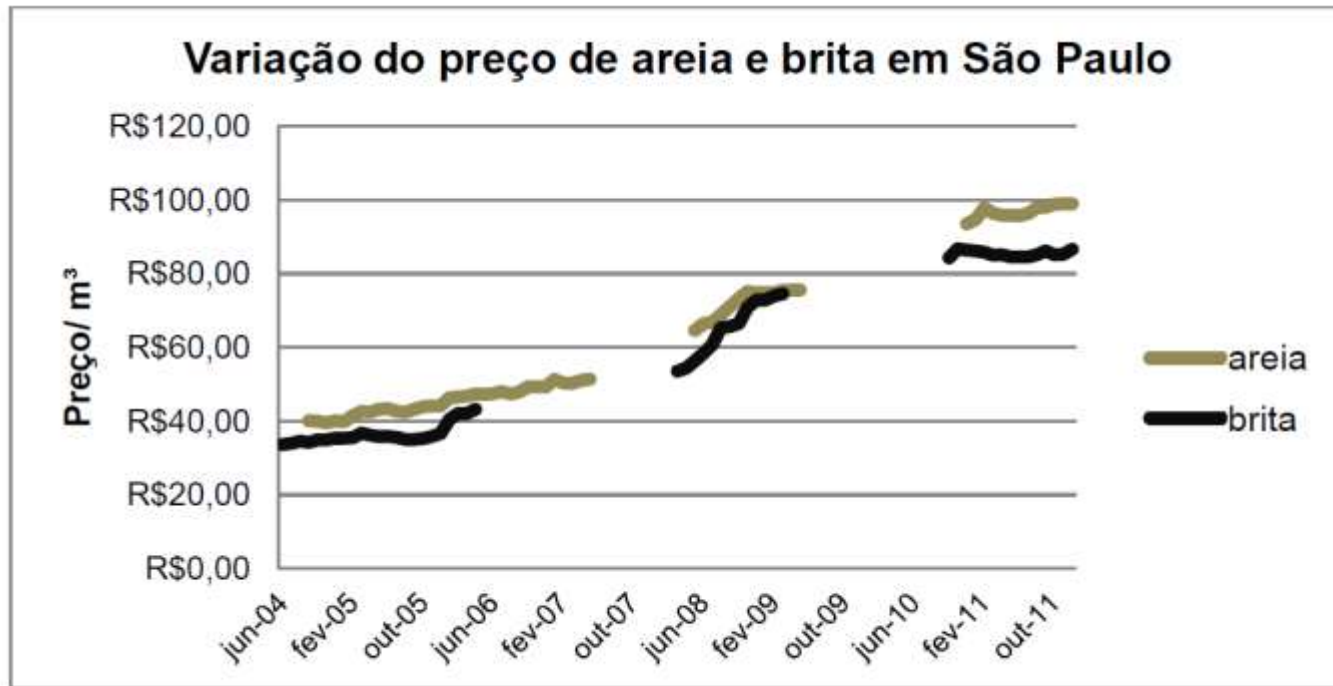
Consumo areia natural (470 l/m²) > Consumo areia reciclada (74 l/m²)



Substituição Parcial da areia natural na argamassa – < 20% do Volume

Fonte: Construtora Cyrela – C. Britez

Areia reciclada é mais barata que a areia natural



Fonte: Revista Construção Mercado

Distâncias dos areeiros



Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
© 2013 Cnes/Spot Image

SOUZA (2013) – trabalho de formatura FAU USP

23°16'40.14"S 46°12'57.19"O elev 824 m altitude do p

Causas

Agregados são bens esgotáveis localmente, cujo aumento de custo está associado a escassez de recursos!!!

Habert et al. (2010)

Separação de gesso em obra



www.brechoarte.com.br -

Fechamento do Ciclo (reciclagem na obra)



UNICAMP; equipamentos comerciais

Observações

- Sistemas construtivos e serviços da obra afetam os indicadores e tipos de resíduos gerados.
- Redução significativa no volume de resíduos pode ser alcançada pela seleção de sistemas construtivos.
- Práticas de reuso e reciclagem na obra possuem grandes potencialidades para fechamento do ciclo de aproveitamento dos resíduos.



DEMOLIÇÃO

Carlos R. Fortner/ FotoRepórter/AE

Resíduos perigosos

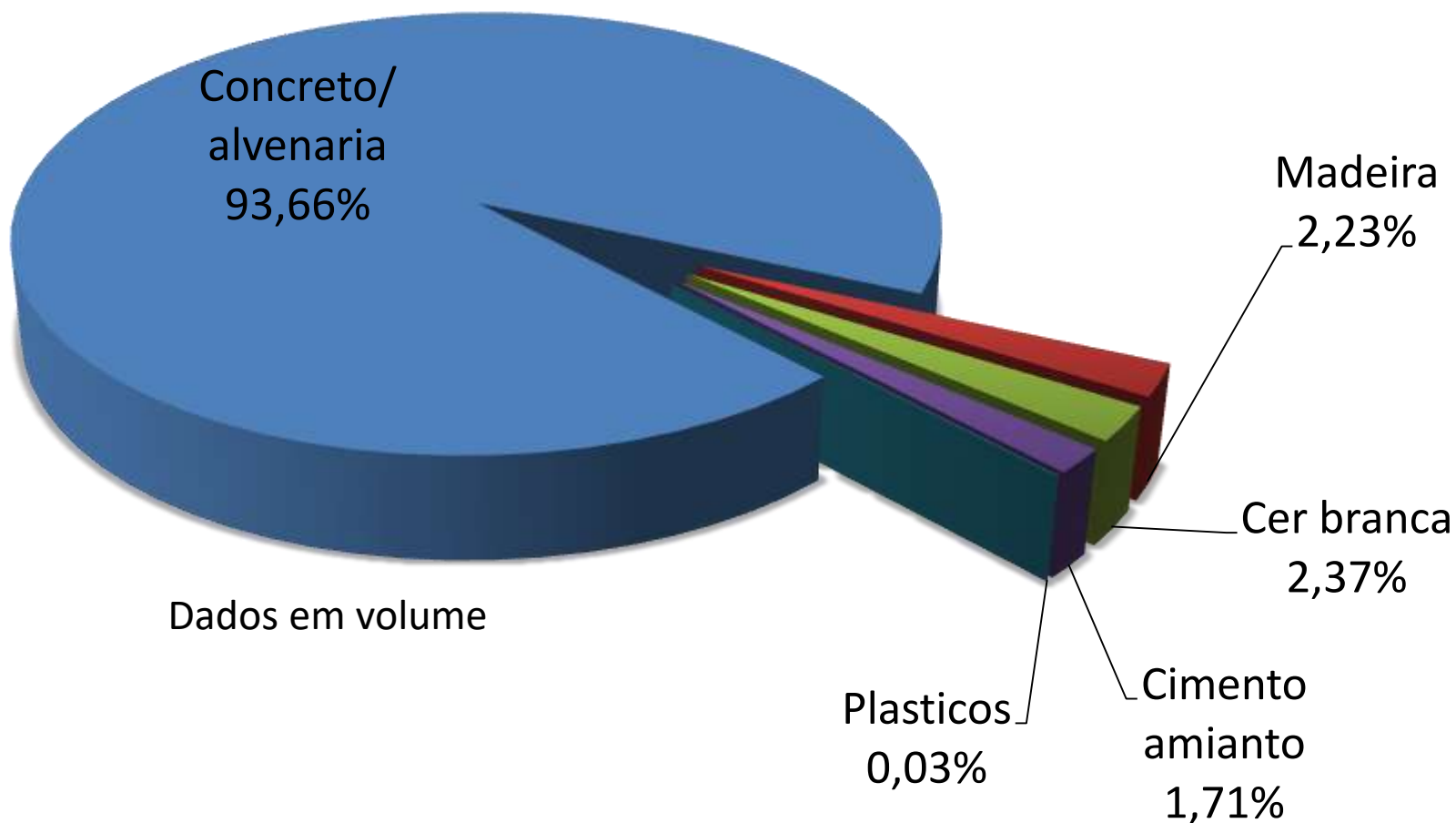
Material	Substâncias
Tintas/selantes	Resinas acrílicas, à base de epoxi Pigmentos com chumbo, arsênio, cromo
Madeiras	Preservativos (pentaclorofenol, CCA, ACA, creosoto etc.)
Telhas de cimento amianto	Asbestos
Soldas, lâmpada de mercúrio	Chumbo
Carpetes	Formaldeído

Serra do Mar (Cubatão-SP)



