

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**DIRETRIZES TÉCNICAS E ECONÔMICAS PARA USINAS DE
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Iuri Jadovski

Porto Alegre
setembro 2005

IURI JADOVSKI

**DIRETRIZES TÉCNICAS E ECONÔMICAS PARA USINAS DE
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na
modalidade Profissionalizante

Porto Alegre
setembro 2005

J21a Jadovski, Iuri

Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição / Iuri Jadovski. – 2005.

Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2005.

Orientadora Profa. Dr.a Angela Borges Masuero.

1. Usina de reciclagem – Aspectos econômicos. 2. Resíduos. I. Masuero, Angela Borges, orient. II. Título.

CDU-69:658(043)

IURI JADOVSKI

**DIRETRIZES TÉCNICAS E ECONÔMICAS PARA USINAS DE
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, janeiro de 2006

Prof.a Angela Borges Masuero
Dra. pelo PPGEM/UFRGS
Orientadora

Prof. Valmor Marchetti
Dr. pelo PPGE/UFRGS
Co-orientador

Prof.a Carin Maria Schmitt
Coordenadora do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antonio Ernani Martins Lima (UFRGS)
Dr. pelo PPGE/UFRGS

Prof. Hélio Adão Greven (UFRGS)
Dr. Ing. pela Univ. Hannover

Prof.a Marlova Piva Kulakowski (FEEVALE)
Dr.a pelo PPGEM/UFRGS

Arq. Tarcísio de Paula Pinto (I & T)
Dr. pela EPUSP

Dedico este trabalho a minha esposa Leatriz, pela compreensão, apoio e amor, condições necessárias para o desenvolvimento deste trabalho. E a minha mãe Maria Luiza, pela doação total aos filhos, desde os primeiros passos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAIXA ECONÔMICA FEDERAL pelo apoio financeiro necessário para realização das visitas técnicas às usinas de reciclagem e construção deste trabalho.

Agradeço à Prof.a Angela Masuero, orientadora deste trabalho, pela paciência e orientação.

Agradeço ao Prof. Valmor Marchetti, co-orientador deste trabalho, pela contribuição e ensinamentos, agregando novos conhecimentos com relação à análise de investimentos.

Agradeço à Prof.a Carin Maria Schimidt, coordenadora do curso de mestrado profissionalizante, pela dedicação e apoio a todos os alunos ao longo deste período tão profícuo de nossas vidas.

Agradeço a todas as pessoas que, de uma forma ou outra, ajudaram na realização deste trabalho, em especial ao Eng. Iacomini e Eng. Dan Moschen que possibilitaram as visitas às usinas dos municípios de Belo Horizonte e São Paulo, respectivamente, e ao Sr. Artur Granato, pelos ensinamentos sobre usinas de britagem.

Agradeço aos colegas da Caixa Econômica Federal de Porto Alegre, Belo Horizonte, São Paulo e Brasília, que me ajudaram, cada qual na sua esfera de atribuições, nos diversos momentos deste trabalho a vencer este desafio.

Agradeço, finalmente, a Deus, pelo dom da vida. Obrigado Senhor.

RESUMO

JADOVSKI, I. **Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. 2005. 182 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

A indústria da construção civil é o setor da economia que mais consome materiais naturais, e também é uma grande geradora de resíduos. Além disto, o Brasil possui um grande déficit habitacional. Desta forma, a reciclagem de resíduos de construção e demolição é um instrumento para a redução dos impactos gerados por esta indústria, além de possibilitar a produção de materiais de construção mais baratos. O objetivo deste trabalho é determinar a viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD através de um aplicativo que tenha como dados de entrada a quantidade de geração de RCD e a finalidade de uso do agregado gerado, e desta forma determinar o tamanho da usina, a área requerida, os equipamentos necessários, mão-de-obra e todos os custos envolvidos; além de determinar os custos de implantação, operação e manutenção de uma usina de reciclagem de RCD e identificar os equipamentos necessários para implantação de uma usina de reciclagem de RCD e suas principais características. Para a obtenção das informações necessárias para o desenvolvimento do presente estudo foram visitadas as usinas de reciclagem dos municípios de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais e São Paulo, Vinhedo, Campinas, Socorro, Piracicaba e Ribeirão Preto, no estado de São Paulo. Após a análise dos resultados, verificou-se viabilidade econômica em usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição com capacidades a partir de 30 t/h para empresa pública e de 40 t/h para empresa privada, devendo-se buscar a adoção de políticas públicas de incentivo para implementação destas usinas.

Palavras-chave: análise de viabilidade econômica, reciclagem, resíduos de construção e demolição.

ABSTRACT

JADOVSKI, I. **Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição.** 2005. 182 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Technical and Economic Guidelines for Construction and Demolition Residues Recycling Plant

The civil construction industry is the sector of the economy that most consumes natural materials, and also is a great generator of residues. Moreover, Brazil possesses a great habitational deficit. This way, the recycling of construction residues and demolition are an instrument for the reduction of the impacts generated by this industry, besides producing cheaper construction materials. The objective of this work is to determine the economic viability of RCD plant recycling of through an applicatory which has as entrance given the amount of RCD generation and the purpose of generated aggregate use, and this way to determine the plant size, the required area, the necessary equipment, man power and all the involved costs; besides determine the implantation costs, operation and maintenance of a RCD plant recycling and identify the necessary equipment for the implantation of a RCD plant recycling and its main characteristics. For the attainment of the necessary information for the development of the present study, the recycling plants in the cities of Belo Horizonte in Minas Gerais state, and São Paulo, Vinhedos, Campinas, Socorro, Piracicaba and Ribeirão Preto in São Paulo state had been visited. After the results analysis, the economic viability was verified in recycling plant construction and demolition residues with capacities of 30 tons per hour in public company and 40 tons per hour in private company, having to search for the adoption of public politics of incentive for the implementation of these plants.

Key-words: analysis of economic viability, recycling, construction and demolition residues.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: sistema aberto (Boesman, 1985, apud Hansen, 1992, p.13).....	60
Quadro 2: sistema fechado (Boesman, 1985, apud Hansen, 1992, p.13).....	60
Quadro 3: representação esquemática do funcionamento das plantas de processamento de RCD de segunda geração (HANSEN, 1992, p.15).....	61
Quadro 4: métodos de análise de investimentos (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.60).....	89
Quadro 5: correspondência entre VPLA, TIR, VPL e IBC (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.71).....	92
Quadro 6: hipóteses utilizadas na avaliação de Usinas de Reciclagem (baseado em: WILBURN; GOONAN, 1998, p.14).....	94
Quadro 7: quadro resumo das visitas técnicas.....	106
Quadro 8: dados de entrada I – parte I.....	122
Quadro 9: dados de entrada I – parte II.....	123
Quadro 10: dados de entrada II – parte I – dados referentes à mão-de-obra.....	124
Quadro 11: dados de entrada II – parte II – dados referentes aos equipamentos.....	124
Quadro 12: dados de entrada II – parte III – dados referentes às máquinas e veículos e dados diversos.....	125
Quadro 13: parâmetros para cálculo da quantidade de resíduo gerado pelo número de habitantes e pela área construída.....	126
Quadro 14: tela “demonstrativo de resultados”.....	131
Quadro 15: tela fluxo de caixa.....	132
Quadro 16: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 30 t/h.....	135
Quadro 17: tela “demonstrativo resultados”, cap. 30 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados....	136
Quadro 18: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 40 t/h.....	139
Quadro 19: tela “demonstrativo resultados”, cap. 40 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados....	141
Quadro 20: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 40 t/h.....	144
Quadro 21: tela “demonstrativo resultados”, cap. 40 t/h, empresa privada, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados....	145
Quadro 22: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 50 t/h.....	146
Quadro 23: tela “demonstrativo resultados”, cap. 50 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para concreto, terreno, máquinas e veículos alugados.....	148

Quadro 24: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 50 t/h.....	152
Quadro 25: tela “demonstrativo resultados”, cap. 50 t/h, empresa privada, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados	153
Quadro 26: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 75 t/h.....	154
Quadro 27: tela “demonstrativo resultados”, cap. 75 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para concreto, terreno, máquinas e veículos alugados	157
Quadro 28: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 75 t/h.....	159
Quadro 29: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 75 t/h, com preço de venda alterado.....	159
Quadro 30: tela “demonstrativo resultados”, cap. 75 t/h, empresa privada, opção com financiamento, agregado para concreto, terreno comprado e máquinas e veículos alugados	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: quantidade da geração de lixo municipal	23
Tabela 2: quantidade de RCD em relação ao total de resíduos em aterros públicos.....	23
Tabela 3: quantidade da geração de RCD	24
Tabela 4: composição dos RCD de diversas regiões e países (%)	27
Tabela 5: percentual de granulometria dos agregados produzidos para britadores de mandíbulas com APF de 50 mm.....	67
Tabela 6: dados de produção de britadores de mandíbulas com abertura de saída na posição fechada (APF) de 50 mm	68
Tabela 7: dados técnicos de rebritadores de mandíbulas com abertura de saída na posição fechada de 25 mm	69
Tabela 8: percentual de granulometria dos agregados produzidos para rebritadores de mandíbulas com APF de 25 mm em circuito aberto.....	69
Tabela 9: percentual de granulometria (%) dos agregados produzidos para moinhos de rolos da empresa FURLAN	72
Tabela 10: dados de produção de moinhos de martelos para abertura das grelhas de 5 mm ...	75
Tabela 11: percentual de material passante para abertura da grelha de saída de 5 mm e 8 mm em moinhos de martelos	75
Tabela 12: dados técnicos de peneiras vibratórias.....	78
Tabela 13: dados técnicos de grelhas vibratórias	78
Tabela 14: dados técnicos de transportadores de correias.....	79
Tabela 15: custos estimados para produção de agregados reciclados	95
Tabela 16: evolução da quantidade de RCD reciclado no município de Belo Horizonte	100
Tabela 17: custos de implantação de usinas de reciclagem e URPV's no município de Belo Horizonte	100
Tabela 18: custos de operação e manutenção de usinas de reciclagem e URPV's no município de Belo Horizonte	100
Tabela 19: granulometria do agregado reciclado e custo de produção no município de Piracicaba – maio/2004.....	105
Tabela 20: preços médios (jan/2005) de aquisição de equipamentos para britagem.....	110
Tabela 21: área requerida para usina de reciclagem em função da capacidade de produção.	111
Tabela 22: valor unitário do terreno em função da população e da área requerida.....	111
Tabela 23: composição da equipe de operação de usinas de reciclagem de RCD	113
Tabela 24: custo dos equipamentos de proteção individual	114
Tabela 25: potência dos equipamentos para britagem.....	116
Tabela 26: custo de troca das peças de desgaste dos equipamentos de britagem.....	118

Tabela 27: quantidade de horas mensais de mão-de-obra para manutenção preventiva dos equipamentos de britagem	119
Tabela 28: custo de manutenção preventiva de máquinas e veículos próprios	119
Tabela 29: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 30 ton/h para empresa pública, utilizando-se retro-escavadeira.....	137
Tabela 30: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 30 ton/h para empresa pública, utilizando-se retro-escavadeira	137
Tabela 31: análise de sensibilidade – redução de 10% nos itens equipamentos, terreno e máquinas e veículos alugados.....	138
Tabela 32: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados e mão-de-obra.....	138
Tabela 33: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 40 t/h para empresa pública.....	140
Tabela 34: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 40 ton/h para empresa pública	140
Tabela 35: análise de sensibilidade – redução de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, água e energia elétrica	142
Tabela 36: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, mão-de-obra e água e energia elétrica.....	143
Tabela 37: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 40 t/h para empresa privada	146
Tabela 38: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 t/h para empresa pública.....	147
Tabela 39: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa pública.....	149
Tabela 40: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa pública, com valor reduzido.....	149
Tabela 41: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 50 ton/h para empresa pública	150
Tabela 42: análise de sensibilidade – redução de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, água e energia elétrica	151
Tabela 43: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, mão-de-obra e água e energia elétrica.....	151
Tabela 44: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa privada	152
Tabela 45: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa privada, com preço reduzido.....	154
Tabela 46: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa pública, agregado para pavimentação	155
Tabela 47: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa pública, agregado para produção de concreto.....	156

Tabela 48: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa pública, com preço reduzido	156
Tabela 49: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 50 ton/h para empresa pública	158
Tabela 50: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa privada	161
Tabela 51: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 50 t/h para empresa privada.....	161
Tabela 52: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, mão-de-obra e água e energia elétrica.....	162
Tabela 53: custos de produção de reciclagem de RCD	163
Tabela 54: tabela resumo dos preços de venda, base 01/01/2005	163
Tabela 55: tabela resumo dos valores de investimento, base 01/01/2005	164

LISTA DE SIGLAS

AGR: Agregado graúdo reciclado.

AMR: Agregado miúdo reciclado.

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente.

FGTS: Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

IBC: Índice Benefício /Custo.

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

IPI: Imposto sobre Produtos Industrializados.

PIS/COFINS: Programa de Integração Social / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

RCD: Resíduos de Construção e Demolição.

TIR: Taxa Interna de Retorno.

TMA: Taxa Mínima de Atratividade.

URPV: Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes.

VPL: Valor Presente Líquido.

