



Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Construção Civil

Materiais de Construção III (TC-034)

IMPACTO AMBIENTAL: RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD

Prof. José de Almendra Freitas Jr.
freitasjose@terra.com.br

Versão 2019



Reciclagem de materiais de construção

Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 034 Materiais de Construção III

Reciclagem dos resíduos de construção e demolição - RCD **Uma necessidade**

**Quanto tempo duram nossos edifícios?
Onde vamos colocar os resíduos disto tudo???**





Reciclagem dos resíduos de construção e demolição - RCD

Alguns Benefícios:

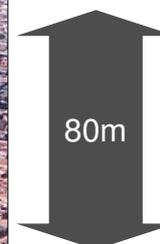
Reduções de:

- Consumos de recursos naturais não-renováveis
- Áreas necessárias para aterro
(Resíduos de construção/demolição representam 40 a 50% dos resíduos sólidos urbanos).
- Consumo de energia para produção de materiais
- Poluição do ar, da terra, ...



Reciclagem dos resíduos

Aterro de Resíduos em São Paulo



80m



Reciclagem dos resíduos

Aterro de Resíduos em Curitiba

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais: no Brasil em 2007, resíduos da construção civil de 70 mil toneladas por dia.



Resíduos da construção/demolição RCD

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente)

Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos sólidos da construção civil, classificação dos resíduos de construção:

- **Classe A** - resíduos reutilizáveis como agregados
- **Classe B** - resíduos recicláveis p/ outras destinações
(plásticos, papel/papelão, metais, gesso, vidros, madeiras...)
- **Classe C** - resíduos sem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para sua reciclagem
- **Classe D** - resíduos perigosos oriundos do processo de construção.



Reciclagem RCD

Redução de impacto ambiental para aço, vidro e cimento, (%):

IMPACTO AMBIENTAL	AÇO	VIDRO	CIMENTO *
Consumo de energia	74	6	40
Consumo de matéria prima	90	54	50
Consumo de água	40	50	????
Poluentes atmosféricos	86	22	< 50
Poluição aquática	76		
Resíduos em geral	105	54	
Resíduos minerais	97	79	

* No caso do cimento consideram-se as adições.

(KANAYAMA, 1997)



Resíduos da construção RCD – entulho

Material heterogêneo, deve passar por processos de seleção e tratamento antes de ser reincorporado a novos materiais da construção.



Tendências: Empresas cobrarem valores diferenciados para o entulho sujo e limpo.



Resíduos da construção RCD – entulho

Sobras de pré-moldados de concreto com armaduras....

Estacas, postes, lajes, ...

O concreto precisa ser separado do aço....



Resíduos da construção RCD – entulho

Equipamento que combina uma caçamba trituradora com separador de metais



Arquivo: Filmes Concreto / Reciclagem / Recyclage et démolition de traverses ferroviaires.wmv



Resíduos da construção RCD – entulho

É necessária a separação e processamento dos resíduos:

- Separação de metais
 - Ferrosos
 - Não ferrosos
- Separação de plásticos
- Separação de madeiras
- Separação de papel/papelão
- Entulho para reciclagem como agregados.



Resíduos da construção RCD – entulho

Produção de entulhos em obras de apartamentos:

OBRA	Área construída	Duração da obra (meses)	Nº de viagens ^a	Volume de entulho (m ³)	Massa de entulho (t) ^b	Índice de geração (t/m ²)	Perdas (%) ^c
A	7.619	17	173	606,0	727,8	0,095	11,2
B	7.982	15	202	707,7	849,2	0,107	12,6
C	13.581	16	--	1.615,0	1.938,0	0,145	17,1

^a Retiradas de caçambas estacionárias de 3,5 m³ cada.

Na obra C, o registro foi feito diariamente em m³

^b Adotou-se massa específica do entulho de 1,2 t/m³

^c Quantidade de entulho produzida em relação a massa final projetada do edifício (adotada como 0,85 t/m²)

Reformas – RCD 50 kg/m²
Demolição – RCD 1.000 kg/m²

Curitiba e RMC estimativas:
4.300 t/dia



Resíduos da construção RCD – entulho

Reciclagem como agregados

Procedimentos para se obter resultados satisfatórios:

- Identificação e quantificação dos resíduos
- Caracterização do resíduo
 - Determinação das propriedades físicas e químicas
- Análise da viabilidade da reciclagem
 - Custos de:
 - Transporte, disposição final, licenças ambientais
 - X
 - Custos de reciclagem

(ÂNGULO et al., 2005)



Resíduos da construção RCD – entulho

Reciclagem como agregados:

Procedimentos p/ obter resultados satisfatórios:

- Selecionar aplicações conforme as características físico-químicas
- Determinar o desempenho do produto final obtido usando agregados reciclados
- Análise de desempenho ambiental
 - Possíveis danos à saúde
 - Possíveis danos ao meio ambiente.