7.000 casas,
com
1.500 em
situação
de risco

Inventariar materiais é fundamental



Remoção do cimento amianto



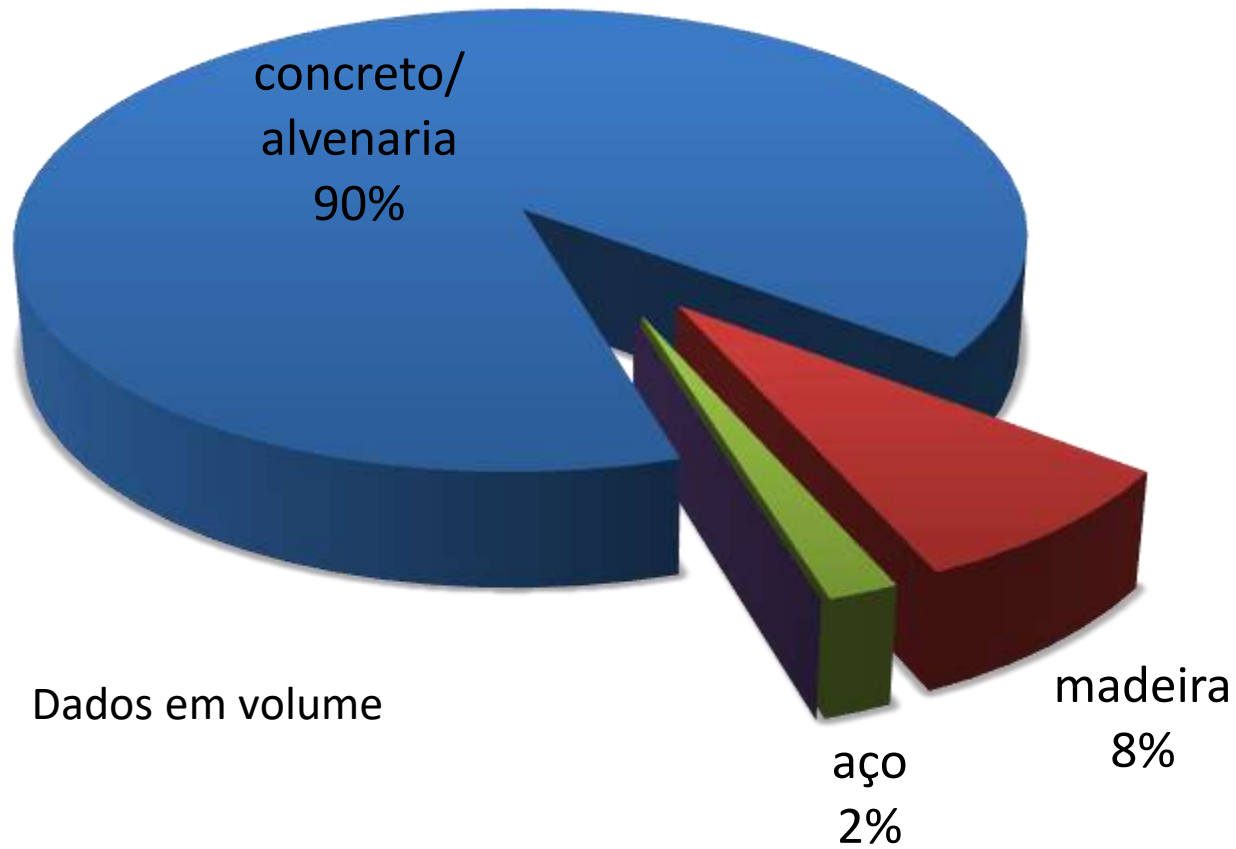
Desmontagem de edifícios

- Finalidades:
 - **Segregar resíduos perigosos**, garantindo uma destinação segura para os mesmos.
 - **Reutilizar**, mantendo-se parte do seu valor comercial, **preservando-se recursos naturais** e ampliando-se a vida útil do produto.
 - **Reciclar**, **evitando-se misturas de resíduos** que possa prejudicar a qualidade dos produto.

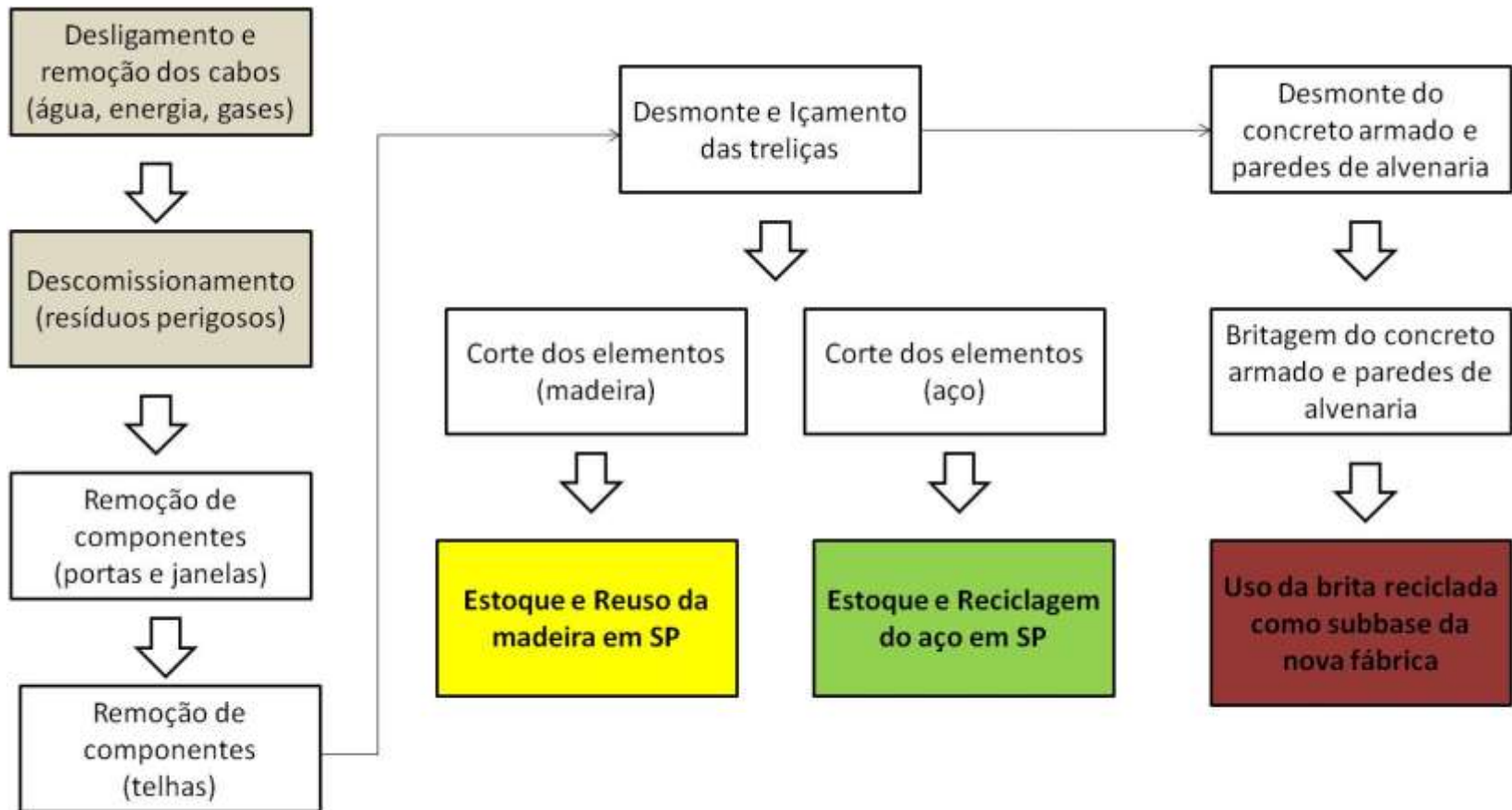
General Motors do Brasil (São Caetano do Sul)