VPLA: Valor Presente Líquido Anualizado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	IMPACTO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	19
2.1	CONSUMO DE ENERGIA E DE RECURSOS NATURAIS	19
2.2	PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E GERAÇÃO DE RESÍDUOS	20
2.3	CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	25
2.3.1	Definição de Resíduos de Construção e Demolição	25
2.3.2	Classificação dos Resíduos	25
2.3.3	Caracterização dos Resíduos	26
2.4	RECICLAGEM E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	28
3	AGREGADO RECICLADO – PROPRIEDADES E USOS	31
3.1	IMPUREZAS NA COMPOSIÇÃO DE RCD	31
3.2	PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS	33
3.2.1	Absorção de água	34
3.2.2	Granulometria e conteúdo de finos	36
3.2.3	Forma e textura das partículas	38
3.2.4	Massa específica e unitária	39
3.2.5	Desgaste por abrasão do agregado	40
3.3	USO EM CONCRETO	40
3.3.1	Resistência à compressão	41
3.3.2	Trabalhabilidade	43
3.3.3	Durabilidade	44
3.3.4	Outras propriedades	45
3.4	USO EM ARGAMASSA	47
3.5	USO EM FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS DE ALVENARIA	51
3.6	USO EM PAVIMENTAÇÃO	53
4	USINAS DE RECICLAGEM	56
4.1	TIPOS DE PLANTAS PARA BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	58
4.1.1	Plantas fixas	58
4.1.2	Plantas semi-móveis	58
4.1.3	Plantas móveis	59
4.2	TIPOS DE PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO DE RCD.....	59
4.2.1	Primeira geração de plantas de processamento de resíduos	60

4.2.2	Segunda geração de plantas de processamento de resíduos	61
4.2.3	Terceira geração de plantas de processamento de resíduos	62
4.3	EQUIPAMENTOS PARA BENEFICIAMENTO DE RCD	63
4.3.1	Alimentadores	64
4.3.2	Britadores	65
4.3.3	Máquinas de impacto	72
4.3.4	Peneiras e grelhas	77
4.3.5	Transportadores de correias	78
4.3.6	Lavadores	80
4.3.7	Outros equipamentos	80
5	ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	81
5.1	REVISÃO DE MATEMÁTICA FINANCEIRA	81
5.2	CONCEITOS GERAIS	83
5.2.1	Horizonte de planejamento.....	83
5.2.2	Consideração sobre inflação.....	84
5.2.3	Taxa Mínima de Atratividade	84
5.2.4	Risco e Incerteza	85
5.2.5	Sistemas de Amortização	88
5.3	TÉCNICAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	88
5.3.1	Método do Valor Presente Líquido.....	89
5.3.2	Método do VPL Anualizado	90
5.3.3	Método da Taxa Interna de Retorno	90
5.3.4	Índice Benefício/Custo ou Índice de Lucratividade	90
5.3.5	Período de recuperação.....	91
5.3.6	Taxa de retorno contábil.....	91
5.3.7	Ponto de Equilíbrio.....	92
5.3.8	Compatibilização dos Resultados.....	92
5.4	ESTUDOS SOBRE VIABILIDADE DE USINAS DE RECICLAGEM.....	93
6	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	96
6.1	VISITAS TÉCNICAS.....	96
6.1.1	Visita Belo Horizonte	98
6.1.2	Visita São Paulo	101
6.1.3	Visita Campinas.....	102
6.1.4	Visita Vinhedo.....	103
6.1.5	Visita Socorro.....	103

6.1.6	Visita Piracicaba	104
6.1.7	Visita Ribeirão Preto	105
6.1.8	Considerações Finais Sobre as Visitas Técnicas Realizadas	106
6.2	ESTUDO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RCD	106
6.2.1	Custos de Implantação	108
6.2.2	Custos de Operação	112
6.2.3	Custos de Manutenção	117
6.3	APRESENTAÇÃO DA PLANILHA ELETRÔNICA DESENVOLVIDA PARA DEFINIÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA	121
6.3.1	Dados de Entrada	121
6.3.2	Demonstrativo de Resultados	129
6.3.3	Fluxo de Caixa	132
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS	134
7.1	USINA DE CAPACIDADE DE 30 t/h	134
7.1.1	Empresa Pública	134
7.1.2	Empresa Privada	139
7.2	USINA DE CAPACIDADE DE 40 t/h	139
7.2.1	Empresa Pública	139
7.2.2	Empresa Privada	143
7.3	USINA DE CAPACIDADE DE 50 t/h	146
7.3.1	Empresa Pública	146
7.3.2	Empresa Privada	151
7.4	USINA DE CAPACIDADE DE 75 t/h	154
7.4.1	Empresa Pública	154
7.4.2	Empresa Privada	158
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	163
	REFERÊNCIAS	167

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia e recursos naturais tem atingido níveis cada vez mais altos, intensificando a exploração de recursos naturais não renováveis. Nos diversos processos produtivos tem-se a geração de resíduos, que por muitas vezes não tem um tratamento adequado de disposição final. Conseqüentemente, a natureza é, cada vez mais, agredida e o nosso planeta enfrenta problemas de degradação e poluição do solo, da água e do ar.

A cadeia produtiva da construção civil é o setor da economia que mais consome materiais naturais e materiais silicosos, além de ser um dos principais geradores de resíduos da economia, caracterizando-se por ser uma potencial recicladora. Conseqüentemente, muitos resíduos de processos térmicos, metalúrgicos e de tratamento ambiental que possuem sílica podem ser reaproveitados na indústria da construção civil. Além disto, os materiais utilizados nesta indústria não tem a exigência de resistências mecânicas muito elevadas, como na indústria mecânica (JOHN, 1999, p.44; JOHN, 2000, p.33 a 35).

Em outro ponto tem-se o grave problema social de milhões de pessoas vivendo em sub-habitacões e de forma desumana, sendo que o déficit habitacional brasileiro é superior a cinco milhões de habitacões. Privilegiar o acesso à moradia para a parcela mais carente da população é tarefa fundamental para atingir-se uma sociedade mais justa e pluralista. Para realizar esta mudança deve-se buscar materiais e técnicas construtivas mais eficientes, capazes de criar espaços habitacionais mais baratos com garantia de qualidade e durabilidade.

Dentro de uma perspectiva de construção de uma sociedade sustentável, a indústria da construção civil e todos os atores envolvidos no *construbusiness*, certamente têm uma importante tarefa de reduzir os impactos gerados por esta indústria, bem como de estabelecer patamares de sustentabilidade no desenvolvimento da atividade de construção de habitacões e outros espaços de convívio humano. A aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável implica no reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) e de resíduos de outras indústrias na indústria da construção civil, justificando-se por diversos motivos, entre os quais pode-se destacar: redução da extração de matérias-primas não-renováveis, do consumo de energia, do desperdício e da geração de resíduos, economia de água, correção dos

problemas ambientais urbanos gerados pela deposição indiscriminada de resíduos de construção na malha urbana, colocação no mercado de materiais de construção de custo mais baixo, aumento da durabilidade destes materiais, redução da poluição emitida na fabricação de um produto, melhoria da qualidade do ambiente construído, criação de novos postos de trabalho para mão-de-obra com baixa qualificação e aumento da vida útil dos aterros sanitários (WILBURN; GOONAN, 1998, p.2, 3 e 6; JOHN, 1999, p.30, 46 e 47; MONTEIRO et al., 2001, p.131). Além disto, a deposição irregular de RCD na malha urbana traz prejuízos à paisagem, obstrução de vias de tráfego e atração de resíduos não inertes causando a proliferação de insetos, roedores e doenças. A destinação clandestina de RCD também está relacionada com enchentes, causadas por assoreamento dos córregos e por lançamento em terras baixas e junto a drenagens, e deslizamentos em encostas devido a depósitos instáveis (JOHN, 2000, p.18; HAMASSAKI, 2000, p.179; PINTO, 2001, p.80 à 85).

É prioritário que o setor da construção civil desenvolva capacidade de reciclar seus próprios resíduos, cujo volume e forma de deposição atualmente apresenta grandes conseqüências ambientais (JOHN, 2000, p.35). Soma-se a isto, a Resolução 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), que prevê a elaboração e implantação pelos municípios dos Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil oriundos de geradores de pequenos volumes. Também prevê que os grandes geradores incluam os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil nos projetos de obras a serem submetidos à aprovação ou ao licenciamento dos órgãos competentes, além de estabelecer que cesse a disposição de resíduos de construção civil em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de “bota fora”.

Neste contexto, a reciclagem de resíduos é fundamental para implementar um modelo de desenvolvimento sustentável, capaz de satisfazer as necessidades do conjunto da população do presente sem comprometer a capacidade de sobrevivência das gerações futuras. Ademais, a reciclagem de resíduos resultará em uma maior oferta de produtos alternativos para uma mesma função e, possivelmente, de soluções mais adequadas para situações específicas, com ganhos de eficiência geral do processo (JOHN, 2000, p.34 e 35). A construção sustentável deve atentar também para o conceito de cadeia de gerenciamento integrada, que pode ser considerada como o fechamento do ciclo de vida de um produto, ou material, de forma que somente uma pequena quantidade de matéria-prima seja descartada e, ao mesmo tempo, se maximize a reutilização e reciclagem (PIETERSEN et al., 1998, p.136). O uso de agregado reciclado de concreto oferece o máximo nível de reutilização e constitui a forma mais fácil de

atingir o fechamento do ciclo de vida deste material (BARRA; VASQUEZ, 1997, p.217).

É importante salientar que a reciclagem de resíduos de construção e demolição não é um assunto novo. Após a Segunda Guerra Mundial e até o ano de 1955 foram reciclados de 400 a 600 milhões de m³ de resíduos de construção e demolição na Alemanha, sendo produzidos 11,5 milhões de m³ de agregados, os quais foram utilizados na construção de aproximadamente 175 mil unidades habitacionais (SCHULZ; HENDRICKS, 1992, p.165).

No entanto, a viabilidade financeira deve ser considerada como ponto fundamental em todas as etapas, sendo necessário desenvolver uma metodologia específica para análise de viabilidade econômica de processos de reciclagem (JOHN, 1999, p.46; JOHN, 2001, p.42). Não foram localizados, no Brasil, trabalhos que identifiquem com rigor os custos de produção de agregados reciclados e a viabilidade econômica de implantação de usinas de reciclagem de RCD. Dentro deste panorama, o presente trabalho busca estabelecer critérios para a formação do custo de produção de agregados reciclados, sendo que seu objetivo principal é determinar a viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD através de um aplicativo computacional que tenha como dados de entrada a quantidade de geração de RCD e a finalidade de uso do agregado gerado. Ademais, seus objetivos secundários são:

- a) determinar o tamanho da usina e a área requerida para sua implantação em função da capacidade de produção;
- b) identificar a mão-de-obra necessária para operação deste tipo de usina;
- c) identificar os equipamentos necessários para implantação de uma usina de reciclagem de RCD, bem como suas características;
- d) determinar os custos de implantação, operação e manutenção de uma usina de reciclagem de RCD, e os custos de produção de agregados reciclados.

Este trabalho está estruturado em oito capítulos. O capítulo 1 apresenta a introdução e no capítulo 2 são abordados os impactos ambientais da indústria da construção civil. No capítulo 3 são relatadas as propriedades e usos dos agregados reciclados. No capítulo seguinte são apresentadas as usinas de reciclagem e os equipamentos utilizados nestas instalações. No quinto capítulo são revisados os conceitos de análise de investimentos. A metodologia de pesquisa é relatada no capítulo 6 e o capítulo 7 analisa os resultados obtidos. As considerações finais são apresentadas no capítulo 8.

2 IMPACTO AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A sociedade moderna tem aumentado enormemente o consumo de produtos industrializados. A economia mundial cresceu cinco vezes no período de 1950 à 1999 e a população mundial passou de 2,5 bilhões para 6 bilhões de habitantes (PROGRAMA... – PNUMA, 1999, p.2). No entanto as reservas de matéria-prima são limitadas, necessitando um planejamento de utilização racional. Somente a cadeia produtiva da construção civil representa em torno de 15,6% do PIB nacional (FUNDAÇÃO... – FGV, 2002, p.27). A tarefa desta indústria é produzir espaços adequados à habitação humana e às suas diversas atividades, sendo que o impacto ambiental da construção civil está diretamente relacionado à sua tarefa social.

2.1 CONSUMO DE ENERGIA E DE RECURSOS NATURAIS

A produção de materiais consome considerável quantidade de energia, devendo-se considerar o volume de produção, a distância do pólo gerador ao pólo consumidor e, também, o meio de transporte. Na Inglaterra, a produção e o transporte de materiais de construção civil é responsável por cerca de 10% do consumo total de energia. O conteúdo de energia por unidade de massa dos materiais não constitui por si um indicador do seu impacto ambiental, pois existe grande diferença de eficiência entre os diversos materiais para uma mesma função. Também devem ser consideradas as diferentes durabilidades dos diferentes materiais em diferentes ambientes. Assim, uma durabilidade elevada pode compensar um elevado consumo de energia e vice-versa (JOHN, 2000, p.20 e 21).

De acordo com John (2000, p.15), o consumo de recursos naturais na construção civil depende da taxa de resíduos gerados, da vida útil das estruturas construídas, das necessidades de manutenção preventiva e corretiva, das perdas incorporadas nos edifícios e da tecnologia empregada. Segundo Valverde (2001, p.5), nos EUA o consumo de agregados na construção civil é de 7,5 ton/hab.ano, na Europa Ocidental é de 5 à 8 ton/hab.ano e no Brasil é de 2 ton/hab.ano, sendo que no estado de São Paulo o consumo é de 4,5 ton/hab.ano. John (2000, p.15), ao citar o Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR), aponta que no Reino Unido consome-se cerca de 6 ton/hab.ano e 250 a 300 milhões de ton/ano de

agregados. Wilburn e Goonan (1998, p.5) apontam que foram consumidos mais de dois bilhões de toneladas de agregados nos Estados Unidos em 1996 e Metha (2002, p.23) indica que o consumo mundial anual de cimento é de 1,5 bilhões de toneladas e a indústria do concreto consome 9 bilhões de toneladas de agregados. Segundo Valverde (2001, p.13), o consumo de agregados para construção civil no Brasil foi de 240 milhões de m³ em 2000 e estima-se para o ano de 2010 o consumo de 340 milhões de m³. Este dado é verificado pela produção nacional de cimento Portland, que em 2004 foi de 34 milhões de toneladas (SINDICATO... – SNIC, 2005). Considerando-se um traço médio de 1:6, temos um consumo de 210 milhões de toneladas ou 130 milhões de m³ de agregados, na produção de concretos e argamassas, devendo-se acrescentar ainda o material empregado para outros fins.

2.2 PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Para Soibelman (1993, p.7) a perda tem um conceito amplo que engloba tanto as ocorrências evitáveis quanto as inevitáveis, enquanto que o desperdício corresponde somente às ocorrências evitáveis. Ainda conforme este autor, as perdas podem ter natureza aparente (quando se caracterizam pela geração de resíduos) ou natureza oculta (quando os materiais ficam incorporados à construção). Obviamente a perda de materiais tem impacto ambiental, tanto pelo consumo não necessário de materiais como pela geração de resíduos.