(ÂNGULO et al., 2005)



Resíduos da construção - entulho

Logística para coleta do entulho:

- Custo significativo para a viabilização do processo
 - **Custo da coleta**
 - **Distâncias**
 - **Volumes. Ex. “Isopor”, volume muito grande em relação ao peso**
 - **Pesos**
- Levantamento das características do entulho



Resíduos da construção - entulho

Instalações para reciclagem de entulho:

- Alto investimento inicial:
 - **Britadores, Peneiras, Separadores magnéticos, Flotadores (para separar madeira e papel)**
- Precisa adequar o equipamento ao tipo de entulho
- Impacto ambiental da instalação de reciclagem
 - **Geração de resíduos**
 - **Geração de materiais finos (pó)**



Resíduos da construção - entulho

Reciclagem de entulho – Usinas na RMC



Soliforte

Soliforte (Colombo/PR)

Usipar (Almirante Tamandaré/PR)

Usimaster (Araucária/PR)

HMS Resíduos (Curitiba/PR)



Usipar



Usipar



Soliforte



Resíduos da construção - entulho

Usinas de reciclagem - EUA

Separadores / classificadores mecânicos de entulho de construção



<https://mags.constructioninfocus.com/mag/CIFNMar2017/#?page=80>



Resíduos da construção - entulho

Reciclagem de entulho - Usinas

Material produzido:

Agregados miúdos e graúdos

NBR 15116/06 – Agregados reciclados para utilização em pavimentos e concreto sem função estrutural.

Utilizações de agregados reciclados:

- **Bases e sub-bases de pavimentos (99%)**
- Drenos
- Concretos
- Argamassas



Resíduos da construção - entulho

Reciclagem de entulho - Usinas

Material produzido:

Agregados graúdos



Agregados miúdos



(ZORDAN, Sérgio E. ; PAULON, Vladimir A.)



Resíduos da construção - entulho

Pesquisas

Utilização de agregado reciclado de RCD geral como agregado para concreto:

A variabilidade dos agregados reciclados de RCD afeta as suas propriedades. Diversas pesquisas apontam para reduções de 4 a 50 % na resistência à compressão e 15 a 30% no módulo de elasticidade quando comparado com agregados novos de pedra britada.

Hansen e Narud (1983), Hansen e Bøegh (1985), Pinto (1986), Angulo e John (2001), Yannas (1977) e CONCRETE (1993)



Resíduos da construção - entulho

Pesquisas

Utilização de agregado reciclado em concreto:

- Em princípio é complicado produzir um concreto, de forma econômica, com resistência à compressão maior que a dos agregados utilizados.
- Agregado proveniente de entulho geral apresenta uma absorção de água bem superior à do agregado tradicional, (grande porosidade e maior quantidade de finos).
- Presença de fragmentos de revestimentos cerâmicos (materiais polidos) induziram à ocorrência de superfícies de ruptura nas suas faces lisas, prejudicando a resistência à compressão



Resíduos da construção - entulho

Pesquisas

Utilização de agregado reciclado em concreto:

- Presença de fragmentos de gesso prejudica muito a resistência à compressão e a durabilidade do concreto.
 - Demanda mais água devido ao formato anguloso e complexo dos grãos.
 - Selecionando ou melhorando a qualidade do entulho permite a obtenção de resultados melhores, chegando-se algumas vezes a viabilidade do uso de de agregados reciclados no concreto.
- Utilização de somente agregados graúdos reciclados produz melhores resultados.
 - Substituições parciais (até 20%) dos agregados “novo” por reciclados praticamente prejudica muito pouco os concretos.



Resíduos da construção - entulho

Reciclagem de concreto como agregado:

- Em alguns casos pode dar bons resultados:
 - Situações bem especiais: resíduo homogêneo
- Agregados de concreto triturado não contaminado por outros resíduos permite agregados de melhor qualidade.