Composição dos resíduos

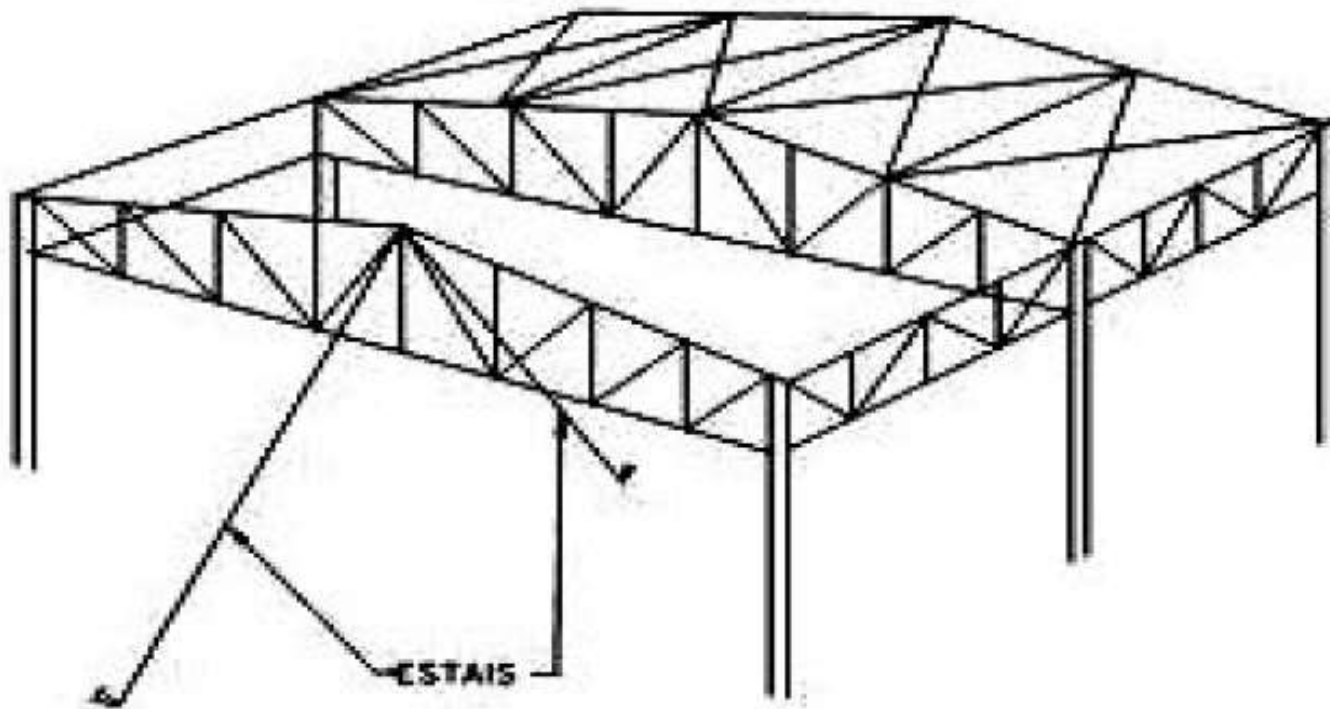


Desmontagem (método proposto)



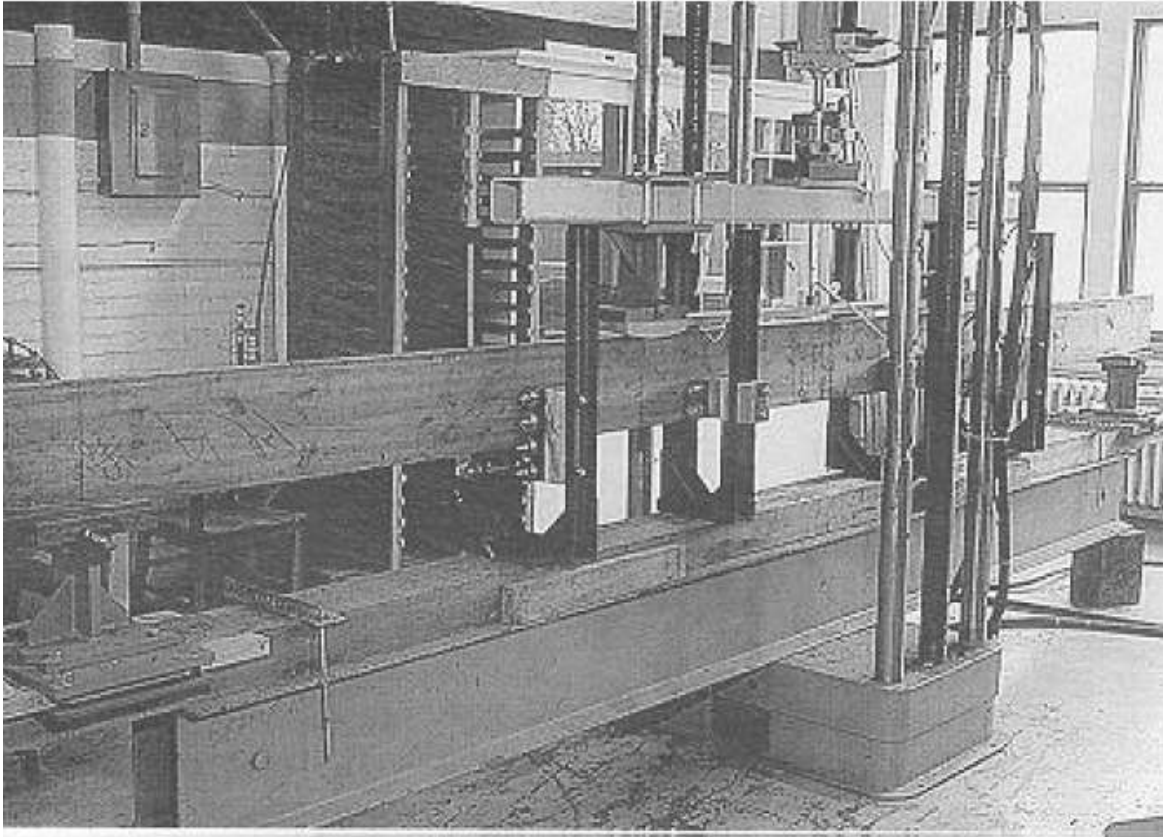
 Itens fora do escopo da desmontagem

Segurança (instabilidade)



Instituto Aço Brasil

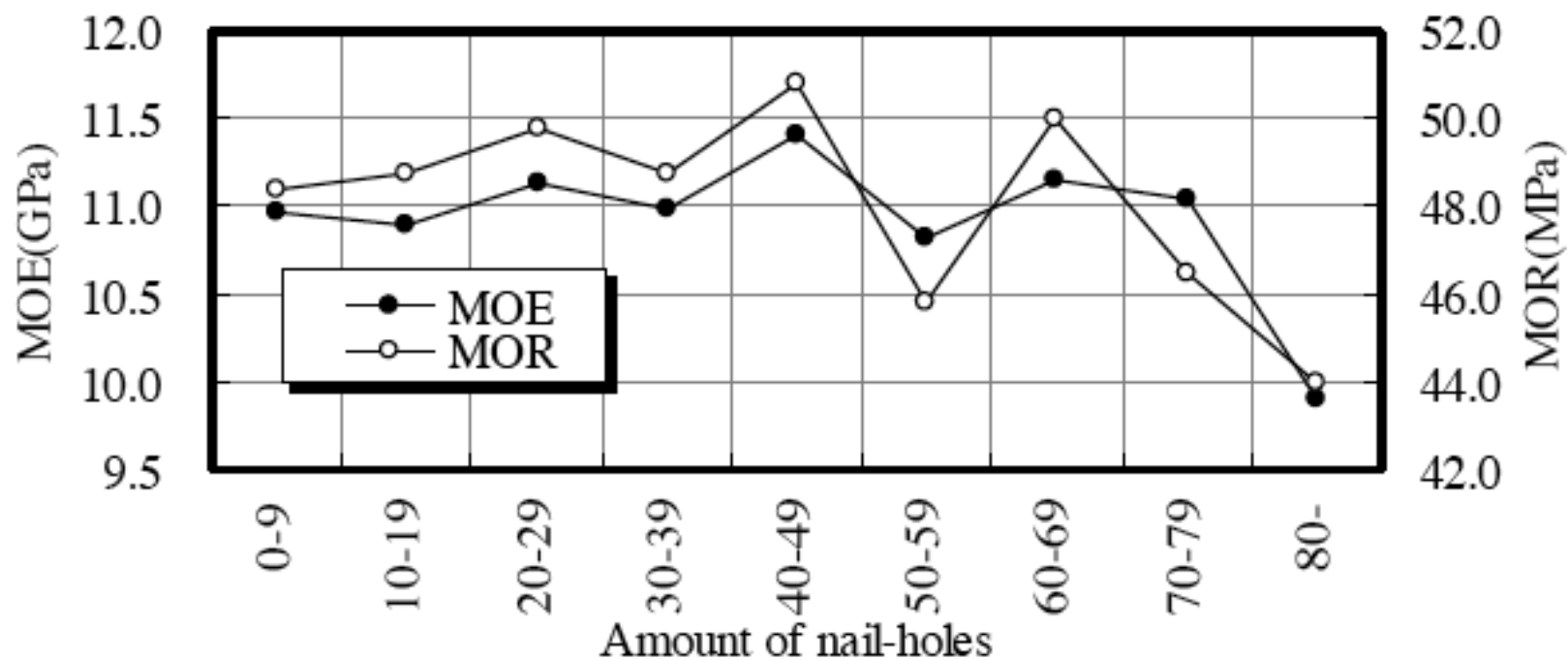
Reuso da madeira



- An analysis of test data indicated that the stiffness was similar to lumber produced today; however, bending strength was somewhat less.