Da análise dos dados apresentados por Agopyan et al. (2003, p.235 a 247) sobre perdas na construção civil pode-se concluir que existe uma elevada variação dos índices de perdas dos materiais pesquisados. Destacam-se os dados de perda de alguns materiais (mediana): concreto usinado – 9%, aço – 11%, blocos e tijolos – 13%, revestimento de argamassa interno – 102% e revestimento de argamassa externo – 53%. Entretanto, a perda física em massa pode não ter o mesmo significado quando analisada em termos financeiros, introduzindo-se, então, o conceito de perda financeira (ANGULO, 2000, p.12; AGOPYAN et al., 2003, p.228). Para Soibelman (1993, p.107 a 109) as perdas dos materiais pesquisados contribuíram para um aumento de 5% a 11% dos custos orçados nas obras estudadas.

Segundo Agopyan et al. (2003, p.227) as perdas podem ocorrer em diferentes fases de um empreendimento, quais sejam: concepção, execução e utilização. John (2000, p.20) indica que é na etapa de construção que as perdas se tornam visíveis, pois nesta fase as decisões tomadas

nas fases de planejamento e projeto ganham dimensão física e aponta que a cadeia produtiva da construção civil gera resíduos nas fases de produção de materiais e componentes, atividade de canteiro, manutenção, modernização e demolição. Os resíduos gerados durante as quatro últimas fases são conhecidos como resíduos de construção e demolição (RCD) (JOHN, 2000, p.16). São ainda vulgarmente chamados de entulho de obra, metralha ou caliça.

Cassa et al. (2001, p.66) apontam como fatores que contribuem para a geração de RCD: a indefinição e detalhamento insuficiente nos projetos, a qualidade inferior dos materiais e componentes de construção disponíveis no mercado, a mão-de-obra não qualificada e a ausência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle de execução e inspeção.

Durante a fase de planejamento pode-se adotar critérios de projeto para escolha de produtos utilizados nas construções de acordo com uma política de reciclagem de resíduos, tais como: possibilidade técnica de reciclar com consumo mínimo de energia e baixo nível de poluição, mercado do material reciclado, desempenho do material em funcionamento e reciclagem do material secundário (BALIONI; BONECCHI, 1997, apud MIRANDA, 2000, p.6).

Conforme John e Agopyan (2000, p.6 e 7), a geração de resíduos durante a fase de construção é decorrência das perdas dos processos construtivos, sendo que parte destas perdas permanece incorporada nas construções na forma de componentes com dimensões superiores às projetadas. Através da evolução tecnológica pode-se obter a médio prazo a diminuição da geração de resíduos nesta fase. Na fase de manutenção a geração de resíduos é decorrente da correção de manifestações patológicas, de reformas ou da modernização total ou parcial do edifício e do descarte de componentes que tenham degradado e atingido o final da vida útil, necessitando serem substituídos. A redução da geração de resíduos nesta fase exige melhoria da qualidade da construção, projetos flexíveis que permitam modificações substanciais nos edifícios, e aumento da vida útil dos componentes e da estrutura da edificação. Estas medidas dependem da conscientização dos integrantes da cadeia produtiva da construção, sendo implementadas a longo prazo. Já a redução dos resíduos causados pela demolição de edifícios depende do prolongamento da vida útil dos edifícios e seus componentes, que depende tanto de tecnologia de projeto quanto de materiais, da existência de incentivos para que os proprietários realizem modernizações e não demolições, e finalmente da tecnologia de projeto e demolição ou desmontagem que permita a reutilização dos componentes. A redução de resíduos nesta fase depende de medidas de prazo muito longo.

Carneiro et al. (2001a, p.148) entendem que para reduzir-se a geração de resíduos de demolição é necessária a modificação dos métodos tradicionais e a adoção da demolição seletiva. Vê-se claramente que, enquanto não se atinge patamares que permitam a redução de geração de RCD, deve-se buscar alternativas que minimizem o seu impacto negativo, sendo a reciclagem uma opção a ser estudada.

De acordo com Pinto (1999, p.37 e 38), em algumas cidades brasileiras as atividades de canteiro de obras são responsáveis por aproximadamente 50% dos RCD, enquanto que as atividades de demolição e manutenção são responsáveis pela outra metade. Conforme Bossink e Brouwers (1996, p.56) na Alemanha e Europa Ocidental dois terços dos resíduos são provenientes de manutenção e demolição de edifícios, e o terço restante provém de atividades de construção, enquanto que a European Demolition Association (1992, apud PERA, 1996, p. 17) aponta que 80% dos RCD são provenientes de atividades de demolição. Já nos EUA, considerando-se somente as atividades de construção civil, 48% dos resíduos são provenientes de atividades de demolição, 44% de atividades de reforma e recuperação e somente 8% de atividades de construção. Do total de resíduos gerados, 33% são provenientes de demolições não residenciais (U.S. ... – EPA, 1998, p.2-11). Segundo John (2000, p.17), estas diferenças refletem a importância relativa das atividades de construção, manutenção e demolição em cada economia, bem como a taxa de perda de materiais da construção em cada país.

Dentre todos os resíduos gerados (domiciliar, comercial, público, serviços de saúde, industrial, agrícola e de construção civil) o resíduo sólido municipal (compreende as parcelas domiciliar, comercial e pública) é o mais visível, porém de acordo com Desmyter et al. (1994, apud PERA, 1996, p.17) a geração de RCD é duas vezes superior à geração de resíduos sólidos municipais. Na tabela 1 são apresentados dados sobre a geração de lixo doméstico. Ao citar diversos autores, Bossink e Brouwers (1996, p.55), apontam o percentual de RCD sobre o total de lixo gerado em diversos países: Holanda 26%, Austrália de 20 a 30%, Estados Unidos de 20 a 29%, Alemanha 19% e Finlândia de 13 a 15%. No entanto Pinto, em duas de suas publicações (PINTO, 1997, p.31 e PINTO, 1999, p.42), aponta índices bem maiores para algumas cidades brasileiras, em relação à quantidade de RCD em aterros públicos. Este fato pode ser atribuído ao baixo nível de desenvolvimento tecnológico apresentado pela indústria da construção civil brasileira. Estes dados estão compilados na tabela 2, juntamente com dados de taxa de geração de RCD. Na tabela 3 são apresentados dados de diversos autores sobre a taxa de geração de RCD. Da análise desta tabela pode-se observar discrepâncias entre

os valores apresentados pelos autores citados, como por exemplo na Alemanha, aonde há dados de geração de RCD de 33 milhões t/ano e 44 milhões t/ano, e na cidade de São Paulo aonde há dados de geração de RCD de 4 mil t/dia e 17 mil t/dia. Estas discrepâncias advêm da dificuldade na coleta de dados por tratar-se de resíduos de grandes massas e volumes gerados.

Tabela 1: quantidade da geração de lixo municipal

PESQUISADOR	LOCAL	Geração de Lixo Municipal	Observações
FRANGIPANE et al., 1999	Europa	296 à 631 kg/hab.ano	
LAURITZEN, 1998	Europa	390 kg/hab.ano	confirmado em Vázquez (2001, p.22)
STATISTICS CANADÁ, 1999	Canadá	460 kg/hab.ano	1996
EPA, 1996	EUA	720 kg/hab.ano	1993
CETESB, 1999	Brasil	0,7 kg/hab.dia ou 255 kg/hab.ano	Para cidades com mais de 500.000 habitantes

(fonte: baseado em: John, 2000, p.10 e 17)

Tabela 2: quantidade de RCD em relação ao total de resíduos em aterros públicos

CIDADE	Participação dos RCD na Massa Total de RSU				Taxa de Geração (t/hab.ano)
	PINTO (1997)		PINTO (1999)		
	Fonte – ano	(%)	Ano	(%)	
Belo Horizonte (MG)	SLU – 96	51	SLU – 99	54	0,34
Brasília (DF)	SLU – 96	66			
Campinas (SP)	SSP – 96	64	Paulella; Scapim – 96	64	0,62
Jundiaí (SP)	I&T – 97	64	96	62	0,76
Ribeirão Preto (SP)	I&T – 95	67	95	70	0,71
Salvador			Limpurb – 99	41	0,23
Santo André (SP)	I&T – 97	62	96	54	0,51
São José dos Campos (SP)	I&T – 95	68	95	67	0,47
São José do Rio Preto (SP)	I&T – 97	60	96	58	0,66
Vitória da Conquista (BA)			97	61	0,40

(fonte: Pinto, 1997, p.31 e Pinto, 1999, p.42)

Conforme Pinto (1999, p.33 e 34), o indicador de geração de RCD é composto por duas parcelas: a construção formal de novas edificações (taxa de 150 kg/m² construído e massa específica do RCD de 1,2 t/m³) e a execução informal de reformas e ampliações. Picchi (1993, p.39 e 40) aponta uma taxa de geração de RCD entre 0,095 t/m² e 0,145 t/m², bastante

próximo ao valor adotado por Pinto. No entanto, Andrade et al. (2001, p.72) desenvolveram metodologia para determinar a taxa de geração de RCD em obras novas baseada nas perdas de diversos serviços, e a parcela destas perdas que se transforma em RCD, chegando a taxa de 50 kg/m² construído, bem abaixo do indicado por Pinto.

Tabela 3: quantidade da geração de RCD

PESQUISADOR	LOCAL	Geração de RCD	Observações
Lauritzen, 1998, p.507	Europa	607 a 918 kg/hab.ano	
Desmyter et al., 1994, apud Pera, 1996, p.17	Oeste da Europa	0,7 a 1,0 t/hab.ano	
Vázquez 2001, p.22	União Européia	221 a 334 milhões de ton/ano ou 607 a 918 kg/hab.ano	
Dorsthorst e Hendriks, 2000, apud Leite, 2001, p.17	Comunid. Européia	180 milhões ton/ano ou 0,5 ton/hab.ano	
European Demolition Association, 1992, apud Pera, 1996, p.17	Europa Ocidental	215 milhões ton/ano	Ano 2000, sendo 80% proveniente de demolições
Buchner e Scholten, 1992, apud Bossnik e Brouwers, 1996, p.56	Oeste da Europa	215 milhões ton/ano	Ano 2000
Simons; Henderieckx, 1993, apud Miranda, 2000, p.2	Oeste da Europa	0,7 a 1,0 ton/hab.ano	
Leite 2001, p.17	Holanda	15 milhões ton/ano, ou 1 ton/hab.ano	Ano de 1996
Bossnik e Brouwers, 1996, p.55	Holanda	14 milhões ton/ano	Ano de 1993
Ruch et al. 1997b, apud Miranda, 2000, p.2	Alemanha	33 milhões ton/ano	
Hanish et al., 1991, apud Bossnik e Brouwers, 1996, p.56	Alemanha	32,6 milhões ton	Ano 1991
Kohler e Kircher, 1993, apud Bossnik e Brouwers, 1996, p.56	Alemanha	44 milhões ton/ano	Ano 1993
Freeman e Harder 1997, apud Miranda, 2000, p.2	Inglaterra	70 milhões ton/ano	
Boileau 1997 et al., apud Miranda, 2000, p.2	França	20 a 25 milhões ton/ano	
Peng et al., 1997, p.49	Estados Unidos	20 a 30 kg/m ² de área construída ou 500 kg/hab.ano	
John, 2000, p.17	Brasil	230 a 760 kg/hab.ano,	Entre 41% e 70% do resíduo sólido municipal
Schneider e Philippi Jr., 2004, p.24	São Paulo	17.000 ton/dia	Ano 2003
Hamassaki, 2000, p.179	São Paulo	4 mil ton/dia, ou 90.000 m ³ /mês	
De Baptisti, 1999, p.111	São Paulo	107.000 ton/mês	
Brito Filho, 1999, p.59	São Paulo	144.000 m ³ /mês	Considerando-se os aterros clandestinos
Corbioli, 1996, p.5	Belo Horizonte	1.200 ton/dia e 1.800 ton/dia de terra	Ano de 1993, com custo anual de remoção de 1.000.000 US\$

(fonte: conforme citado na tabela)

2.3 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Neste item são apresentadas definições e classificações utilizadas para resíduos em geral e especificamente para RCD e sua caracterização, indicando os materiais constituintes.

2.3.1 Definição de Resíduos de Construção e Demolição

Na bibliografia existem inúmeras definições para RCD (LEVY, 1997, p.24; ANGULO 2000, p.08; HAMASSAKI, 2000, p.179), no entanto, neste trabalho será adotada a definição apresentada pela Resolução N° 307 do CONAMA (BRASIL, 2002, p.1), por ser mais completa, ter força de lei e prazo para ser implementada. Esta resolução define resíduos de construção civil como sendo os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc.

2.3.2 Classificação dos Resíduos

Os resíduos sólidos se classificam em três categorias, a saber (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004, p.3 a 5):

- a) resíduos classe I – perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade ou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou constem nos anexos A e B da referida norma;
- b) resíduos classe II A – não-inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou resíduos classe II B, podendo ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
- c) resíduos classe II B – inertes: são aqueles que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

De acordo com Peng et al. (1997, p.51), os aterros podem sofrer problemas de lixiviação e contaminar o lençol freático pelos resíduos ali depositados, inclusive os RCD. Oliveira et al. (2001, p.94) indicam que o resíduo de concreto não deve ser considerado um material inerte, pois pode contaminar as águas do sub-solo se disposto inadequadamente. Propõem, ainda, que os resíduos de construção sejam classificados como Classe II A (resíduos não inertes) e indicam a reciclagem como uma alternativa para o seu aproveitamento. Realmente, os RCD podem ser classificados como perigosos se sua mistura com água, na proporção 1:1 em peso, produzir uma solução com pH maior ou igual a 12,5 (ASSOCIAÇÃO... – ABNT, 2004, p.3).

John e Agopyan (2000, p.8) e Hamassaki (2000, p.186 e 187) apresentam algumas classificações para os RCD. No entanto, neste trabalho será adotada a classificação da Resolução N° 307 do CONAMA (BRASIL, 2002, p.1), pelos mesmos motivos elencados anteriormente. Esta resolução classifica os RCD nas seguintes classes:

- a) Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - de construção, demolição, reformas de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;
 - de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras.
- b) Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Esta classificação também é corroborada por Hamassaki (2000, p.186 e 187);
- c) Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- d) Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

2.3.3 Caracterização dos Resíduos

De acordo com John e Agopyan (2000, p.8), do ponto de vista técnico as possibilidades de reciclagem dos resíduos variam de acordo com a sua composição. Quase a totalidade da fração cerâmica pode ser beneficiada como agregado com diferentes aplicações conforme sua

composição específica. As frações compostas predominantemente de concretos estruturais e de rochas naturais podem ser recicladas como agregados para a produção de concretos estruturais. A presença de fases mais porosas e de menor resistência mecânica, como argamassas, produtos de cerâmica vermelha e de revestimento, provoca uma redução da resistência dos agregados e um aumento da absorção de água. No entanto, conforme Hamassaki (2000, p.186 e 187), os resíduos cerâmicos, que apresentam baixa resistência, podem melhorar as propriedades de plasticidade e retenção de água de concretos e argamassas, quando pulverizados. Na tabela 4 estão consolidados dados de diversos autores sobre a composição de RCD.