<http://techne.pini.com.br/2017/07/veja-como-foi-feita-a-demolicao-da-estrutura-abandonada-ha-20-anos-e-comprometida-pela-acao-da-maresia>



Resíduos da construção - entulho

Pesquisas

Utilização de agregado reciclado em argamassas

Levy e Helene, 1995 – bons resultados

Redução de:

10 a 15% no consumo de cimento

Possibilita grandes reduções no consumo de cal

15 a 30% no consumo de areia

Ganho de 20 a 100% na resistência à compressão



Reciclagem de pavimento em concreto asfáltico

É possível a reciclagem do material retirado de pavimentos asfálticos em:

- Agregados para bases de pavimentação (comum)
- Concreto asfáltico para pavimentação (complexo)



Fresa removendo pavimento em concreto asfáltico.



Reciclagem de concreto asfáltico em agregados.

<https://imgix.constructionfocus.com/img/CIF/NA/Mar2017/#page=80>

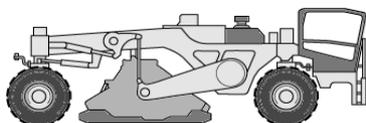


Reciclagem de pavimento em concreto asfáltico

Em geral os material retirado é reutilização em bases, não em pavimentos.

Utiliza-se os agregados reciclados em:

- Bases para pavimentos
- Pavimentos reciclados à frio
 - Adição de aglomerantes à frio
 - Cimento Portland
 - Emulsões de aglomerantes betuminosos
- Pavimentos reciclados à quente
- Espuma de asfalto.



Recicladora a frio Wirtgen WR 24000



Reciclagem de concreto asfáltico

Através do uso de equipamentos complexos, é possível a reciclagem a quente. Com a adição de materiais novos (asfalto e agregados), produz-se CBUQ



Equipamento pesado de processamento móvel com reuso no local evita transporte

Caminhão com mistura adicional



Pós-aquecedora/Secadora/Misturadora



Pavimentadora



Rolo equipado com pneus de borracha



Rolo vibratório





Resíduos da construção - AÇO

Reciclagem do aço:

Produção de aço a partir de minério de ferro:

(pode-se acrescentar sucata na aciaria misturando ao ferro gusa)

Aço a partir de minério de ferro:

FE = 2.000 a 2400 kg de CO₂ /tonelada de aço.



Siderúrgica

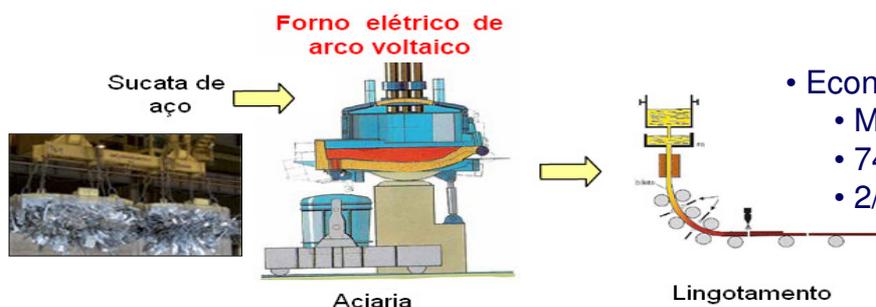


Resíduos da construção - AÇO

Reciclagem do aço:

Produção de aço a partir de sucata:

- Fundição em fornos elétricos
- A energia elétrica é aplicada à sucata através de eletrodos consumíveis de grafite
- **Aço elétrico CO₂: FE = +- 600 kg de CO₂ /tonelada de aço.**





Resíduos da construção - AÇO

Reciclagem do aço:



Reciclagem da sucata:

- Separação por magnetismo dos metais não ferrosos
- Eventuais correções da composição química e adição de outros metais para ligas especiais são feitas dentro do forno elétrico.



Resíduos da construção - AÇO

Reciclagem do aço:



- Fundição de sucata em fornos elétricos
- O aço tem alto índice de reciclagem
 - Brasil recicla 70% do aço produzido anualmente
 - A reciclagem do aço economiza 75% da energia usada para fabricar a partir do minério de ferro
 - Praticamente não há perda de qualidade do aço com o processo de reciclagem
 - Maior parte da produção de aço é a partir de minério de ferro



ALUMÍNIO

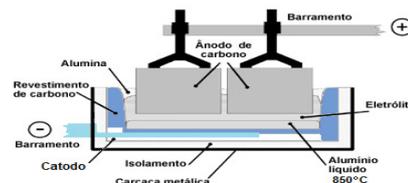


Reservas – Bauxita:

- Muito amplas
- Duração

Consumo de Energia:

- Grande quantidade de energia elétrica
- Para produzir uma tonelada de alumínio:
 - ❖ 15 (MW/h) energia elétrica = 1,7 t petróleo
- Sob baixa tensão a alumina se decompõe em oxigênio, que se combina c/ carvão do anodo, desprendendo-se sob a forma de gás, e em alumínio líquido.