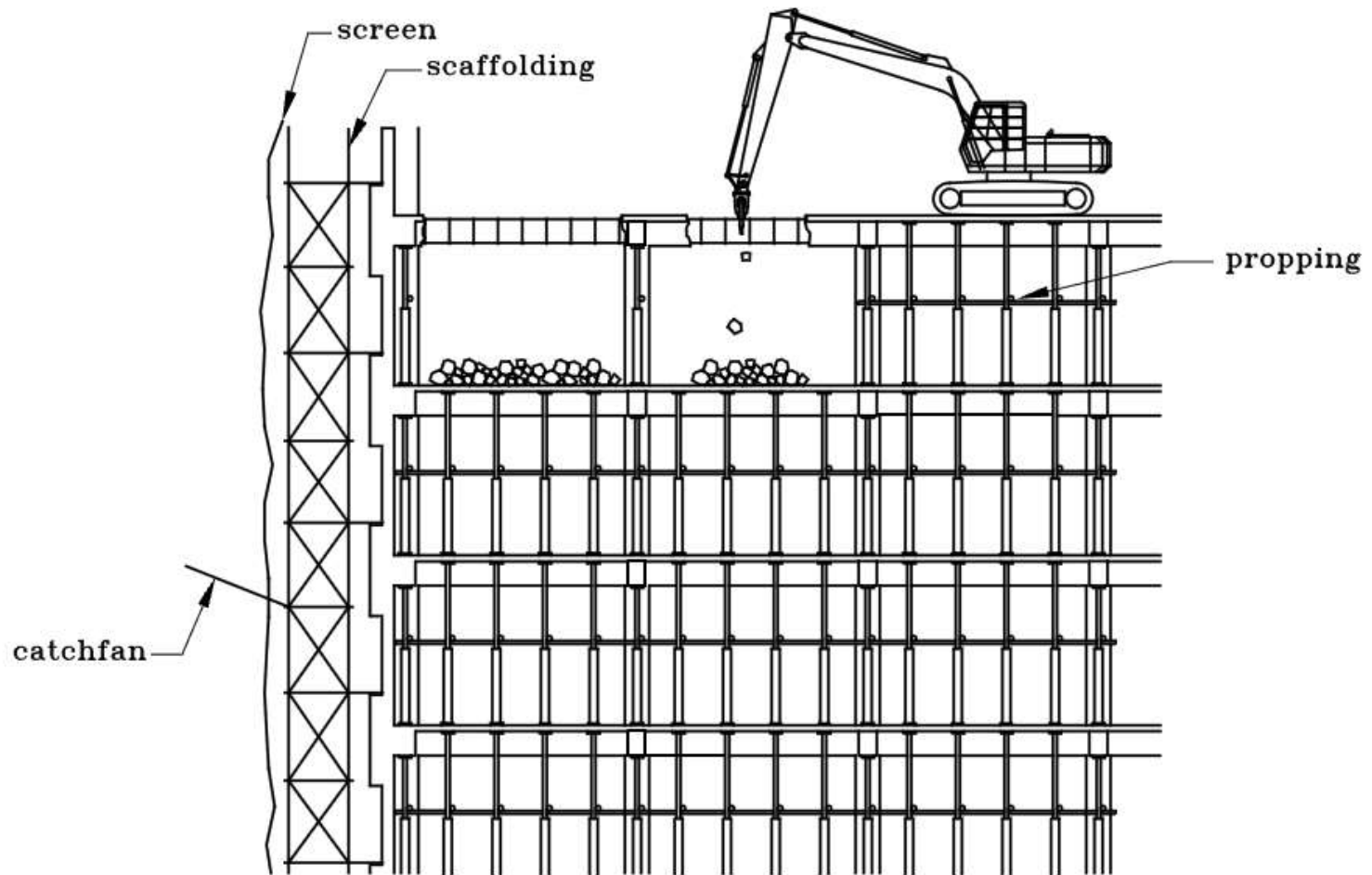
Falk (1999) - USDA Forest Products Laboratory

Quantidade de furos



Nakajima – CIB report

Desmontagem do concreto armado



Demolition code practice. Hong Kong. 2004

Desmontagem do concreto armado



Foto: Bruno Damineli

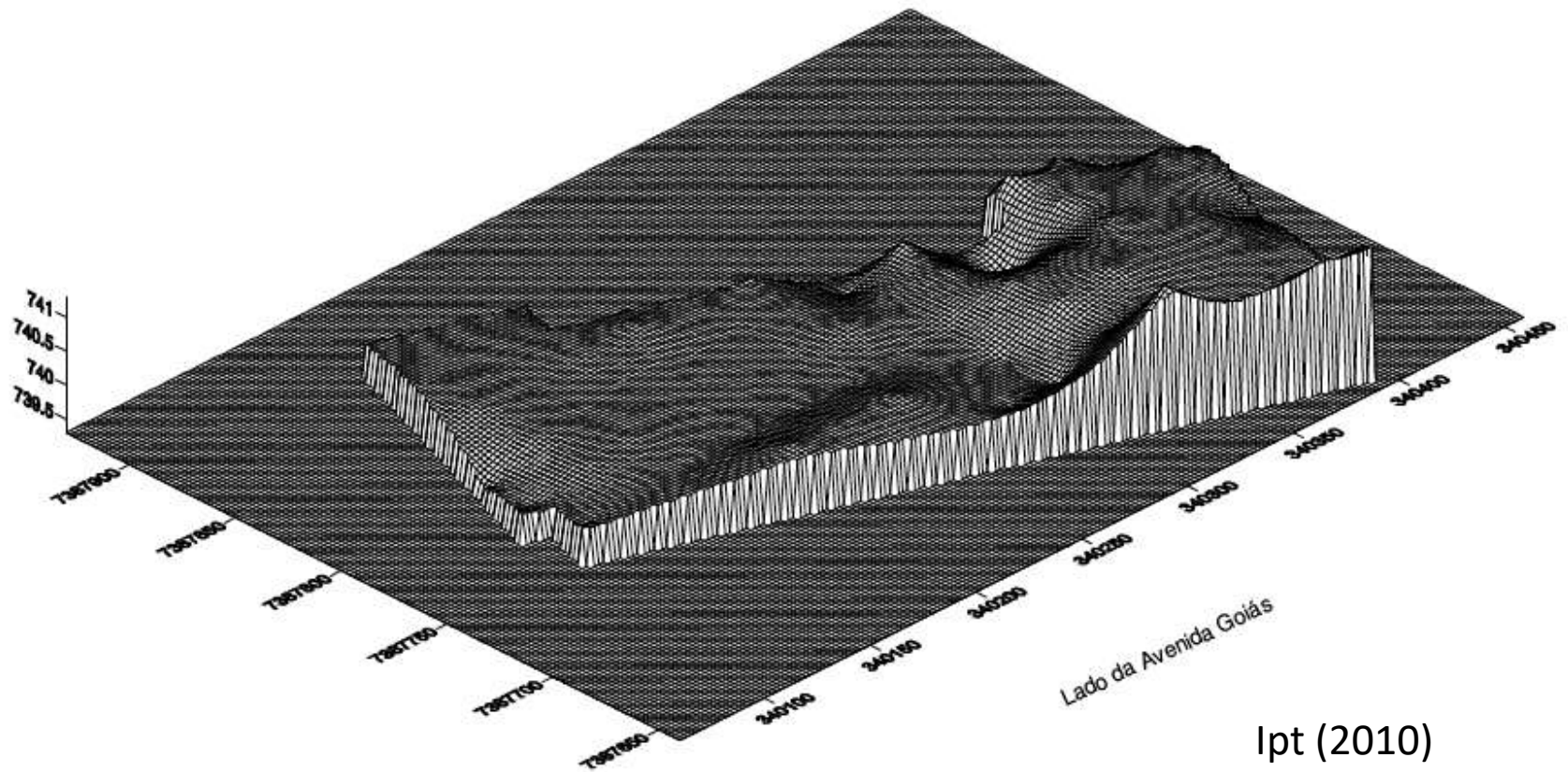
Agregados reciclados (uso no local)