Tabela 4: composição dos RCD de diversas regiões e países (%)

AUTOR / FONTE	LOCAL	TIPO DE MATERIAL										
		Concreto	Argamassa	Alvenaria	Mat. Cerâmico	Rochas e Brita	Solo e Areia	Mat. Asfálticos	Aço	Madeira	Papel/ Plásticos	Outros
Brito Filho, 1999, p.60	São Paulo	8	24		30		33					5
Castro et al., 1997, p.1672	São Paulo - Itatinga	12			3		82					3
De Baptisti (1999, p.113)	São Paulo - Itatinga	15			38		20	1	2			24
Ferraz et al., 2001, p.78 à 84	S.P.-Freguesia do Ó				65					13	8	14
	São Paulo - Jaçanã				84							16
Zordan, 1997, p.89	Ribeirão Preto	21	37		24	18						
Latterza; Machado Jr. (1997, p.1969)	Ribeirão Preto	15	46		19	19						1
Machado Jr. et al. (2000, p.4)	Ribeirão Preto	14	48		15	23						
Oliveira; Assis, 1998, p.102	Guaratinguetá	7	41	22								30
Xavier; Rocha, 2001, p.62	Florianópolis		30		19					28		23
Construccion, 1996 Carneiro, 2000	Carneiro et al., 2001a, p.150	Reino Unido	9		5	75						11
		Salvador	53			5	22					6
I & T, 1990 Hong Kong Polytechnic, 1993	Pinto, 1999, p.19 e 20	Santo André	4	64	18	11						3
		Hong Kong	31		6		12	3	2	3	8	1
IBPGE, 1995		Bélgica	38		45	3			10		2	2
ITEC, 1995		Com. Européia	40		45					4	8	3

(fonte: conforme citado na tabela)

A composição dos RCD varia de acordo com a fase da obra e com o tipo de obra, afetando a qualidade dos agregados reciclados produzidos. Nesta linha, John (1999, p.52) aponta que este problema pode ser superado pela classificação dos RCD ou pelo manejo em pilhas a fim

de reduzir a variabilidade. De acordo com o Programa Entulho Limpo (2002, p.15), a geração de resíduos classe A (conforme classificação do CONAMA, são aqueles passíveis de reciclagem para a produção de agregados) ocorre predominantemente nas etapas de instalação do canteiro de obra, estrutura, alvenaria e revestimento.

A caracterização dos RCD é muito variável, observando-se parâmetros da região geradora do resíduo e parâmetros temporais. De acordo com Bossink e Brouwers (1996, p.57), nos canteiros de obra da Holanda, 88% dos resíduos de construção são compostos por uma pequena variedade de materiais (tijolos, estacas pré-fabricadas, concreto, telhas e argamassas) e 75% dos custos totais de gerenciamento dos resíduos de construção são gerados nas etapas construtivas de fundações, concreto, alvenaria, revestimentos de argamassa e telhados.

2.4 RECICLAGEM E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Segundo Kilbert (1994 apud JOHN, 2001, p.34), a redução do impacto ambiental da construção civil é uma tarefa complexa, sendo necessário agir em várias frentes de maneira combinada e simultânea, tais como: minimizar o consumo e maximizar a reutilização de recursos (reutilização de materiais e componentes) e usar recursos renováveis ou recicláveis.

Peng et al. (1997, p.50) apresentam um modelo hierárquico para avaliar o nível de impacto causado ao meio ambiente com a disposição de RCD. No extremo de menor impacto ambiental está a redução da geração de resíduos. Esta ação é a melhor alternativa do ponto de vista econômico e está relacionada com programas de qualidade e produtividade das empresas. Após, tem-se as ações de reutilização e a reciclagem dos resíduos. Há também a compostagem e a incineração para alguns produtos específicos. No outro extremo, caminhando-se para o alto impacto ambiental, encontra-se aterramento.

A reciclagem possibilita a preservação de recursos naturais com a conseqüente redução da destruição da paisagem, flora e fauna, e também pode transformar uma fonte de despesa em uma fonte de faturamento, pois reduz custos e gera novas oportunidades de negócios (JOHN, 2000, p.28 e 37). Pinto (1999, p.81) também aponta que o custo da gestão corretiva dos RCD é elevado, situando-se entre 5,37 US\$/ton e 14,78 US\$/ton, conforme o local e as técnicas de recolhimento, e os custos de remoção de RCD em 1997 no município de Santo André

situavam-se entre 1,40 R\$/m³, para uma distância entre remoção e destino de 2 km, e 8,80 R\$/m³, para uma distância de 16 km (PINTO, 1999, p.84). De acordo com Brito Filho (1999, p.19), a prefeitura de São Paulo recolhe diariamente 4 mil toneladas de RCD, com um custo mensal de R\$ 4,5 milhões. Lima e Silva (1998, p.169) apontam o valor de US\$ 8/ton para os custos de correção das deposições irregulares (remoção dos rejeitos, eliminação de animais danosos, recuperação do local degradado).

Tais valores revelam apenas custos apropriáveis. No entanto, a deterioração causada pelos impactos ambientais deve fazer parte do cálculo econômico e de políticas de governo, uma vez que a perda ambiental configura um prejuízo real e físico, enquanto destruição da natureza (CAVALCANTI, 1996). Pinto (2001, p.85) aponta que os custos apropriáveis muitas vezes se aproximam ou ultrapassam o valor dos materiais descartados. Leite (2001, p.44) ainda destaca que se forem computados os menores gastos no gerenciamento e transporte dos resíduos, a menor velocidade de esgotamento dos aterros sanitários ou de inertes, entre outros, a economia conseguida com a reciclagem é ainda maior.

A vantagem ambiental de um processo de reciclagem, somente pode ser dada como certa, após a análise específica. Conforme Cincotto (1988, p.72), para que um resíduo possa ser usado na construção civil, ele não deve ser potencialmente nocivo durante a construção e uso da edificação. Neste sentido, Angulo (2000, p.22) indica a reciclagem também pode causar impacto ambiental, principalmente em atividades de transporte, reprocessamento e resíduos. Angulo et al. (2001, p.48) destacam a necessidade de avaliar-se o risco ambiental da reciclagem de RCD para produção de argamassas e concretos, mesmo apresentando viabilidade do ponto de vista tecnológico e econômico.

John (2000, p.36) aponta que o setor da construção civil é caracterizado pela dificuldade de introdução de novas tecnologias. Para superação destas barreiras, indica as seguintes ações:

- a) a criação de mercados usando o poder de compra do estado. Ação também destacada por Pinto (1999, p.134 e 135);
- b) o estabelecimento da obrigação de um conteúdo mínimo de materiais reciclados em um determinado produto. Segundo John (1999, p.49), os programas de certificação inglês e americano já incluem esta exigência;
- c) compartilhamento de riscos. Pinto (2001, p.101) também destaca a construção de parcerias entre poder público e iniciativa privada e entre municípios conurbados;

- d) o encarecimento da deposição de resíduos através do estabelecimento de taxas para a sua deposição, como na Inglaterra e na Dinamarca. Ação também destacada por Elias-Ozkan (2001, p.500 a 502);
- e) redução dos custos dos produtos reciclados através de isenções fiscais para produtos contendo resíduos. Simpson (1999, p.17) também destaca o uso de incentivos políticos e fiscais.

Em países europeus já existem medidas com o intuito de aumentar a reciclagem de RCD. Na França, uma lei permite somente a aterragem de resíduos últimos, a partir de 1992, e há uma seleção mínima de inertes e resíduos tóxicos sobre todos os locais de construção (BOILEAU et al., 1997, apud MIRANDA, 2000, p.7). Simons e Henderieckx (1994, apud MIRANDA, 2000, p.8) apresentam algumas ferramentas a serem utilizadas para estimular a reciclagem:

- a) os agregados reciclados devem ser utilizados com sólidas técnicas em obras públicas, pois aumentam o mercado e atraem investidores privados;
- b) criação de marca oficial para produtos reciclados que seja uma garantia de boa qualidade do produto, com a intenção de tirar o medo do produto ser ruim;
- c) emissão de novas especificações para os trabalhos de demolição, de forma a obter maior quantidade e canalização de produtos recicláveis;
- d) incentivo à criação de indústrias de reciclagem pelo setor privado;
- e) necessidade de novas aplicações do material reciclado, onde devem ser dadas prioridades para atividades que utilizem grande quantidade deste material.

Elias-Ozkan (2001, p.500 a 502) propõe algumas medidas para facilitar o uso de agregados reciclados, entre as quais destacam-se:

- a) permissão municipal, com vistoria prévia, para demolição de construções onde conste as quantidades de cada resíduo gerado e sua correta destinação;
- b) penalização para os proprietários no caso de efetuarem a demolição sem ou em desacordo com esta permissão;
- c) criação de normas para utilização de agregados reciclados. Ação também destacada por Wilburn e Goonan (1998, p.24 e 25). Nesta linha, o Brasil já tem normas específicas para áreas de transbordo, triagem, aterro e reciclagem de RCD e para utilização de agregados reciclados em pavimentação e produção de concreto sem função estrutural, são elas: NBR 15112, NBR 15113, NBR 15114, NBR 15115 e NBR 15116 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004).

3 AGREGADO RECICLADO – PROPRIEDADES E USOS

Koppen (1998, apud PIETERSEN et al., 1998, p.135) define agregado reciclado como um material granular, resultante de um processo industrial envolvendo o processamento de materiais inorgânicos, previamente e exclusivamente utilizados na construção e aplicados novamente na construção. Já Lima (1999, p.135 a 137) classifica os usos possíveis do agregado reciclado em três níveis: aplicáveis (proteção de taludes (rip-rap) e pavimentação), aplicáveis com restrições (concreto não armado, argamassa de assentamento, argamassa de revestimento, pré-moldados de concreto, camadas drenantes, cobertura de aterros e gabião) e não aplicáveis (concreto estrutural). Entretanto esta visão é muito conservadora, pois outros pesquisadores, como Zordan e Paulon (1998, p.931), concluíram que os concretos produzidos com agregados reciclados atendem perfeitamente às exigências de fabricação de peças de concreto para a infra-estrutura urbana, tais como elementos de drenagem, guias, sarjetas e outras aplicações que não exijam resistências elevadas. Andrade et al. (1998, p.143) apontam que as aplicações para concreto com agregados reciclados podem ser peças de concreto para pavimentação, blocos de concreto para alvenaria estrutural e para vedação. Neste capítulo são estudados os aspectos dos agregados reciclados relacionados às impurezas, propriedades e possíveis aplicações em concreto, argamassa, pavimentação e elementos de alvenaria.

3.1 IMPUREZAS NA COMPOSIÇÃO DE RCD

Conforme Lima (1999, p.53) e Hansen (1992, p.45), pode-se considerar contaminantes no reciclado praticamente todos os materiais minerais não inertes ou materiais que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas, tais como: cloretos, sulfatos, matéria orgânica, produtos industrializados leves (papel, plástico, tecido, borracha, etc.), vidro, betume, vegetação, terra, gesso, madeira, refratários, metais, álcalis e areias industriais quimicamente contaminadas. De forma geral, o agregado reciclado pode conter teores significativos de materiais que podem ser considerados impurezas. A determinação de quais materiais são impurezas e quais os teores destes materiais são admissíveis depende do uso pretendido para o agregado reciclado. A proposta do B.S.C.J. (1977, apud HANSEN, 1992, p.46) apresenta limites para impurezas

contidas nos agregados reciclados. A seguir são discutidas algumas destas impurezas, quais sejam: matéria orgânica, material betuminoso, gesso, vidro, metais e cloretos.

Os concretos produzidos com agregados reciclados contaminados com solos argilosos ou matéria orgânica podem sofrer redução das resistências mecânicas, ou instabilidade dimensional quando expostos a ciclos de gelo/degelo ou umidecimento/secagem, sendo que, este tipo de contaminação pode atingir indistintamente agregados naturais e reciclados (HANSEN, 1992, p.48). O B.S.C.J. (1977, apud HANSEN, 1992, p.48) propõe como limite o valor de 2 kg/m³ para substâncias de densidade inferior a 1200 kg/m³, correspondendo a aproximadamente 0,15% da massa de agregado. Entretanto, materiais orgânicos são relativamente leves, sendo interessante observar sua presença em volume. A presença de matéria orgânica pode ainda acarretar aumento do tempo de início de pega e, diminuição da resistência inicial do concreto, devido à formação de bolhas de ar internas na mistura. Os ácidos orgânicos, formados pela existência de matéria orgânica combinam-se com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, diminuindo o pH da solução de contato com estes compostos, ou da sua adsorção pelas partículas de cimento, retardando e impedindo a sua posterior hidratação (DESSY et al., 1998 apud LEITE, 2001, p.78).

A presença de material betuminoso no agregado reciclado reduz a resistência do concreto produzido (LEITE, 2001, p.26), e contribui para uma grande quantidade de incorporação de ar ao concreto. Hansen (1992, p.47) corrobora com esta indicação afirmando que o betume reduz a resistência à compressão do concreto. Substâncias orgânicas podem levar à instabilidade do concreto e introduzir quantidades de ar indesejáveis no concreto. A adição de 30% em volume de asfalto no agregado reciclado reduz a resistência à compressão em aproximadamente 30% (B.S.C.J., 1977; FERGUS, 1981, apud HANSEN, 1992, p.47).