Warner Bulletin - World Resource Foundation



ALUMÍNIO

Reciclagem :



- O alumínio tem alto índice de reciclagem
- Brasil recicla 90% do alumínio produzido anualmente
 - A reciclagem poupa 95% da energia
 - Perdas de alumínio devido ao processo de reciclagem são pequenas (5%)
 - Não há perdas de qualidade do alumínio reciclado.



Sucata de alumínio



Vidros

Reciclagem:



Vidros planos são difíceis de reciclar, precisa-se remover as impurezas p/ preservar a transparência



Classificação de sucatas de vidro

Recicláveis	Não-recicláveis
Garrafas de bebida alcoólica e não alcoólica (refrigerantes, cerveja, suco, água, vinho, etc)	Espelhos, vidros de janela e box de banheiro , lâmpadas, cristal
Frascos em geral (molhos, condimentos, remédios, perfumes e produtos de limpeza)	Ampolas de remédios, formas, travessas e utensílios de mesa de vidro temperado
Potes de produtos alimentícios	Vidros de automóveis
Cacos de embalagens	Tubos de televisão e válvulas

Fonte: ABIVIDRO



Vidros

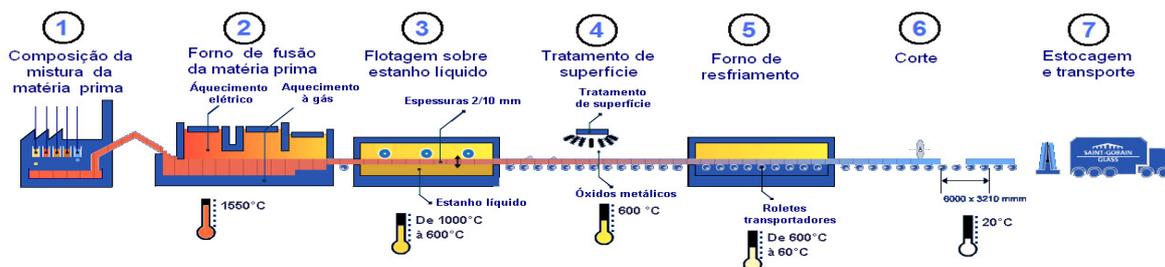
A produção do vidro plano:

Vidro float:

- Alta qualidade de transparência
- Alto paralelismo e planicidade das faces.

Matérias primas:

- 72% Sílica (SiO_2)
- 14% Sódio (Na_2SO_4)
- 4% Magnésio (MgO)
- 9% Cálcio (CaO)
- 0,3% Potássio (K_2O)
- 0,7% Alumina (Al_2O_3)





Vidros

Reciclagem:

Dificuldades para reciclagem do vidro plano:

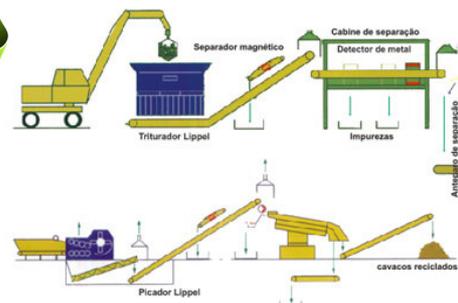
- Necessidade de matéria prima isenta de impurezas
- Vidros de altíssima transparência
- Composição química diferente dos vidros de embalagens
- Temperatura de fusão e dureza maior que a dos vidros de embalagens
- No processo de produção do vidro são aplicados óxidos metálicos sobre a superfície que são impossíveis de retirar.



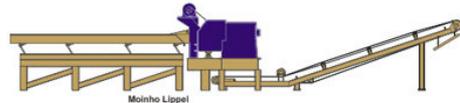
Madeira Reciclagem:

Reciclagem de Madeira

Madeira é Processada para diversas finalidades. Operação de coleta e processamento só é economicamente viável com o resíduo a custo zero.



Planta de Reciclagem de Um Estágio
Sistema de Alimentação, Rotor de Desmonte, Separador de Partes Ferrosas, Peneira - Série PTL



Planta de Reciclagem de Um Estágio
Moinho de Martelos Rígidos, Separador de Partes Ferrosas - Série MMR

<http://zanoncini.com.br/>

<https://www.gruposalmoron.com.br/reciclagem-e-recuperacao-de-residuos/reciclagem-de-madeira/>



Destinações para os resíduos de madeira:

Compostagem - Fertilizante orgânico.