Recinert Ambientale

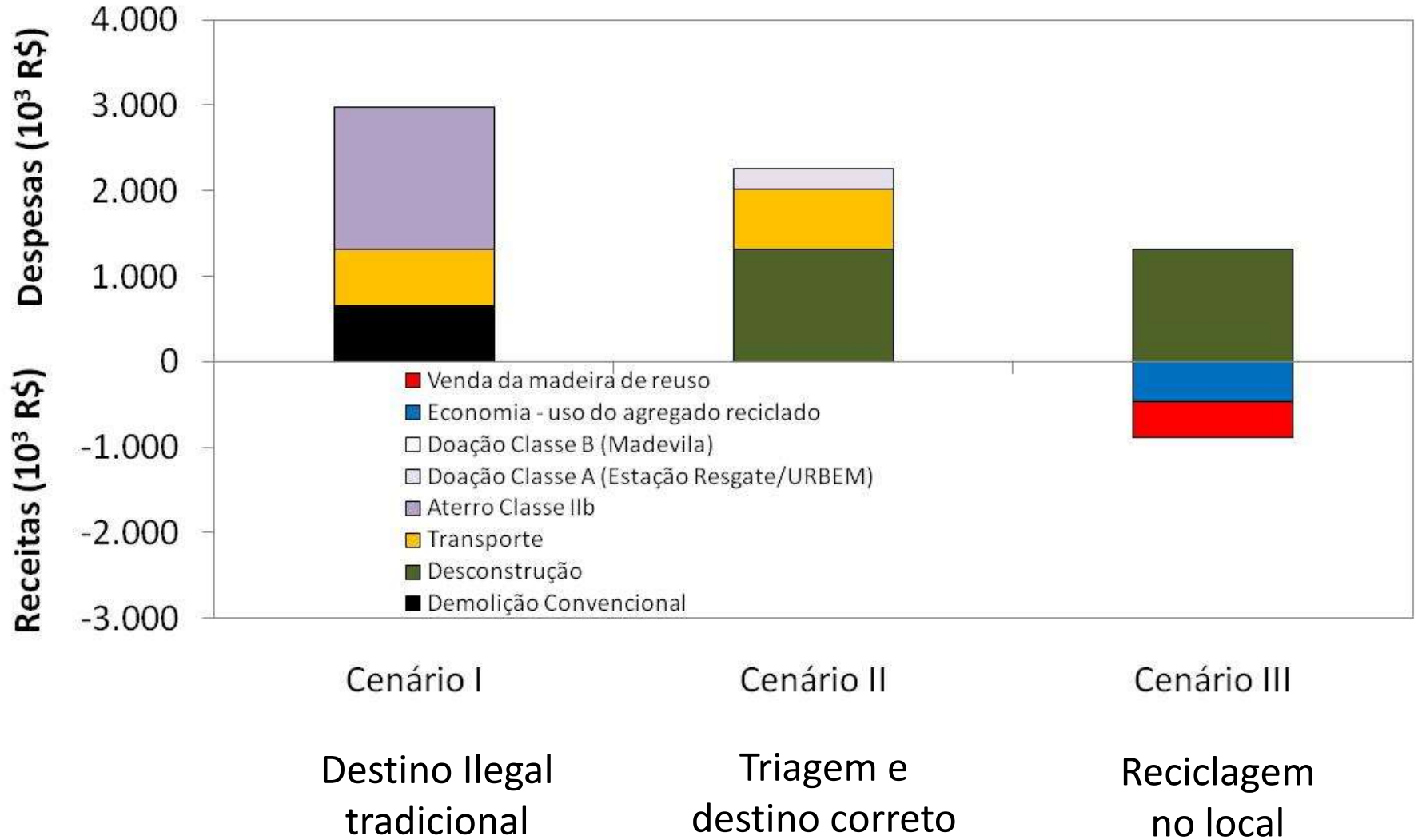
Estudos (aplicação)

PLANTA DA FIDELIDADE GMB - SCS/SP

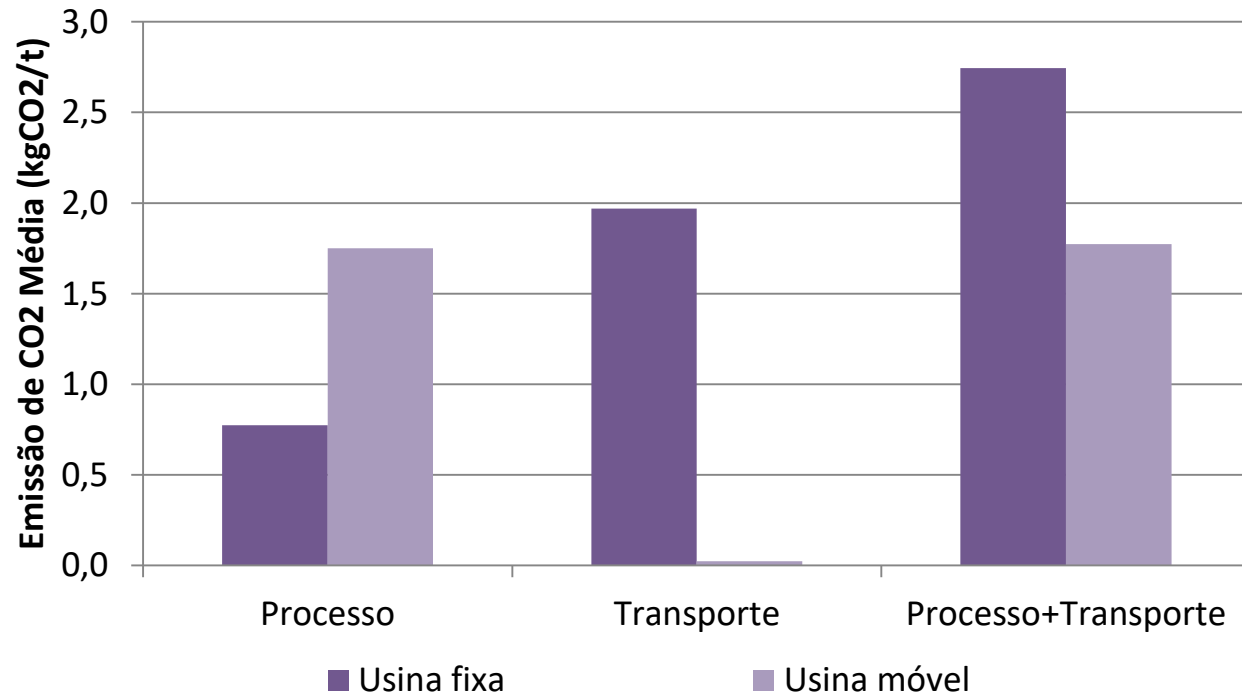


Ipt (2010)

Estudo Econômico



Redução do transporte e emissão de CO2 do agregado reciclado



Oliveira et al. (2013); Pinto (2012)

Agr. reciclado (1,7-2,6 kgCO2/t) > Agr. natural (5-15 kgCO2/t)

Estudos Laboratorias USP-IPT (remoção de azulejos)



Reuso inviável das placas cerâmicas



Qualidade dos agregados reciclados obtidos

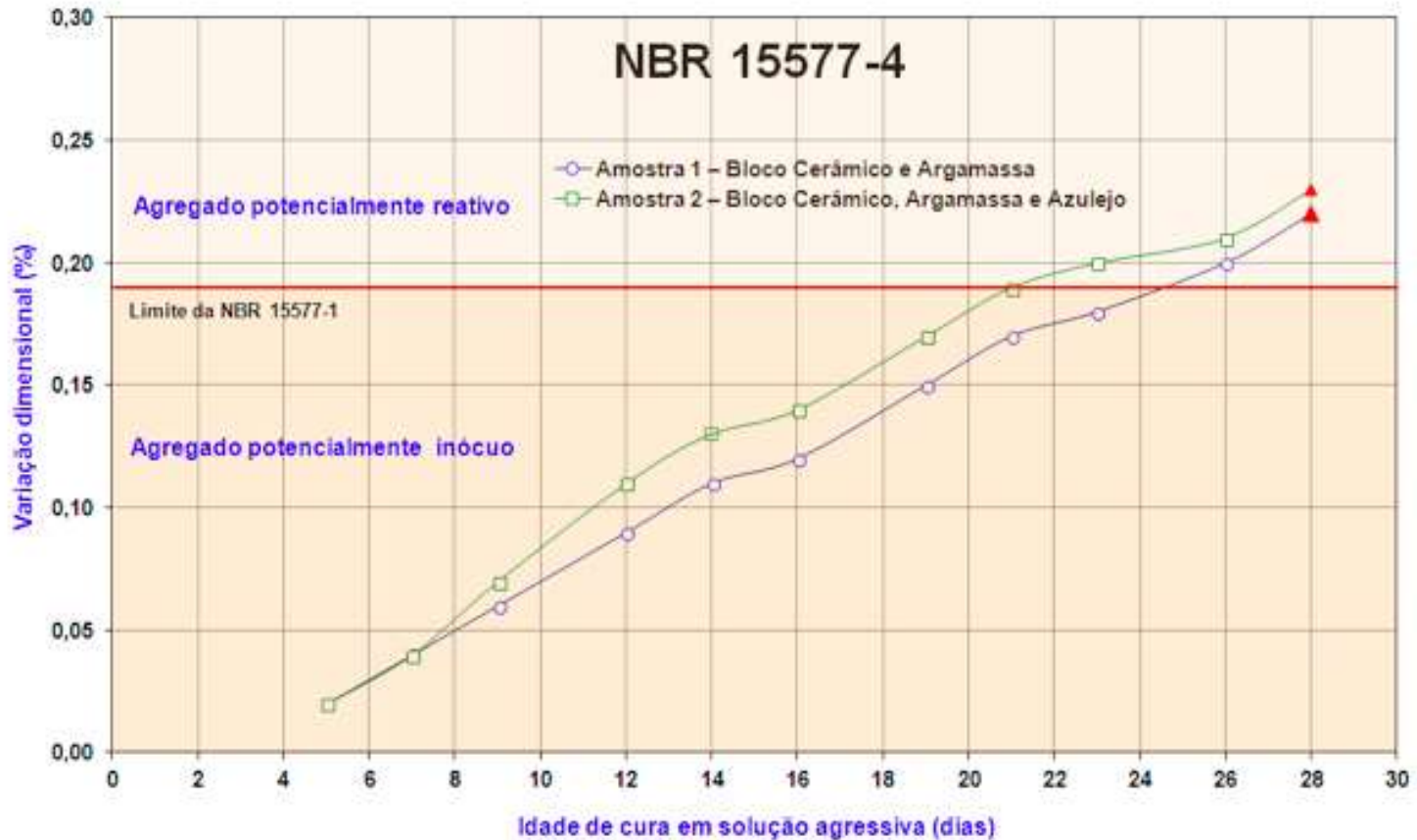


FIGURA 1 - Gráfico da evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina

Estudos Laboratorias USP-IPT (remoção de gesso)