Um dos materiais mais prejudiciais no agregado reciclado é o gesso, devido à formação de etringita secundária, que é altamente expansiva, provocando fortes tensões internas que podem fissurar o concreto ou argamassa (LIMA, 1999, p.54; LEITE, 2001, p.26). Hansen (1992, p.48) coloca que várias normas limitam a presença de sulfato em 0,5% da massa do agregado ou 4% da massa de cimento incluindo o sulfato presente no cimento. Recomenda ainda, o uso de cimento resistente a sulfato quando o agregado reciclado apresentar gesso. Para Gallias (1998, apud ANGULO 2000, p.29), teores de 0,3% a 0,8% de sulfato (em massa) não produzem efeitos significativos na resistência mecânica e na expansão, porque grande

parte dos sulfatos vem dos cimentos hidratados na matéria-prima. No entanto, impurezas de gesso superiores a 1% da massa causam expansão significativa em argamassas.

O teor de vidro deve ser limitado, pois este material pode levar a reações álcali-silica quando em contato com o cimento na presença de umidade, mesmo que se utilize cimentos com baixo teor de álcalis (HANSEN, 1992, p.52). Para que ocorram reações deletérias é necessária a existência de agregados reativos, elevadas concentrações de álcalis nas soluções intersticiais e umidade superior à 80% (QUEBAUD, 1996 apud LEITE, 2001, p.27). Conforme Meyer et al. (1997, apud ANGULO 2000, p.30), as características que influenciam nas reações álcali-agregado são o tamanho das partículas de vidro, o tipo de vidro e a coloração do vidro, sendo os vidros claros mais reativos. A reatividade é inversamente proporcional à densidade do vidro e as expansões são proporcionais à quantidade de vidro presente no concreto.

Pequenas quantidades de aço ou pedaços de arame podem causar manchas ou pequenos danos à superfície do concreto, principalmente em presença de cloretos (HANSEN, 1992, p.52; LEVY, 1997, p.66). A remoção dos metais presentes nos RCD pode ser realizada antes do seu beneficiamento através de separação magnética, para não danificar os equipamentos de britagem, ou no decorrer do processo de beneficiamento, pois o aço não se fragmenta devido a sua característica dúctil (HANSEN, 1992, p.52).

Os agregados reciclados podem ser contaminados por cloretos através da penetração dos íons cloreto nas estruturas, principalmente em áreas marinhas, pontes, ou pavimentos submetidos a saís de degelo (agente externo), ou através do uso de agregados retirados de zonas marinhas e de aditivos aceleradores de pega a base de cloretos nas misturas do concreto (agente interno) (HANSEN, 1992, p.49). Os valores limites permitidos de íon cloreto em relação à massa de cimento são os percentuais de 0,06% para concreto protendido e 0,10% para concreto armado convencional (AMERICAN...- ACI, 1991, p.22; B.S.C.J., 1977, apud HANSEN, 1992, p.50).

3.2 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS

A composição antes da britagem não corresponde à composição pós-britagem, além do que a caracterização em agregados reciclados é mais prática, pois as dimensões das partículas se encontram reduzidas, facilitando o manuseio (ANGULO, 2000, p.36). Os agregados

reciclados apresentam grande variação em suas propriedades, dependendo da composição do resíduo processado, dos equipamentos utilizados, do teor de impurezas, da granulometria, etc. As principais diferenças em relação aos agregados convencionais são a maior absorção de água dos grãos (influenciando na porosidade do concreto), a composição heterogênea e a menor resistência mecânica dos grãos (BARRA, 1996, p.24; LIMA, 1999, p.35). Além disto, Hansen e Narud (1983, p.82), indicam que quanto menor a resistência do concreto original e quanto maior a quantidade de argamassa aderida ao agregado reciclado, mais afetadas são suas características físicas e mecânicas. Angulo (2000, p.118 e 119) também constatou a significativa variabilidade da composição dos agregados reciclados e aponta a formação de pilhas de homogeneização como medida para redução da variabilidade destes agregados. Outros procedimentos para a homogeneização dos agregados reciclados podem ser: misturar as partidas de diferentes tipos de resíduos no momento da entrega, alternar os resíduos de tipos diferentes ao alimentar o núcleo de reciclagem com a pá-carregadeira e retirar material de diversas camadas das pilhas no momento da expedição (LIMA, 1999, p.29 e 31).

3.2.1 Absorção de água

Conforme Carneiro et al. (2001a, p.152) e Zordan e Paulon (1998, p.931), os agregados reciclados apresentam uma absorção de água superior à do agregado natural, devido à sua grande porosidade e à maior quantidade de finos. Conforme Lima (1999, p.41, 44 e 130), a absorção do agregado reciclado é diretamente proporcional à porosidade dos componentes do resíduo utilizado, sendo que os agregados reciclados de alvenaria e de argamassa apresentam taxas de absorção na faixa de 15%, enquanto que para os agregados reciclados de concreto situam-se próximo aos 10%, dependendo das características do concreto original e da granulometria atingida. A absorção de água dos agregados reciclados é diretamente proporcional à quantidade de materiais cerâmicos (LEITE, 2001, p.72) e decresce linearmente com o aumento dos teores de concreto e rocha (ANGULO, 2000, p.114). A absorção do agregado reciclado de concreto deve-se à camada de argamassa antiga aderida às partículas, havendo uma relação diretamente proporcional entre a quantidade de argamassa aderida ao grão do agregado reciclado e sua absorção de água (HANSEN; NARUD, 1983, p.82; HANSEN, 1992, p.41; BAZUCO, 1999, p.13; BANTHIA; CHAN, 2000, p.42).

Conforme Hansen e Narud (1983, p.80), o teor de argamassa aderida ao agregado reciclado é

maior nas frações mais finas do que nas graúdas. Lima (1999, p.45) afirma que o teor de argamassa aderida é importante na análise da conveniência da aplicação da parcela miúda do reciclado de concreto em concretos, principalmente em serviços que exijam altas resistências mecânicas e durabilidade, pois a argamassa aderida apresenta menor resistência mecânica, maior absorção e menor densidade. Bazuco (1999, p.64) encontrou um teor de argamassa aderida nos agregados reciclados na ordem de 41% em massa.

Segundo Lima (1999, p.44) esta maior absorção de água pelo agregado reciclado pode prejudicar a durabilidade de argamassas e concretos. De acordo com Barra (1996, p.19 e 24), a densidade, a porosidade, o teor de água e a absorção são propriedades que dependem da composição do material, da quantidade de poros e da rede de interconexão entre eles. Quanto mais seco, poroso e de menor dimensão for o agregado e quanto maior a fluidez da pasta, ou argamassa, maior será a quantidade de água absorvida. A quantidade de água que o material reciclado pode absorver depende dos seguintes fatores: condição inicial de umidade do agregado, tempo de contato do material com a água e se o agregado entra em contato primeiro somente com a água ou com a pasta de cimento. No caso do agregado ser misturado inicialmente somente à água, ocorrerá maior absorção desta água pelo agregado, quase saturando-os, havendo menor probabilidade do agregado absorver água da mistura. Conforme Machado Jr. e Agnesini (2000, p.10), poderá ocorrer o fenômeno inverso, ou seja, o agregado devolver parte da água absorvida, propiciando um efeito de cura úmida interna do concreto.

De acordo com diversos autores, a absorção dos agregados reciclados de concreto situa-se entre 8,15% e 12,0% para os agregados miúdos e entre 3,6% e 8,0% para os agregados graúdos. Já os agregados reciclados de blocos cerâmicos apresentaram absorção entre 9,6% e 15,0%, enquanto que os de tijolos cerâmicos apresentaram absorção entre 14,5% e 25,0% (HANSEN; NARUD, 1983, p.80; HANSEN, 1992, p.40 e 41; SCHULZ & HENDRICKS, 1992, p.187; BARRA, 1996, p.27; HAMASSAKI et al., 1996, p.108; ANDRADE et al., 1998, p.140; FONSECA et al., 1998, p.95; BAZUCO, 1999, p.61; LIMA, 1999, p.43; QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999, p.9; MACHADO Jr. et al., 2000, p.4; LEITE, 2001, p.75).

A B.S.C.J. (1977 apud HANSEN, 1992, p.41) estabelece como limite para absorção de água os valores de 7 % para o agregado graúdo e de 13 % para o agregado miúdo. Leite (2001, p.74) aponta que é necessária a pré-umidificação dos agregados reciclados, no entanto, não há consenso sobre a duração do período de pré-umidificação. Lima (1999, p.44) aponta que este

tempo é curto, atingindo 95% da absorção máxima em torno de 5 minutos.

Leite (2001, p.76) indica que se a absorção não for considerada haverá diminuição substancial da trabalhabilidade do material, deixando o concreto muito seco, sendo necessário acrescentar mais água à mistura. Este fato implicará na redução da resistência mecânica ou aumento do consumo de cimento e conseqüente aumento de custos. A compensação parcial da taxa de absorção dos agregados reciclados é uma boa alternativa para minimizar os problemas de trabalhabilidade e evitar o excesso de água no concreto e redução da resistência mecânica.

3.2.2 Granulometria e conteúdo de finos

Segundo Lima (1999, p.47 e 130), a distribuição granulométrica influencia na determinação de diversas propriedades de concretos e argamassas, tais como: trabalhabilidade, resistência mecânica, consumo de aglomerantes, absorção de água, permeabilidade, fluência, retração por secagem e módulo de elasticidade. Barra (1996, p.31) também indica que a distribuição granulométrica dos agregados depende do seu processo de produção e que condiciona a trabalhabilidade dos concretos no estado fresco, além de ser importante parâmetro para a dosagem das misturas. Para uso em concretos e argamassas pode-se realizar o peneiramento do material, buscando obter curvas similares às de areia e pedra convencionais. No entanto, este procedimento pode aumentar o custo de reciclagem (LIMA, 1999, p.47). Van der Wegen e Haverkort (1998, p.338) indicam que a lavagem dos agregados reduziu o teor de materiais finos (<0,063 mm) de 10% nos agregados não lavados para 0,8% nos agregados lavados.

Os agregados reciclados de concreto podem apresentar curvas granulométricas muito próximas às dos agregados naturais, no entanto, tendem a uma composição granulométrica um pouco mais grossa, resultando em um módulo de finura um pouco maior. Além disto, os agregados miúdos apresentam-se maiores e mais angulares, produzindo concretos mais ásperos e menos trabalháveis. O tipo e a granulometria do resíduo, o britador e suas regulagens internas influenciam a granulometria final dos agregados reciclados (HANSEN, 1992, p.31 e 34, LIMA, 1999, p.50; BANTHIA e CHAN, 2000, p.42). Latterza e Machado Jr. (1997, p.1971), utilizando britador de impacto, verificaram grande geração de material fino, sendo 48% passante na peneira 4,8 mm. Já Hansen e Narud (1983, p.81), utilizando britador de mandíbulas e resíduos de concreto com fator a/c 0,70, verificaram pequena geração de

material fino, sendo 17% passante na peneira 5,0 mm.

Schulz e Hendricks (1992, p.182), indicam que mesmo centrais de reciclagem modernas encontram dificuldades para obter agregados reciclados de alvenaria que atendam às exigências de granulometria de agregados naturais. Nesta linha, Lima (1999, p.50) aponta que para substituição total de agregados naturais por reciclados em argamassas e concretos, deve-se ajustar a granulometria do reciclado aos limites utilizados para agregados naturais, para se obter certa segurança com relação à trabalhabilidade, consumo de cimento e outros fatores.

Carneiro et al. (2001a, p.153) e Schulz ([19--] apud HANSEN, 1992, p.34), indicam que se deve evitar a utilização da fração menor que 2 mm do agregado reciclado para a produção de novos concretos, com a finalidade de evitar-se problemas relacionados com absorção de água, forma e textura superficial. Da mesma forma, Lima (1999, p.50 e 130) aponta ser necessário a eliminação de parte da fração miúda do agregado reciclado de alvenaria para melhorar algumas propriedades de argamassas e reduzir os riscos de surgimento de patologias devido à presença de contaminantes, sendo necessário identificar usos específicos para a parcela miúda não utilizada. Hansen (1992, p.34) conclui que, em muitos casos, pode-se utilizar agregados reciclados para produção de concreto sem que sejam lavados. Segundo Montgomery (1998, p.293), partículas de RCD com diâmetros menores que 0,15 mm apresentam maior probabilidade de ter na sua composição partículas não hidratadas de cimento. Entretanto, na prática, é praticamente impossível mensurar a quantidade destes grãos na fração fina.

Teychenne et al. (1975, apud HANSEN, 1992, p.102) indicam que devem ser utilizados agregados graúdos reciclados com dimensão máxima entre 16 e 20 mm para não prejudicar a durabilidade dos concretos produzidos. Tavakoli e Soroushian (1996a, p.184 e 189), utilizando agregado miúdo natural e agregado graúdo reciclado de concreto em duas dimensões, 25 mm e 20 mm, evidenciaram que o tamanho da partícula exerce uma certa influência na resistência à compressão devido à quantidade de argamassa aderida. Na faixa de resistência de 50 MPa, os concretos produzidos com agregado graúdo de 25 mm apresentaram maior resistência. Já na faixa de 35 MPa, os concretos produzidos com agregado graúdo de 20 mm apresentaram maior resistência, contrariando a tese de que quanto menor o grão, maior a possibilidade da existência de argamassa aderida, implicando em uma ligação mais frágil.

3.2.3 Forma e textura das partículas

A forma e textura das partículas dos agregados influenciam predominantemente as propriedades do concreto no estado fresco (trabalhabilidade, quantidade da água de amassamento, entre outras), sendo que partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis (METHA; MONTEIRO, 1994, p.264). Segundo Carneiro et al. (2001a, p.153), o agregado graúdo reciclado possui coeficiente de forma similar ao agregado graúdo obtido na britagem de uma rocha calcária, e apresenta uma forma mais irregular e uma textura superficial mais áspera e porosa. De acordo com Hamassaki et al. (1996, p.108), a textura dos agregados naturais pode ser classificada como praticamente polida, as partículas de blocos cerâmicos e tijolos são levemente ásperas e as partículas de blocos de concreto apresentam superfície altamente áspera.

Ao citar diversos autores, Leite (2001, p.66) aponta que, a textura mais rugosa e o comportamento hidráulico dos agregados reciclados conferem uma boa aderência entre eles e a pasta de cimento, e que a textura superficial, o tamanho da partícula e a forma do agregado são fatores que influenciam bastante a aderência entre o agregado e a matriz de concreto. O agregado reciclado de concreto também possui forma mais angular e irregular que o agregado convencional, porém menos lamelar, enquanto que, os agregados reciclados de blocos cerâmicos possuem forma mais angular e alongada. Além disso, as partículas de agregado reciclado tendem a ser mais arredondadas quanto menor for a resistência do concreto original.