Lenha / Combustível - Doméstica e comercial, combustível p/ fornos de padarias, pizzarias, empresas de cal, cerâmicas e olarias.

Carvão vegetal - Utilização em forno de alvenaria (caieira).

Painéis – Utilização para a produção de painéis (aglomerados MDP ou MDF).

Papel – Resíduos tratados podem ser utilizados na produção de pasta de papel.

Diversos - Farinha de madeira moída pode ser utilizada como matéria-prima na indústria de plástico, forração de piso para animais.



Gesso

Podem ser reciclados e utilizados como gipsita na indústria do cimento, na agricultura, na própria indústria gesseira ou em argamassas de gesso de projeção, para reuso na construção civil.

A operação de coleta e processamento só fica economicamente viável com boa parte do custo sendo bancado pelo gerador do resíduo.



Resíduos de gesso:

Uso agrícola: fertilizante, corretivo de solos, condicionador de subsuperfície.

Indústria de cimento: adicionado ao clínquer (+-3%), atuando como retardante, inibindo a falsa pega.

Indústria gesseira: Os fabricantes podem reincorporar os resíduos, em certa proporção. Pouco uso devido a distâncias das unidades fabris.

Construção: Resíduo triturado a pó para adição em argamassas de gesso para projeção ou em fragmentos para isolamento térmico.



Gesso

Gesso liso como revestimento gera 10 a 45% ?? de perdas.
Os resíduos de gesso devem ser coletados e armazenados em local separado, isolado de outros materiais contaminantes.
Quanto menor o índice de contaminações, melhor o aproveitamento na reciclagem.
O local de armazenagem dos resíduos de gesso na obra deve ser seco.



José Freitas Jr.



Associação Brasileira de Drywall



Gesso

Resíduo triturado a pó serve como adição em argamassas de gesso para projeção. Fragmentado em pedaços pode ser utilizado para isolamento térmico.





Gesso

Região Metropolitana de Curitiba

100 toneladas de gesso ao mês já são recicladas em Curitiba. (Gazeta do Povo 13/03/2013)



ATT – Áreas de transporte e triagem, onde o material é separado de papéis e outros rejeitos.



Secagem e trituração em usina recicladora (emite um certificado para a construtora que enviou o resíduo)



Produto: pó que serve como fertilizante e condutor de micronutrientes do solo.



Polímeros (plásticos)

Grupos:

➤ Termofixos

- Polimeriza com calor durante a moldagem
- Grande quantidade de ligações cruzadas nas moléculas
- Não remolda depois de polimerizado
- Se aquecido depois de polimerizado, decompõe
- Ex. baquelite 1º termofixo (1910).

➤ Termoplásticos

- Amolecem ao calor e endurecem no resfriamento
- Processo reversível, mas degrada o material
- Pode fundir novamente por:
 - Calor
 - Dissolução em solventes.





Polímeros (plásticos)



Reciclagem:

- **Como matéria prima: (termoplásticos)**
 - Necessita da separação por tipos de polímero
 - Ocorrem ligeiras perdas de qualidade a cada reciclagem
 - Material é granulado, possibilitando ser fundido e moldado novamente
- **Como aproveitamento de resíduos:**
 - Agregados leves
 - Fibras p/ concreto e argamassa
 - Fragmentos para isolamento térmico ...
- **Como fonte de energia.**



Polímeros (plásticos)



Sistemas de reciclagem mecânica de plásticos:

Possibilita economizar até 50% de energia

Reciclagem primária - regeneração de um único tipo de resina separadamente.

Reciclagem secundária - o processamento de polímeros, misturado ou não, entre os mais de 40 existentes no mercado. Ex.: "Madeira plástica"

Sistema mecânico de reciclagem de plásticos





Polímeros (plásticos)

Recicláveis mecanicamente:



PET: Polietileno Tereftalado



PEAD: Polietileno de Alta Densidade



PVC: Policloreto de Vinila



PEBD: Polietileno de Baixa Densidade



PP: Polipropileno



PS: Poliestireno



OUTROS



Reciclagem mecânica de polímeros termoplásticos



Consiste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos.