Observações

- Demolição convencional de alvenaria com revestimento de cerâmica vidrada ou de gesso implicam em agregados reciclados contaminados.
- Processos de desmontagem são pouco eficientes, requerendo **Inovação tecnológica**, para adquirir eficiência e produtividade.
- É preciso investir em **Material Design for Building Dissassembly**

RECICLAGEM E CONTROLE DE QUALIDADE

RCD é heterogêneo (origem do resíduo)

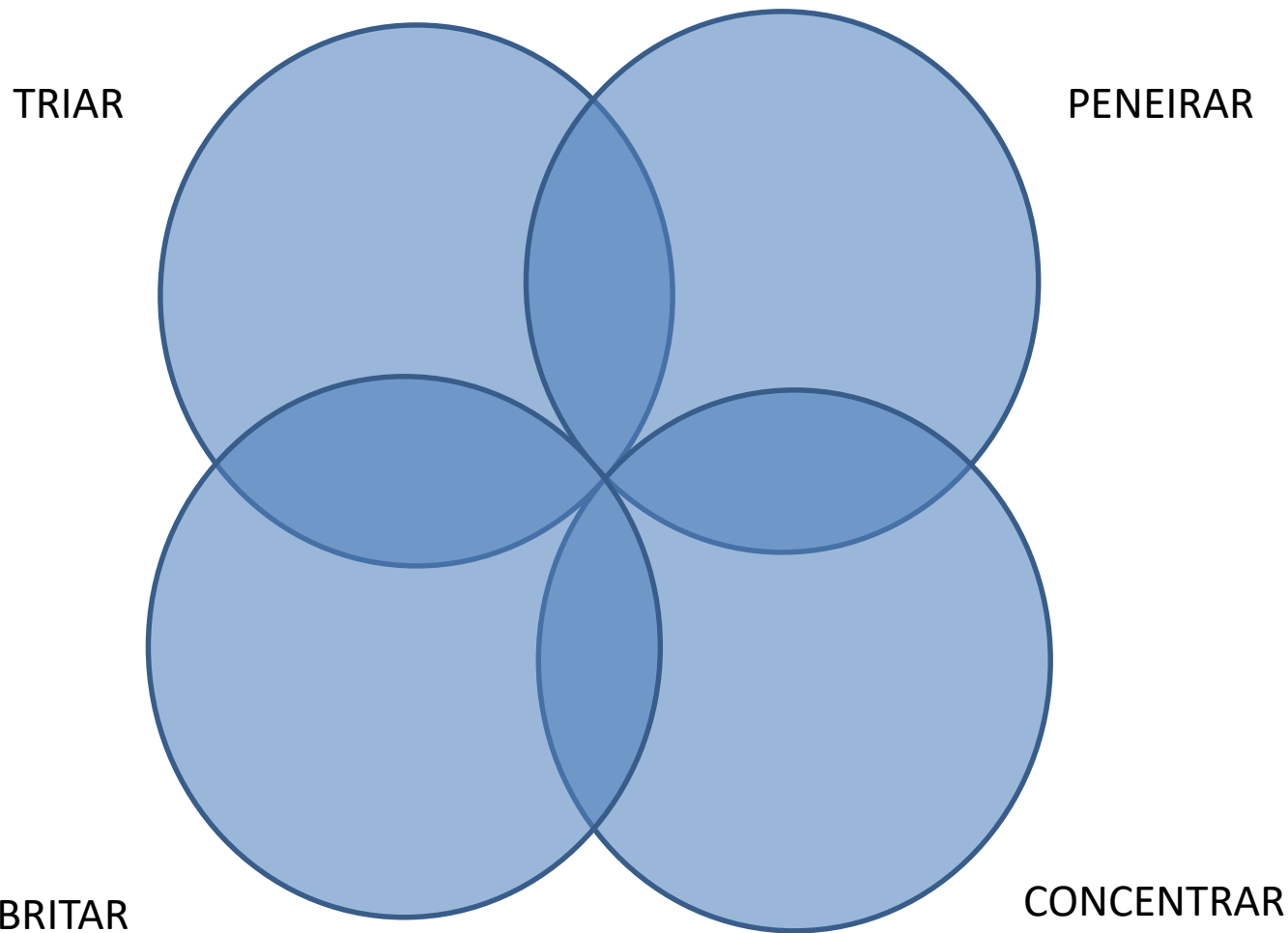


Resíduo de alvenaria



Resíduo de concreto

Processos de reciclagem



são fundamentais para definir a qualidade do agregado reciclado

Triagem manual (mais simples)



Triagem em transportadores de correia (mais eficiente)



Usinas de baixo custo



Concepção: USP/CETEM/UFAL
Construção e Difusão: IPT



Lógica do processamento

- Sem britagem
 - Custo de investimento e manutenção caem pela metade
- Triagem
 - É mais importante do que britagem
- Peneirar
 - Brita graduada
 - Rachão
- Produto
 - Reforço de subleito (estradas de terra)
 - Gabião



40 % da
massa

60 % da
massa

Agregados Reciclados Mistos



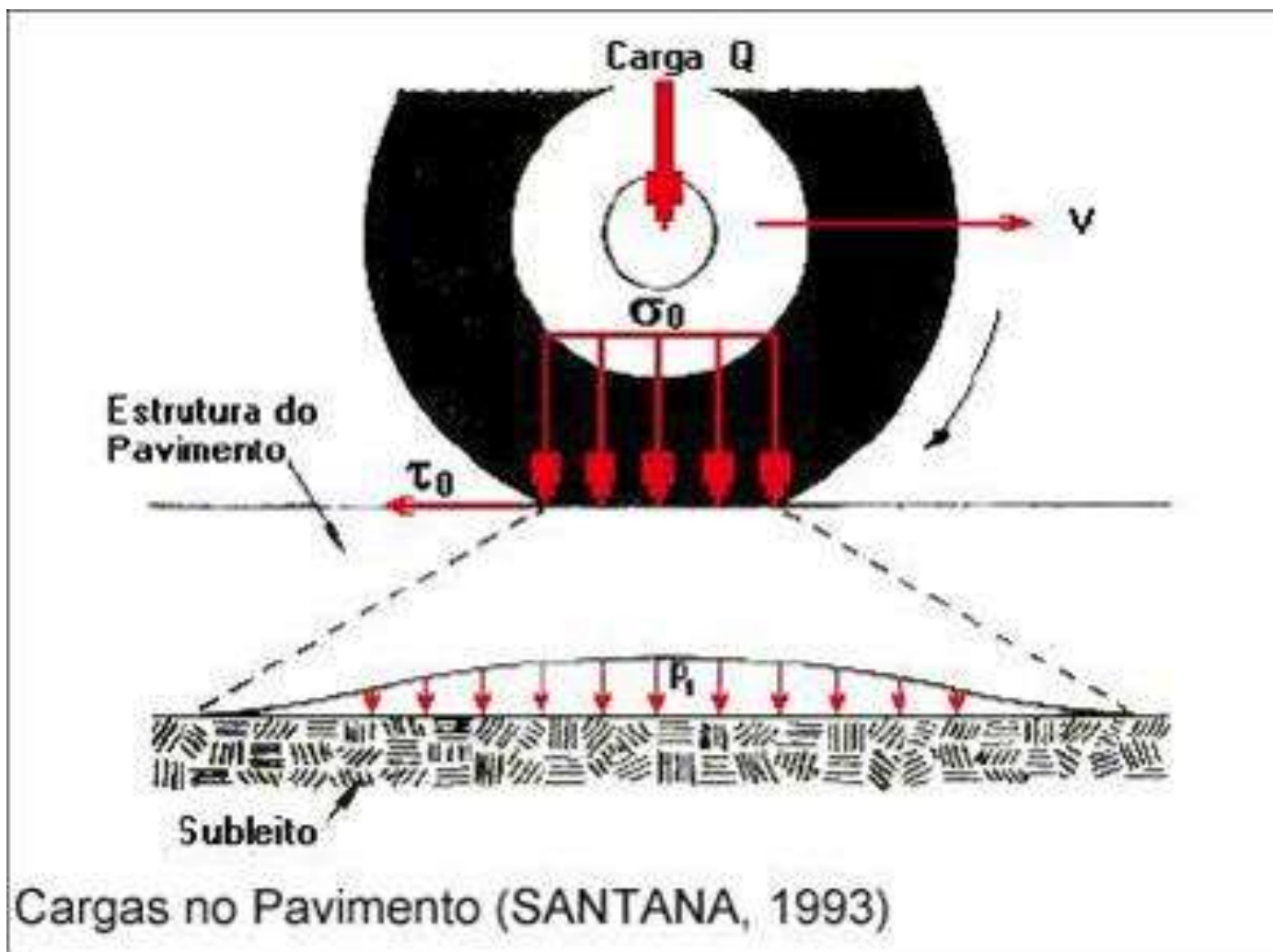
Treinamento para operação
(Programa PATEM-IPT/ Novo Horizonte)