Hansen (1992, p.31) conclui que, dependendo do tipo de RCD processado e dos equipamentos utilizados, o agregado reciclado pode apresentar forma mais angular e textura mais áspera que a desejável para produção de concreto, e que sua utilização exclusiva pode produzir concretos com elevado atrito interno e não trabalháveis. Rashwan e AbouRizk (1997, p.59), Lima (1999, p.56) e Leite (2001, p.67) indicam que os agregados reciclados possuem forma mais angular e taxas de superfície/volume maiores que os agregados naturais, conduzindo a uma maior fricção interna dos agregados reciclados, tornando a mistura mais coesa e requerendo maior quantidade de argamassa para melhorar a trabalhabilidade do concreto produzido, determinando um maior custo. Entretanto, Leite (2001, p.67) acrescenta que a textura mais rugosa, a maior angulosidade e maior área específica dos agregados reciclados colaboram com a melhoria da aderência pasta/agregado. Além disto, o agregado reciclado absorve a pasta de cimento pelos poros superficiais, proporcionando maior precipitação dos cristais de

hidratação nestes poros, permitindo maior fechamento da zona de transição do concreto, tornando a matriz e o agregado um bloco único de material, o que pode melhorar o desempenho final do concreto.

3.2.4 Massa específica e unitária

Conforme Lima (1999, p.50), os agregados reciclados apresentam, em sua maioria, massas específicas e unitárias menores que os agregados naturais, refletindo-se nas massas específicas de argamassas e concretos elaborados com este material, que também são menores que as de argamassas e concretos convencionais. Nesta linha, Hansen (1992, p.38) e Hansen e Narud (1983, p.80) indicam que os valores de massa específica dos agregados reciclados são de 5 a 10% mais baixos que os valores de agregados naturais devido à argamassa aderida às partículas do agregado reciclado de concreto. Segundo Lima (1999, p.50), os agregados reciclados de concreto apresentam massa específica maior que os de alvenaria e a parcela graúda de reciclados de concreto apresenta menor diferença em relação ao agregado convencional que a parcela miúda, devido ao menor teor de argamassa aderida. Nesta linha, Dessy et al. (1998, apud LEITE p.68) indicam uma menor massa específica para as frações mais finas devido a maior quantidade de argamassa original existente nestas frações. Hansen (1992, p.38) afirma que a origem do concreto interfere pouco no valor da massa específica. Já Bazuco (1999, p.15) aponta que podem ocorrer variações, de acordo com a origem e a granulometria do material. Angulo (2000, p.115) determinou que a massa específica cresce com o aumento dos teores das fases concreto e rocha na composição do agregado reciclado graúdo. Conforme Leite (2001, p.70), o método de ensaio pode exercer uma certa influência na determinação da massa específica do agregado reciclado, principalmente da fração graúda, devido à alta porosidade, absorção e fragilidade do material reciclado.

Os resultados de massa específica e de massa unitária encontrados na bibliografia são muito variáveis. Este fato pode ser explicado por aspectos como a composição do material, o tipo de beneficiamento realizado, a granulometria e o método utilizado na determinação destas propriedades. De um modo geral, a massa específica de agregados reciclados de concreto situa-se entre 1,97 kg/dm³ e 2,59 kg/dm³ para agregados miúdos e entre 2,12 kg/dm³ e 2,43 kg/dm³ para agregados graúdos. Já para agregados reciclados cerâmicos, a massa específica situa-se entre 1,87 kg/dm³ e 2,55 kg/dm³. Considerando-se massa específica saturado

superfície seca, os agregados reciclados de concreto situam-se entre 2,19 kg/dm³ e 2,32 kg/dm³ para agregados miúdos e entre 2,29 kg/dm³ e 2,51 kg/dm³ para agregados graúdos. Considerando-se massa unitária, os agregados reciclados de concreto apresentam valores entre 1,07 kg/dm³ e 1,56 kg/dm³ e os agregados reciclados cerâmicos entre 1,09 kg/dm³ e 1,41 kg/dm³ (HANSEN; NARUD, 1983, p.80; HANSEN, 1992, p.38 e 39; SCHULZ; HENDRICKS, 1992, p. 185; BARRA, 1996, p.27; LATTERZA; MACHADO Jr., 1997, p.1970; ZORDAN, 1997, p.99; BAZUCO, 1999, p.59; MANSUR et al., 1999, p.479; CARNEIRO et al., 2001a, p.177; LEITE, 2001, p.68 a 70).

3.2.5 Desgaste por abrasão do agregado

Conforme Tavakoli e Soroushian (1996a, p.184 e 185; 1996b, p.58 e 61) os agregados reciclados apresentam menor resistência ao desgaste por abrasão que os agregados naturais. No caso de agregados reciclados de concreto, tal fato se deve à argamassa aderida e sua fraca ligação com as partículas de agregado. Zordan e Paulon (1998, p.928) obtiveram valores de resistência ao desgaste por abrasão para os concretos com agregados reciclados 26,5% superiores aos obtidos pelo concreto de referência, e de um modo geral, os agregados naturais apresentam perda por abrasão Los Angeles entre 19% e 25% em peso, enquanto que os agregados reciclados apresentam perda por abrasão Los Angeles entre 20% e 44% em peso (HANSEN; NARUD, 1983, p.80; YOSHIKANE, apud HANSEN, 1992, p.43; TAVAKOLI; SOROUSHIAN, 1996a, p.184 e 185; BAZUCO, 1999, p.60). Estes valores mostram-se aceitáveis pois, conforme Leite (2001, p.77), a norma francesa NF P 18-573 prevê como limite máximo de perda por abrasão o índice de 40% e a norma brasileira NBR 6485/84 prevê o índice de 50 % em massa. Ademais, conforme Hansen (1992, p.43), a ASTM C33 admite agregados com perda por abrasão Los Angeles inferior a 50% para produção de concreto, e para construção de rodovias, agregados com valores inferiores a 40%.

3.3 USO EM CONCRETO

Conforme Vazquez (1997, p.65), há uma compreensão de que se deve reservar os agregados naturais para usos mais nobres, tais como concreto de alta resistência, concreto protendido,

etc. Ademais, conforme o mesmo autor, 80% do concreto utilizado na Europa necessita de resistências à compressão entre 20 e 25 MPa, plenamente alcançáveis com o agregado reciclado, sendo que, na Holanda, os agregados produzidos são adequados à aplicação em concreto estrutural (HANSEN, 1992, p.116). A seguir são destacadas as diversas propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados.

3.3.1 Resistência à compressão

Para concretos com altas relações água/cimento, a pasta de cimento é o ponto fraco da mistura. Desta forma, a influência da resistência e da composição do agregado passam a ter efeito para concretos com consumo superior a 300 kg/m³ de cimento, quando a resistência da pasta é superior à resistência dos agregados. De um modo geral, pode-se afirmar que concretos com agregados reciclados apresentam resistência à compressão menor do que os concretos de referência, situando-se em torno de 50% a 70% para traços ricos (1:3, cimento:agregados), em torno de 60% a 70% para traços médios (1:5, cimento:agregados), e em torno de 80% a 95% para traços pobres (1:7, cimento:agregados) (RAVINDRARAJAH; TAM, 1985, p.33; HANSEN, 1992, p.59 e 60; ANDRADE et al., 1998, p.139 à 143; LIMA; SILVA, 1998, p.170; ZORDAN; PAULON, 1998, p.927; BAZUCO, 1999, p.72 e 94; ANGULO, 2000, p.31; LEITE, 2001, p.89 a 94; CHEN et al., 2003, p.129). Não obstante, Chen et al. (2003, p.129) indica que a utilização de agregados reciclados lavados melhora o desempenho dos concretos produzidos com estes agregados.

Segundo Hansen (1992, p.58), a substituição de 30% do agregado natural por agregado reciclado não altera significativamente as propriedades do novo concreto, no entanto Bazuco (1999, p.71 a 74) observa que substituições de 25% de agregado graúdo já implicam em reduções de resistência na faixa de 20%. Já Leite (2001, p.89 a 94) aponta redução da resistência do concreto com agregado reciclado com o aumento do teor de substituição.

Conforme Hansen (1992, p.68), o coeficiente de variação da resistência à compressão é muito elevado, provavelmente pela dificuldade de manter-se constante a relação a/c devido à alta absorção de água dos agregados. Leite (2001, p.173 e 176) constatou a rápida evolução da hidratação do concreto com agregado reciclado, devido à alta taxa de absorção dos agregados que diminui a quantidade de água da mistura, e que a resistência à compressão do concreto

com agregados reciclados tende a diminuir à medida que o valor da relação a/c aumenta.

Devenny e Khalaf (1999, p.81 a 84) concluíram que existe uma boa aderência entre a pasta do concreto e o agregado reciclado de tijolos cerâmicos, pois ocorreu ruptura no agregado ao invés de ocorrer na interface pasta/agregado. Porém, Zordan e Paulon (1998, p.931) destacam que a presença de materiais cerâmicos polidos no AGR apresentam aspectos negativos para a resistência do concreto, induzindo à ocorrência de superfícies de ruptura, devido à falta de aderência entre o agregado e a pasta de cimento, enfraquecendo bastante a zona de transição.

Hansen e Narud (1983, p.82 e 83), Kasai e Fujii (1989, p.28) e Bazuco (1999, p.72) indicam que a resistência à compressão do concreto com agregado reciclado depende da resistência do concreto original, sendo que a resistência deste é fator limitante da resistência daquele. No entanto, Hansen (1992, p.62) e Bazuco (1999, p.73) observam que pode-se obter concretos com agregados reciclados com resistência à compressão maior que concretos com agregados naturais, muito embora esta não seja uma alternativa economicamente vantajosa. A utilização de agregados reciclados de boa resistência pode levar a um aumento da resistência à compressão destes concretos em até 19% (LEITE, 2001, p.89 a 94; SALEM; BURDETTE, 1998, p.559), devido à forma e à textura do material reciclado, conforme já descrito no item 3.2.3 deste trabalho. Além disto, a maior absorção do agregado reciclado proporciona a diminuição da relação a/c, bem como conduz à um efeito retardado de hidratação e de cura interna (LEITE, 2001, p.176; MACHADO Jr.; AGNESINI, 2000, p.10), conforme já destacado no item 3.2.1, aumentando a resistência à compressão.

Não há consenso na bibliografia sobre o efeito da substituição de agregados naturais por agregados reciclados graúdos e miúdos, enquanto uns (LEVY, 2001, p.125; HANSEN, 1992, p.68) afirmam que a substituição total do agregado miúdo implica em redução da resistência à compressão do concreto, outros (LEITE, 2001, p.174 e 175) afirmam que o aumento do teor de substituição de AGR tende a diminuir a resistência e que o aumento do teor de AMR tende a aumentar resistência à compressão. Leite (2001, p.186 a 189) afirma, ainda, que a substituição do agregado miúdo natural é plenamente viável do ponto de vista da resistência à compressão, bem como a utilização das frações miúda e graúda combinadas.

Outro aspecto importante, destacado por Kasai et al. (1973, apud HANSEN, 1992, p.66), é que a resistência à compressão, a resistência à tração e o módulo de elasticidade são maiores, para concretos produzidos com agregado reciclado pré-misturados a seco antes da adição do

cimento e de água, do que para concretos onde não ocorre a pré-mistura a seco. A pré-mistura a seco possibilita: a melhora da forma dos agregados graúdos, a remoção da argamassa aderida e a liberação de partículas de cimento não hidratadas dos agregados reciclados.

3.3.2 **Trabalhabilidade**

Hansen e Narud (1983, p.82) indicam que os concretos com agregados reciclados necessitam de 5% a mais de água livre para atingir os mesmos índices de consistência de concretos convencionais. Leite (2001, p.81 a 86) afirma que os menores índices de consistência dos concretos com agregados reciclados, deve-se à maior porosidade (que aumenta a absorção de água e diminui a quantidade de água livre das misturas), à forma mais angular e à textura mais áspera dos agregados reciclados (características que provocam maior travamento e diminuem a mobilidade entre as partículas das misturas de concreto). Bazuco (1999, p.93) indica uma maior necessidade de argamassa para os concretos produzidos com agregado graúdo reciclado, enquanto Zordan e Paulon (1998, p.931) observam que os agregados reciclados apresentaram uma trabalhabilidade superior ao agregado natural, possivelmente pelas suas arestas mais arredondadas e pela presença de terra.

De Pauw et al. (1998, p.217 e 219) concluíram que a absorção dos agregados reciclados dentro das misturas de concreto no estado fresco é mais lenta ou menor, que se imersos em água pura pois a presença de grande quantidade de pasta de cimento na interface do agregado funciona como uma película impermeável, não permitindo que o agregado continue absorvendo água da mistura. Este fato pode explicar a menor absorção dos agregados dentro das misturas frescas de concreto, sendo mais um motivo para que não seja compensada toda a taxa de absorção dos agregados reciclados. Ademais, Quebaud et al. (1999, p.10) indicam que a pré-umidificação dos agregados reciclados antes da mistura ou a utilização de aditivo superplastificante apresentam-se como alternativas para manter constante a trabalhabilidade dos concretos, limitando a migração de água da pasta de cimento para os agregados reciclados e, segundo Gallias (1998, apud ANGULO 2000, p.32), a pré-saturação dos agregados reciclados faz com que a água absorvida não participe da trabalhabilidade nem das reações de hidratação do cimento. Entretanto, Hansen e Narud (1983, p.82) observam que a perda de abatimento é mais rápida nos concretos com agregados reciclados devido à contínua absorção de água pelo agregado, mesmo depois da mistura terminada.

Em seu estudo, Leite (2001, p.151 a 171) observou que o aumento do teor de AGR diminui o abatimento no ensaio de *slump test*, devido à forma mais irregular, à textura mais rugosa dos agregados reciclados e à composição granulométrica mais contínua, que conduz ao efeito de empacotamento dos grãos. Os concretos com agregados reciclados apresentam valores de abatimento muito baixos, no entanto possuem aspecto satisfatório ao serem vibrados. O abatimento destes concretos não necessita ser igual ao dos concretos de referência para se obter concretos com propriedades mecânicas compatíveis às do concreto convencional.