Etapas:

- **SEPARAÇÃO** - Separação em uma esteira dos diferentes tipos de plásticos,
- **MOAGEM** - Após separados os diferentes tipos de plásticos são moídos e fragmentados em pequenas partes.
- **LAVAGEM** - Após triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes.
- **AGLUTINAÇÃO** - O material é compactado, reduzindo-se assim o volume. Nesta etapa se incorpora aditivos, cargas, pigmentos e lubrificantes.
- **EXTRUSÃO** - A extrusora funde e produz um massa plástica homogênea que é resfriada com água. Em seguida, é picotada em um granulador e transformado em pellet (grãos plásticos).



Reciclagem mecânica de polímeros termoplásticos



MOAGEM



LAVAGEM



GRÃOS



Polímeros (plásticos)

Produção de energia p/ ind. cimenteira:

- Queima de resíduos de polímeros:
 - 1.000.000 t queimados em 2008
 - Queima de pneus, borras de tintas, resíduos de plásticos ...
 - 33.000.000 pneus queimados em 2008.



(Sindicato Nacional da Indústria do Cimento)



Papel e papelão

Resíduos usuais em obras:

- Papel Kraft – embalagens de cimento, cal, ...
(limites de resíduos de aglomerantes p/ viabilizar reciclagem)
- Papelão – caixas, ...



A reciclagem é um importante fator de ordem econômica e social, para a conservação de recursos naturais e energéticos e sendo importante na redução dos volumes de resíduos nos aterros.

Os resíduos de papel/papelão representam 25% dos Resíduos Sólidos Urbanos.



Papel e papelão



A reciclagem aproveita as fibras de celulose existentes nos papéis usados.

O papel pode ser fabricado exclusivamente com fibras secundárias (papel 100% reciclado) ou ter a incorporação de pasta nova (virgem) de papel.

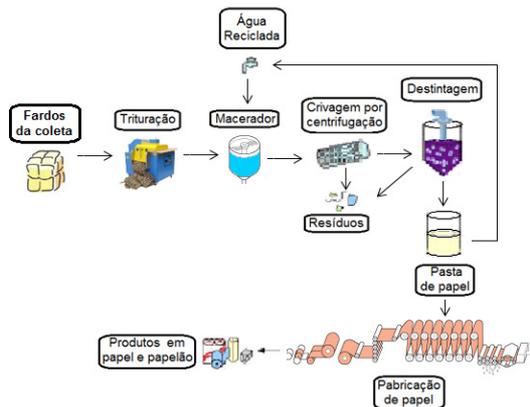
As fibras apenas podem ser recicladas 5 a 7 vezes, o que implica adicionar alguma quantidade de pasta de papel novo para substituir fibras degradadas.





Papel e papelão

O processo de reciclagem é semelhante ao de fabricação de papel novo, mas menos intensivo.



Triagem: Separação dos produtos de papel e retirada de metais e matérias impróprias

Classificação: função da sua qualidade presença de contaminantes.

Trituração: em partículas de dimensões e enfardamento.

Desagregação ou maceração: mistura com água para enfraquecer as ligações entre as fibras.

Depuração e lavagem: passagem por telas de plástico em que a abertura vai diminuindo nas sucessivas fases.

Dispersão: diminuição em tamanho a 50 - 125°C para dissolver os contaminantes.

Destintagem: remoção das partículas de tinta aderentes às fibras

Branqueamento: para produtos de alta qualidade com lixívia e água oxigenada.

Máquina de papel: transforma a pasta em folhas.



**Referências bibliográficas:**

Metha, P. K.; Concrete Technology for Sustainable Development – An Overview of Essential Principles, CAN MET/ACI, 1999. www.ecosmartconcrete.com

HANSEN, T. C., NARUD, H.; Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete International. Design and construction, v. 5, n. 7, p. 79-83, 1983.

PINTO, T. P.; Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas. São Carlos: Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado), 1986. 148 p.

ÂNGULO, S. C.; Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 2005.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M.; Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados; BT/PCC, São Paulo, 2001.

Zordan, S. E.; A utilização de entulho como agregado na confecção de concreto, Dissertação de mestrado, UNICAMP, 1997.

YANNAS, S. F.; Waste concrete as aggregate for new concrete. ACI Journal, v. 74, n. 37, p. 373-376, 1977.

Vanderley M. John; Maria Alba Cincotto; ALTERNATIVAS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS DE GESSO; Depto. Eng. Construção Civil, Escola Politécnica da USP, 2003

Yêda V. Póvoas, Reciclagem de Gesso em Pastas para Revestimento Interno de Parede, UPE, 2010