Brita graduada de RCD misto

Material granular com
dimensão inferior a 50 mm



Uso em Subbases



Controle de qualidade (NBR 15116)

Tabela 5 - Requisitos gerais para agregado de RCD destinado à pavimentação (NBR 15.116:2004).

Propriedades	Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica	não uniforme e bem graduada com coeficiente de uniformidade $C_u \geq 10$		NBR 7181	
Dimensão máxima característica	$\leq 63\text{mm}$		NBR NM 248	
Índice de forma	≤ 3	-	NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira 0,42mm	entre 10% e 40%		NBR 7181	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado. (%)	Materiais não minerais de mesmas características ^(*)	2	Anexo A	Anexo B
	Materiais não minerais de características distintas ^(*)	3	Anexo A	Anexo B
	Sulfatos	2	NBR 9917	

^(*)Para efeito dessa norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Ensaio de catação



Índice de forma



Figura 5.23: Leitura para determinação da forma do agregado reciclado estudado



Figura 5.24: Frações granulométricas para determinação da forma do agregado reciclado estudado

Compactação x Usos (NBR 15116)

Tabela 6 - Requisitos específicos para agregado de RCD destinado à pavimentação (NBR 15.116:2004).

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de sub-leito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento ^(*)	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

^(*) Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2tf (80kN) no período de projeto.

Uso em aterro de valas



VEDRONI, J. W. **Estudo de caso sobre a utilização dos resíduos de construção e demolição em reaterros de valas nos pavimentos de Piracicaba SP.** 2007. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

Britas e areias de RCD



Uso em Argamassa

Tabela 10 – Critérios técnicos para a areia de RCD e argamassa (Miranda, 2005 adaptado).

Critérios técnicos		Valores Limites
Areia de RCD	Absorção de água (% kg/kg)	< 6,0
	Teor de finos < 75 µm (% kg/kg)	< 5,0
	SO ₃ total (% g/g)	< 1,0
Argamassa com areia de RCD	Densidade de massa (kg/m ³)	> 1.700
	Resistência à tração na flexão (MPa)	> 0,5
	Resistência de aderência (MPa) (*)	> 0,3

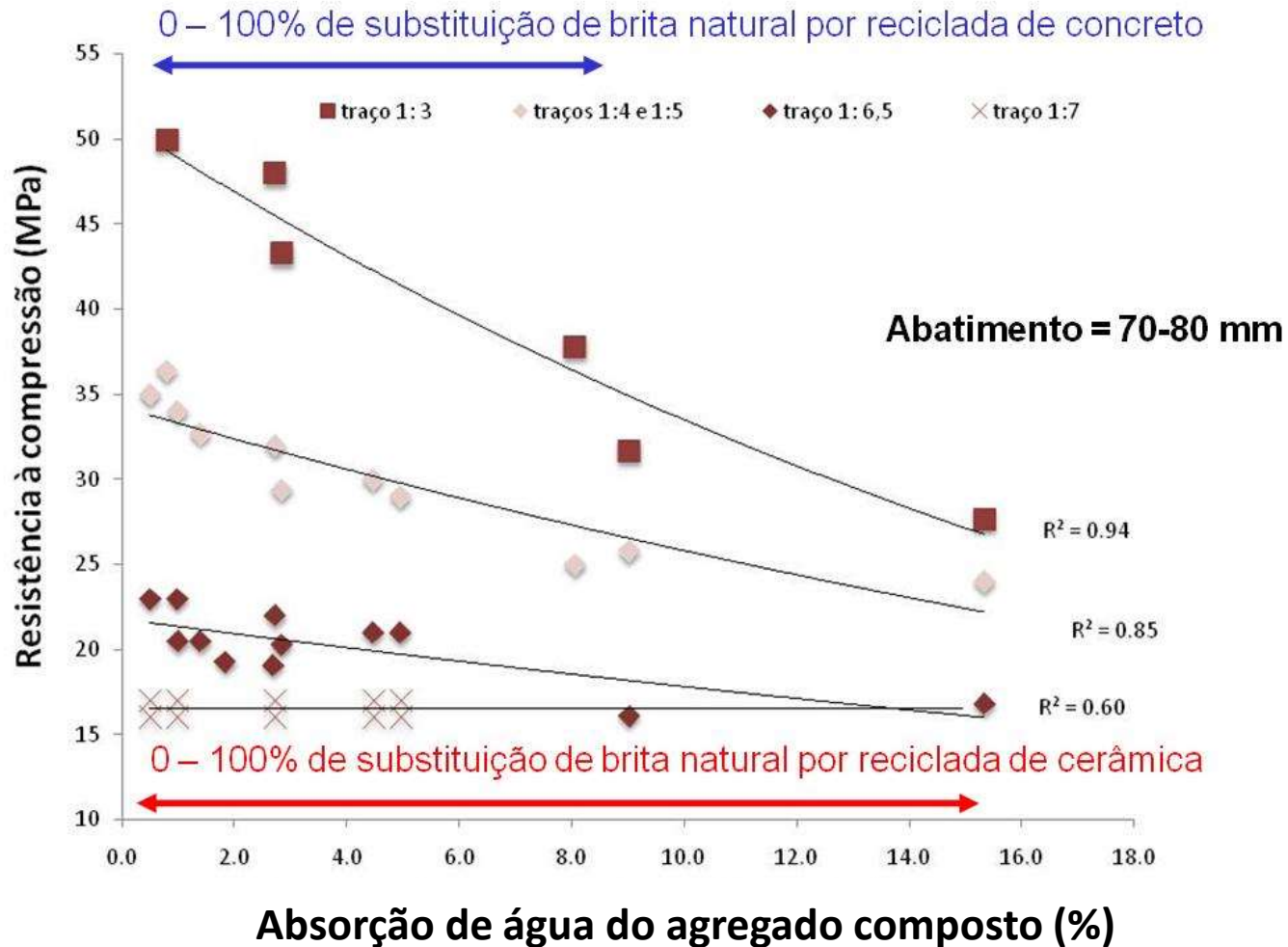
(*) Critério da norma NBR 13.528

Substituição de 35%, em volume, de agregados naturais por cimentícios causam pouca influência nas propriedades das argamassas

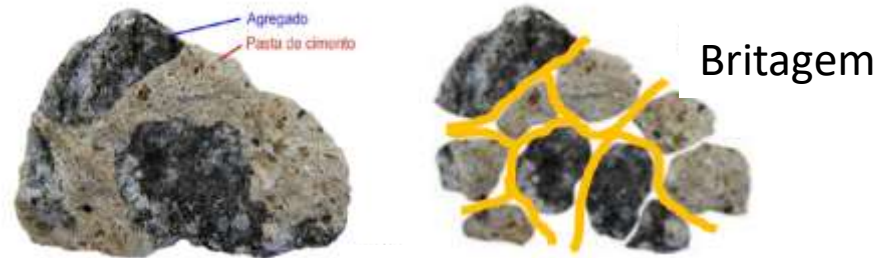
Uso em concreto (NBR 15116)

Propriedades		Agregado reciclado classe A				Normas de ensaios	
		ARC		ARM			
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Teor de fragmentos a base de cimento e rochas (%)		≥90	-	<90	-	Anexo A	-
Absorção (%)		≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17	NBR NM 53	NBR NM 30
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado. (%)	Cloretos	1				NBR 9917	
	Sulfatos	1				NBR 9917	
	Materiais não minerais ^(*)	2				Anexo A	Anexo B
	Torrões de argila	2				NBR 7218	
	Teor total máximo de contaminantes	3				-	
Teor de material passante na malha 75 µm (%)		≤10	≤ 15%	≤ 10%	≤ 20%	NBR NM 46	
^(*) Para efeito dessa norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.							