Andrade et al. (1998, p.140 e 141) propõem que o método de dosagem de concretos com agregados reciclados não considere a relação água/cimento e sim o abatimento do *slump test*, devido à alta absorção de água pelo agregado. Já Leite (2001, p.151 a 171) verificou a alta variabilidade inerente ao ensaio de abatimento de tronco de cone, concluindo que este ensaio não é um bom parâmetro, mas sim o ensaio do tempo de vibração VeBe, para avaliar a trabalhabilidade do concreto reciclado, principalmente quando esta propriedade for considerada como fator de controle da produção de concretos com agregados reciclados. Neville (1997, p.200) também aponta que misturas pobres ou ásperas tendem ao abatimento por cisalhamento ou desmoronamento, indicando falta de coesão da mistura, sendo que o ensaio de *slump test* não reflete o comportamento do concreto em condições dinâmicas, além de que o abatimento não guarda uma relação unívoca com a trabalhabilidade.

3.3.3 Durabilidade

A durabilidade dos concretos está relacionada diretamente com a sua permeabilidade. Conforme já descrito no item 3.2.1, os agregados reciclados apresentam maior absorção de água que os agregados convencionais, determinando maior absorção de água dos concretos e argamassas preparados com este material, menores resistência mecânica e resistência a ataques químicos, despassivação da armadura e conseqüente redução da durabilidade. Devido a estes fatores, Lima e Silva (1998, p.170) indica o uso do concreto com agregado reciclado em locais sem presença de água ou em locais onde a presença de água não cause problemas.

Quebaud et al. (1999, p.12 e 13) afirmam que concretos com agregados reciclados apresentam permeabilidade à água 2 a 3 vezes superior à permeabilidade de concretos com agregados naturais, e que a permeabilidade ao ar é 2 a 5 vezes maior. Também indicam que quanto

maior a proporção de AMR mais permeável é o concreto produzido. Nesta linha, B.S.C.J. (1977, apud HANSEN, 1992, p.85) indica que a permeabilidade do concreto com agregados reciclados chega a ser de 2 a 5 vezes maior que em concretos convencionais. Já para Zordan (1997, p.111) e Zordan e Paulon (1998, p.929) a permeabilidade de concretos com agregado reciclado apresentou-se muito próxima dos resultados para o concreto de referência.

Com relação à resistência ao ataque por CO₂, Barra e Vazquez (1997, p.224) indicam que para concretos ricos (consumo de cimento (C) > 400 kg/m³) o risco de carbonatação no concreto reciclado é maior que no concreto convencional. Para concretos normais (C entre 300 kg/m³ e 400 kg/m³) o comportamento do concreto reciclado depende da ordem com que são adicionados os materiais na betoneira e para concretos pobres (C < 300 kg/m³) não há diferença de comportamento entre o concreto reciclado e convencional. Já Kikuchi et al. (1998, p.61) apontam que não há diferença na profundidade de carbonatação entre o concreto com AGR e o concreto de referência e Levy (2001, p.149 a 153) indica que concretos com agregados reciclados de concreto apresentam uma menor frente de carbonatação.

3.3.4 Outras propriedades

Além das já citadas, outras propriedades do concreto são afetadas pela substituição dos agregados naturais por agregados reciclados, tais como: resistência à tração, módulo de elasticidade, relação tensão-deformação, fluência, retração por secagem, massa específica, microestrutura e a atividade pozolânica desenvolvida por esses agregados.

O fenômeno da resistência à tração é governado por mecanismos de aderência física entre as partículas (LEITE, 2001, p.94 a 96). O agregado reciclado possui forma mais irregular e textura mais rugosa, aumentando a área superficial de contato e maior entrelaçamento dos compostos de hidratação com os poros superficiais do agregado, possibilitando melhores aderência e resistência à tração. Segundo Leite (2001, p.191 a 193), a adição de AMR implica no aumento da resistência à tração, pois o AMR aumenta a rigidez da matriz de concreto, diminuindo as microfissurações na zona de transição pasta/agregado, devido a maior rugosidade e maior fechamento dos poros, proporcionado pelas frações de menor dimensão.

De acordo com diversos autores (AKHTARUZZAMAN; HASNAT, 1983, p.63; HANSEN;

BOEGH, 1985, p.650; RAVINDRARAJAH; TAM, 1985, p.35; HANSEN, 1992, p.70 a 73; TOPÇU; GUNÇAN, 1995, p.1390; MANSUR et al., 1999, p.481; LEITE, 2001, p.97, 98 e 206; LEVY, 2001, p.137; CHEN et al. 2003, p.130), o módulo de elasticidade de concretos produzidos com agregados reciclados apresenta uma redução entre 11% e 40% com relação aos concretos produzidos com agregado natural. Porém, Leite (2001, p.206) observou um aumento de 10% a 15% com a utilização de AMR e agregado graúdo natural.

Segundo diversos autores (KASAI; FUJII, 1989, p.28; HANSEN, 1992, p.74 a 77; TOBORI et al., 1999, p.6; QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999, p.13; SAGOE-CRENTSIL et al., 2001, p.710), concretos produzidos com agregados reciclados apresentam fluência e retração por secagem maiores do que concretos com agregado natural. Tavakoli e Soroushian (1996b, p.61) apontam que a argamassa aderida ao agregado reciclado é responsável pela maior absorção de água e, conseqüente, maior retração por secagem. Entretanto, Mansur et al. (1999, p.481) observaram resultados de retração por secagem 17% mais baixos para concretos com AGR proveniente de blocos cerâmicos de alta resistência e Hendriks e Pietersen (1998, p.102) indicam que os concretos com agregados reciclados de alvenaria apresentam menor retração por secagem nos estágios iniciais de hidratação.

De acordo com Kikuchi et al. (1993, apud LEITE, 2001, p.80), a massa específica do concreto reciclado diminui e o teor de ar incorporado aumenta gradualmente à medida que o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado aumenta. Leite (2001, p.148 a 151) também observou este fenômeno causado pela maior porosidade intrínseca do agregado reciclado, principalmente o agregado graúdo. Além disto, quanto maior a relação a/c, menor é a quantidade de cimento nas misturas para se combinar com a água existente, aumentando a porosidade e reduzindo a massa específica. Diversos autores (AKHTARUZZAMAN; HASNAT, 1983, p.63; DEVENNY; KHALAF, 1999, p.81 a 84; LEITE, 2001, p.148 a 151) apontam redução de massa específica entre 13% e 17% e Hansen e Narud (1983, p.80) indicam que a densidade no estado fresco dos concretos com agregados reciclados é 50 a 100 kg/m³ menor que a dos concretos de referência.

Com relação à microestrutura, Leite (2001, p.207 a 214) observou, através de microscopia eletrônica, a formação de produtos de hidratação na superfície porosa e rugosa do agregado reciclado, decorrente da absorção de pasta de cimento pelo agregado, contribuindo para aumentar a aderência pasta/agregado. Observou também uma grande quantidade de vazios no

agregado reciclado de argamassa. Essa autora verificou ainda que a microestrutura na interface pasta-agregado dos concretos com agregados reciclados é muito mais densa e que as fases individuais matriz e agregado não são perfeitamente identificadas.

Com relação à atividade pozolânica desenvolvida pelos agregados reciclados, Leite (2001, p.215 a 223) indica que o material cerâmico presente nos RCD apresentou índices de atividade pozolânica, tanto com a cal, quanto com o cimento. Levy e Helene (1996, p.145) indicam que o aumento na resistência mecânica de argamassas com material cerâmico deve-se ao efeito pozolânico e à grande quantidade de finos existentes nos materiais cerâmicos. Além disto, Levy e Helene (2004, p.12) apontam que mesmo não apresentando efeito pozolânico, o AMR melhora as propriedades mecânicas dos concretos devido ao grau de empacotamento das partículas finas (efeito filler). Nesta linha, Leite (2001, p.186 a 189) indica que os concretos com 100% de AMR apresentaram as maiores taxas de crescimento de resistência dos 28 aos 91 dias, apontando um efeito pozolânico da fração fina do material reciclado. Além disto, os agregados reciclados possuem partículas de aglomerantes ainda não inertizadas e partículas de resíduos cerâmicos com características pozolânicas (INFORMAÇÕES... – I & T, 1996, p.2, caderno 05/07), e Zordan e Paulon (1998, p.928) destacam que o cimento presente no RCD ainda possui capacidade cimentícia e que a atividade pozolânica dos finos do agregado reciclado pode colaborar para o aumento da resistência do concreto de traço pobre e, desta forma, conforme Hamassaki (2000, p.187), reduzir o consumo de cimento e cal.

3.4 USO EM ARGAMASSA

No Brasil, já foram desenvolvidos trabalhos sobre a utilização de agregados reciclados em argamassa, entre os quais, pode-se citar: Pinto (1986), Miranda (2000) e Santana et al. (2001). A seguir são abordadas algumas propriedades referentes a argamassas produzidas com agregado reciclado.

Genericamente, pode-se afirmar que as propriedades de resistência à compressão, à tração e de aderência de argamassas produzidas com agregados reciclados apresentam resultados satisfatórios, e também as propriedades de módulo de elasticidade e dureza superficial (MIRANDA, 2000, p.91 a 93; SANTANA et al., 2001, p.289).

Santana et al. (2001, p.287) encontraram resultados entre 3,2 e 4,5 MPa para resistência à compressão, que são superiores ao estabelecido pela ASTM (2,5 MPa aos 28 dias). Miranda (2000, p.90) obteve valores entre 2,5 e 4,5 MPa, para traços com substituição parcial da areia. Para traços com substituição total de areia, os valores atingiram 7,5 MPa. No entanto, Chen et al. (2003, p.130) apontam que argamassas com substituição de 30% do agregado miúdo por agregado reciclado implica em uma redução de 20% na resistência à compressão da argamassa e uma substituição de 65% do agregado miúdo implica em uma redução de 35%, sendo que o fator a/c não tem influência nesta propriedade.

De acordo com Pinto (1986, p.49 à 55), os RCD revelam um potencial pozolânico crescente conforme se incrementa o teor de resíduos cerâmicos em sua composição. Pinto aponta três hipóteses para o aumento da resistência à compressão. A primeira seria a possibilidade da ação de núcleos de cristalização, pela presença de partículas de cimento anteriormente hidratadas. A segunda seria a reação pozolânica dos resíduos em presença de cal, e a terceira seria uma maior velocidade de carbonatação existente na argamassa de resíduos, em função da sua maior porosidade. Pinto (1986, p.49 à 55) considera como explicação mais provável a junção das duas últimas hipóteses. No entanto, Miranda (2000, p.115) e Hamassaki et al. (1996, p.114) apontam que os agregados utilizados não apresentaram atividade pozolânica.

Para resistência à tração na flexão de argamassas com agregados reciclados, Miranda (2000, p.88 à 90 e 100) encontrou resultados entre 0,9 e 1,8 MPa, superiores aos valores encontrados para a argamassa mista de referência, sendo que a cura apresentou grande influência nesta propriedade. Já Santana et al. (2001, p.287) encontraram valores entre 0,52 e 0,73 MPa para resistência à tração por compressão diametral das argamassas produzidas com agregado reciclado, sendo estes valores considerados aceitáveis.

Com relação à resistência de aderência, Pinto (1986, p.55 à 60) destaca que o ensaio de aderência não é normalizado e recebe diversas interferências, sendo os valores encontrados apenas indicadores do comportamento de cada material examinado. Os valores encontrados situaram-se entre 0,39 e 0,49 kgf/cm² aos 7 dias e entre 0,39 e 0,59 kgf/cm² aos 28 dias. No estudo de Miranda (2000, p.102 e 107), nenhuma das argamassas estudadas apresentaram problemas de aderência ao substrato, estando todos os resultados acima do mínimo estipulado pela NBR 13749. Santana et al. (2001, p.289) também encontraram resultados satisfatórios para esta propriedade, sendo significativamente superiores ao limite estabelecido em norma.

Em relação às propriedades das argamassas no estado fresco, observa-se uma grande influência dos agregados reciclados. Miranda (2000, p.77 a 80 e 115) indica que a relação a/c de algumas argamassas diminuiu quando aumentou-se a substituição da areia de rio fina por AMR, e que a natureza do agregado reciclado influenciou o consumo de água total das argamassas, principalmente quando continha materiais com elevada absorção de água (p. ex. blocos cerâmicos), sendo necessário corrigir o valor da relação a/c e de água/materiais secos.

Segundo Miranda (2000, p.80 a 82), a taxa de perda de consistência em função do tempo, das argamassas com agregados reciclados, apresentou tendência de diminuir ou permanecer constante à medida que se aumentava o teor de finos, possivelmente, pelo fato dos finos dos agregados reciclados atuarem como retentores de água. Já Santana et al. (2001, p.292 e 293) indicam que as argamassas com agregado reciclado apresentaram consistência adequada, no entanto, há uma significativa perda de água ao longo do tempo, diminuindo a trabalhabilidade durante os processos de aplicação e acabamento. Também apontam a necessidade de se umedecer previamente o material reciclado para compensar a sua absorção de água.

De acordo com Miranda (2000, p.85 e 98), a propriedade de retenção de água, não apresentou uma tendência de comportamento bem definida, nem com a natureza do entulho, nem com o aumento do teor de finos. A retirada de material com fração menor que 0,15 mm implica, para as argamassas de agregados reciclados de blocos cerâmico e de concreto, em menores trabalhabilidade e retenção de água. Segundo Santana et al. (2001, p.286), as argamassas com agregados reciclados apresentaram valores plenamente aceitáveis de retenção de água.

No ensaio de absorção de água, Pinto (1986, p.61 à 64) observou uma maior absorção dos traços com agregados miúdos reciclados, possivelmente por uma maior porosidade das partículas do agregado. Já Miranda (2000, p.103) não encontrou diferença significativa nas argamassas com agregados reciclados. Porém, Santana et al. (2001, p.287) indicam que as argamassas com adição de RCD apresentaram menor absorção de água por capilaridade, mostrando-se adequadas para argamassas de revestimento. Entretanto, o uso de agregado reciclado provocou um aumento na absorção de água por imersão, o que pode ter sido causado pela grande absorção de água apresentada pelo material reciclado. Também houve aumento da porosidade e do índice de vazios, confirmando a maior incorporação de ar quando se utiliza o agregado reciclado. Santana et al. (2001, p.284), apontam ainda que as argamassas com RCD apresentam valores elevados de ar incorporado, superiores à 17%, sem, no entanto,

haver reduções na resistência mecânica. Indica também que o uso de agregado reciclado proporciona uma redução da quantidade de aditivo incorporador de ar, mantendo-se a trabalhabilidade adequada. Miranda (2000, p.84 e 115) também encontrou para as argamassas com agregado reciclado um maior teor de ar aprisionado.