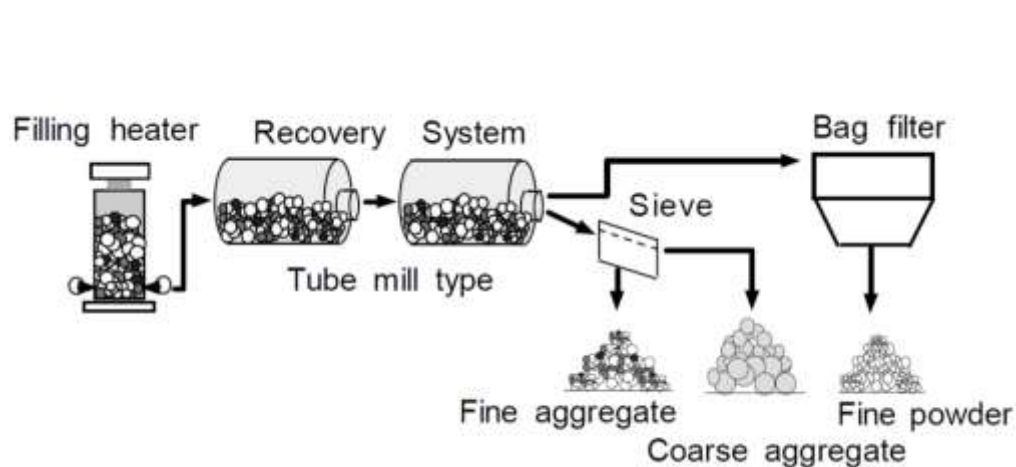
Substituição do agregado reciclado pelo agregado natural no concreto



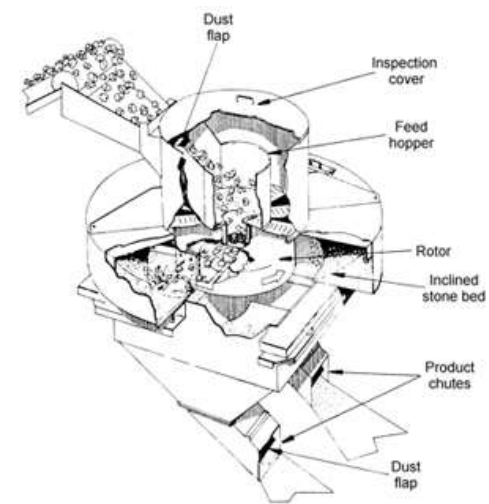
Britagem e aquecimento (remoção da pasta de cimento)



Ulsen (2011)



Tomosawa. F. et al. (2005)



www.quarrying.org

Jigue



1a camada



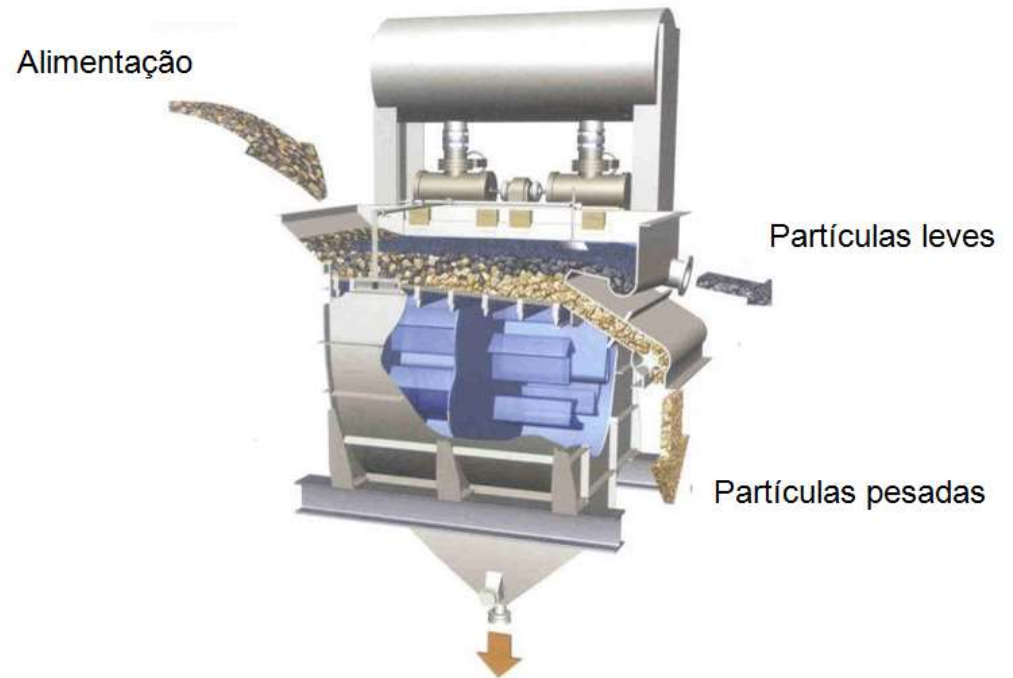
2a camada



3a camada



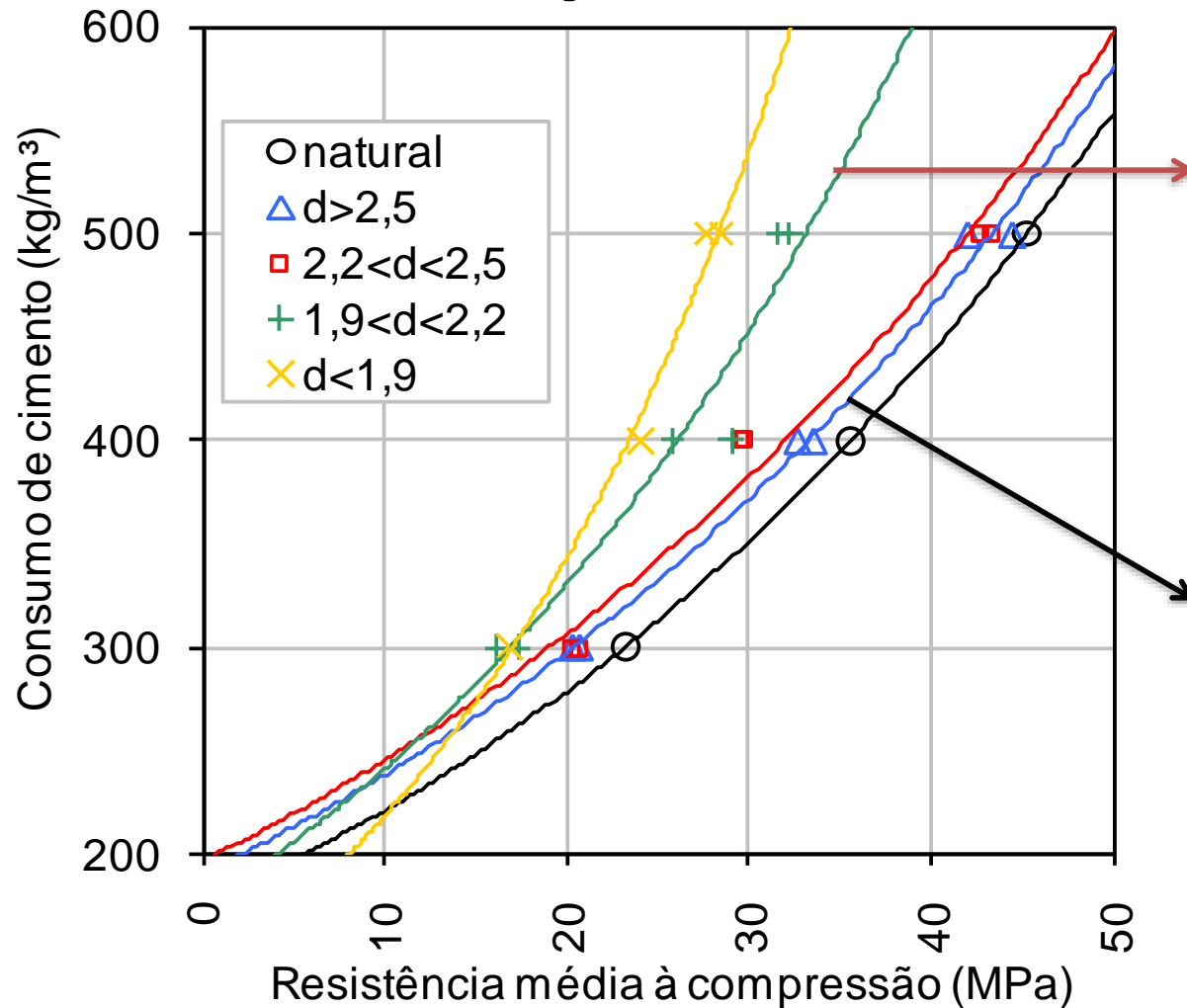
4a camada



<http://allmineral.com>

50% da massa

Uso integral de agregado reciclado no concreto pode ser ecoeficiente.



Angulo et al, "On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete," *Materials and Structures*, 43, 2010.