Com relação à densidade de massa, Miranda (2000, p.82, 83 e 97) aponta que, comparando-se as argamassas com mesmos teores de finos, os maiores valores foram observados naquelas argamassas com elevadas proporções de agregados reciclados de bloco de concreto, e as menores densidades naquelas com elevadas proporções de agregado reciclado cerâmico, sendo que os valores encontrados situaram-se entre 1,85 e 1,97 kg/dm³. Já Santana et al. (2001, p.285), encontraram valores de densidade de massa entre 1,60 e 1,71 kg/dm³ para as argamassas com agregado reciclado, 1,85 kg/dm³ para as produzidas com arenoso e 2,06 kg/dm³ para as produzidas com cal. Essa diferença pode ser explicada pela menor massa específica do agregado reciclado e maior quantidade de ar incorporado nestas argamassas.

Outra importante propriedade das argamassas com agregados reciclados é a retração por secagem pois, conforme destaca Hamassaki (1996, p.115), as argamassas fabricadas com estes agregados apresentaram maiores valores de retração, devendo-se utilizá-las em argamassas de assentamento ou revestimentos internos. Esta maior retração pode ser atribuída à excessiva quantidade de finos presente no agregado reciclado. Conforme Miranda (2000, p.93 a 96), os maiores valores de retração encontrados foram para argamassas com maiores teores totais de finos menores que 75 µm, sem nenhuma correlação evidente com a relação a/c das argamassas. Segundo Miranda (2000, p.118), a aplicação de chapisco mostrou-se muito útil na redução da quantidade de fissuras, chegando às vezes a impedir totalmente o seu surgimento, o que provavelmente ocorreu devido ao aumento da resistência de aderência ao cisalhamento do revestimento. Miranda (2000, p.115 a 117) recomenda ainda que, para produção de argamassas, seja feito o controle granulométrico do agregado reciclado entre as dimensões de 2,4 mm até 0,15 mm, descartando o material passante nesta abertura de malha e utilizando um outro material como plastificante, como por exemplo a cal, pois a utilização de agregados reciclados pode ser prejudicial quando for responsável por um refinamento excessivo dos poros. O parâmetro de dosagem de teor total de finos < 75 µm pode ser utilizado como metodologia de dosagem das argamassas com agregados reciclados, porém, para análise da fissuração são mais seguros e representativos estudos práticos e não apenas a avaliação em função da retração por secagem livre de corpos-de-prova.

De um modo geral pode-se afirmar que a substituição de agregado miúdo natural por agregado reciclado apresenta-se como alternativa tecnicamente viável e com redução do custo do material, necessitando de controles em relação ao consumo de água e ao acabamento superficial. Santana et al. (2001, p.292 e 293) indicam que tanto o agregado reciclado produzido em canteiro quanto o produzido em usina de reciclagem apresentam comportamento satisfatório para a utilização em argamassas de revestimento. Conforme Miranda (2000, p.49 e 50), apesar da maioria das argamassas com agregados reciclados consumir uma quantidade de água total bem superior à normalmente consumida por argamassas mistas, a maior parte das argamassas apresentaram facilidade de aplicação. Santana et al. (2001, p.291 a 293) destacam a excelente aderência inicial ao substrato e a consistência adequada, no entanto as argamassas com teores elevados de agregado reciclado apresentaram acabamento superficial áspero.

Com relação aos custos de produção de argamassas, Santana et al. (2001, p.285) destacam a redução do consumo de cimento com o aumento do teor de RCD, enquanto Miranda (2000, p.86 e 87) aponta que, o consumo de cimento por m³ não sofreu variação significativa, devido aos traços das argamassas serem praticamente iguais. Porém, à medida que o teor de agregado reciclado aumentou, houve diminuição do custo relativo das argamassas, sendo que o traço com substituição total de areia chegou a custar apenas 40% do valor da argamassa mista. Santana et al. (2001, p.291 e 292) também indicam uma redução de custo de até 37%, quando comparado com a argamassa de cal e de até 16% quando comparado com a argamassa base.

3.5 USO EM FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS DE ALVENARIA

Os agregados reciclados podem ser utilizados para produção de elementos de alvenaria, tais como, blocos de concreto, tijolos de solo-cimento e painéis pré-moldados, sendo que estes últimos foram estudados por Latterza e Machado Jr. (1997, p.1967-1975).

A utilização de agregados reciclados para produção de blocos de concreto apresenta resultados satisfatórios, entretanto devem ser tomadas precauções quanto ao uso destes blocos em paredes externas ou subsolos, devido à maior absorção de água (DE PAUW, 1982; POLLET, 1997, apud SOUSA, 2001, p.34 e 35). Sousa (2001) estudou em sua dissertação de mestrado a utilização de agregados reciclados para a fabricação de blocos de concreto. Sousa

(2001, p.87 e 88) moldou blocos de concreto para os ensaios de massa específica, resistência à compressão e absorção por imersão. Os resultados encontrados por Sousa (2001, p.89 a 95) apresentaram elevado grau de dispersão. Dentre os diversos traços estudados, os resultados médios de massa específica variaram de 1.890 kg/m³ até 2.260 kg/m³, os resultados médios de resistência à compressão variaram de 1,9 MPa até 5,5 MPa e os resultados médios de absorção por imersão variaram de 7% até 14,5%. Os resultados obtidos para os blocos de concreto com agregados reciclados foram inferiores aos obtidos com materiais convencionais e não satisfizeram a NBR 7173/82. Para uma determinada série de blocos de concreto com agregados reciclados, o autor observou melhoria nos resultados obtidos, e que na grande maioria atenderam às recomendações da NBR 7173/82. Observa-se a necessidade da continuidade de pesquisas para a utilização de agregados reciclados na fabricação de blocos de concreto.

Outra aplicação para os RCD é a fabricação de tijolos de solo estabilizado com cimento, conforme estudado por Neves et al. (2001). Estes pesquisadores utilizaram um traço com teor de cimento de 12% em massa e substituição do solo por agregado reciclado nas proporções de 25%, 50%, 75% e 85%, em massa. Foram utilizados para a fabricação dos tijolos dois diferentes tipos de solos, denominados laterítico e saprolítico (NEVES et al., 2001, p.245 e 247).

Neves et al. (2001, p.248 à 250) apontam que a incorporação do agregado reciclado ao solo laterítico não permitiu a fabricação de tijolos prensados, pois diminuiu a quantidade de material fino, não permitindo o manuseio dos tijolos recém-moldados. A utilização de cal para modificar este comportamento foi economicamente inviável. Então o agregado reciclado foi incorporado ao solo saprolítico, que apresentava maior teor de finos. Os tijolos produzidos foram submetidos aos testes de verificação dimensional, massa específica, absorção de água, resistência à compressão e durabilidade.

De acordo com Neves et al. (2001, p.251), os resultados de resistência à compressão e de absorção de água do tijolo de solo saprolítico não atendem aos limites estabelecidos na NBR 8491. No entanto, a adição de agregado reciclado neste tipo de tijolos proporciona tijolos mais compactos, com massa específica mais elevada, e com valores decrescentes de absorção de água por imersão, obtendo-se tijolos mais resistentes à compressão, porém menos resistentes às variações hidrotérmicas e às intempéries, devido ao aumento na perda de massa. Conforme

Neves et al. (2001, p.252 à 255), existe uma relação linear entre o teor de finos e a resistência à compressão, absorção e perda de massa dos tijolos com solo saprolítico e o teor de agregado reciclado utilizado. Todas as misturas de solo-agregado reciclado-cimento atenderam ao limite mínimo de resistência à compressão. As misturas com agregado reciclado acima de 50% atenderam ao limite máximo de absorção de água, e abaixo de 75% de agregado reciclado atenderam ao limite máximo para perda de massa. Dessa forma, a proporção de agregado reciclado deve situar-se entre 50% a 75%.

3.6 USO EM PAVIMENTAÇÃO

Segundo Carneiro et al (2001b, p.190), o emprego de agregados reciclados em pavimentação possibilita a utilização de grandes quantidades do material e das suas frações graúdas. Conforme Bodi et al. (1995, p.419) e Carneiro et al. (2001b, p.206), os agregados reciclados são materiais adequados para serem utilizados em reforço de sub-leito, sub-base e base de pavimentos, pois apresentam baixos percentuais granulométricos de argila e silte. Ainda segundo Carneiro et al. (2001b, p.206, 213 e 214), o AMR apresentou limites de consistência e equivalente de areia de acordo com as especificações da NBR 11804. Devido à ausência de plasticidade, o agregado reciclado apresenta comportamento adequado para a estabilização de solos plásticos, e suas características granulométricas e seu coeficiente de permeabilidade também possibilitam a sua utilização em camadas drenantes de pavimentos, ou em locais com lençol freático elevado. Além disto, a expansão das misturas com solo saprolítico diminuiu significativamente à medida que se aumentou o teor de AMR na mistura, melhorando muito a estabilidade do material. Para as misturas de solo laterítico, AMR e AGR a expansão foi praticamente nula, confirmando a possibilidade de empregá-las em locais com lençóis freáticos elevados. Bodi et al. (1995, p.421) também apontam que a adição de agregado reciclado ao solo contribui para a redução da taxa de expansão destas misturas, por ser um material não expansivo. Com relação ao ensaio de abrasão Los Angeles, o AGR apresentou desgaste de 45%, atendendo às especificações da NBR 11804 para sub-base e base de pavimentos (CARNEIRO et al., 2001b, p.206).

Bodi et al. (1995, p.421) apontam o aumento do CBR em misturas de agregados reciclados e solos com adição a partir de 20% destes agregados, enquanto que este aumento de CBR só é perceptível com adição de brita natural com dosagens a partir de 40%. Carneiro et al. (2001b,

p.212 e 213) indica que, com exceção de uma amostra, as misturas de solo saprolítico e AMR mostraram-se adequadas para utilização em sub-bases de pavimentos, pois obtiveram valores de CBR acima de 20%, conforme especificação da NBR 11804. Já as misturas de solo laterítico e AMR apresentaram-se adequadas para utilização em sub-bases e também em bases, pois atingiram valores de CBR acima de 60%, conforme a mesma norma. No entanto, o aumento do teor de AMR nas misturas com solo laterítico implicou na redução dos valores de CBR, enquanto que, nas misturas com solo saprolítico o aumento do teor de AMR conduziu ao aumento dos valores de CBR. A adição de AGR conduziu ao aumento dos valores de CBR, indicando viabilidade para utilização em camadas de sub-base e base.

Conforme Carneiro et al. (2001b, p.208 à 211), as curvas granulométricas das misturas contendo AGR apresentaram-se dentro do intervalo especificado pela NBR 11804, apresentando granulometria contínua e curvas sem patamares. Porém as misturas dos dois solos estudados (saprolítico e laterítico) com o AMR não se enquadraram nas faixas granulométricas especificadas pela NBR 11804. No entanto, Nogami e Villibor (1995, p.106) indicam que no caso de solo-agregado contendo finos lateríticos, a prática tem demonstrado que a deficiência granulométrica do material fica compensada pela melhor qualidade das partículas finas. Desta forma, as especificações desenvolvidas para materiais tradicionais não devem ser consideradas como fatores limitantes para utilização de novos materiais, e apenas como referência para a análise do desempenho desses insumos alternativos.

Em relação à umidade ótima, Carneiro et al. (2001b, p.211) observaram que, as misturas com AMR e solo laterítico apresentavam crescimento desta característica com o aumento do teor de AMR. Já as misturas de AMR e solo saprolítico tiveram comportamento inverso, devido a menor quantidade de partículas finas presentes na mistura, pois este agregado apresenta partículas finas de melhor qualidade (não plásticas) e em menor quantidade que o solo saprolítico. Com a adição de AGR os valores de umidade ótima aumentaram.

Carneiro et al. (2001b, p.214 e 215) apontam que as amostras de solos com adição de AGR apresentaram altos valores de degradação, em função do desgaste sofrido durante o processo de compactação. Entretanto, Nogami e Villibor (1995, p.106 e 107) indicam que os solos-agregados constituídos de pedregulhos lateríticos e saprolíticos, mesmo não satisfazendo as condições impostas pelas especificações tradicionais, têm apresentado desempenho adequado para material de base de pavimentos devido, em parte, à fragmentação parcial dos grãos

durante os trabalhos de compactação. Nesta linha, Carneiro et al. (2001b, p.216) apontam que a quebra de grãos resultou em uma mudança na granulometria do material, melhorando o grau de entrosamento dos grãos e as propriedades da camada compactada.

Com relação aos aspectos econômicos e de durabilidade, Carneiro et al. (2001b, p.220 a 224) apontam que as camadas de base e sub-base produzidas com agregado reciclado apresentam custo de construção significativamente menor que as camadas produzidas com brita graduada ou brita adicionada ao solo, representando uma economia entre 50% e 62%, sendo importante analisar-se os custos de manutenção de pavimentos produzidos com agregados reciclados e com materiais tradicionais, bem como a realização de ensaios de durabilidade.

4 USINAS DE RECICLAGEM

De modo geral os equipamentos utilizados na reciclagem de resíduos de construção são provenientes do setor de mineração, que são adaptados ou simplesmente utilizados na reciclagem (LIMA, 1999, p.29), apesar de Wilburn e Goonan (1998, p.6 e 7) indicarem que esta atividade exige um sistema de controle de qualidade diferenciado, devido à variabilidade e contaminação dos RCD, necessitando de separação manual dos contaminantes e equipamentos complementares, como separador magnético. Desta forma, o processo de reciclagem de RCD deve observar as etapas de limpeza e seleção prévia, eliminação de contaminantes, extração de materiais metálicos, homogeneização, trituração e estocagem para expedição (INFORMAÇÕES... – I & T, 1996, p.3, caderno 01/07). Ademais, Hansen (1992, p.12) coloca que para determinar-se o tipo de processamento a ser utilizado na reciclagem de RCD, deve-se conhecer em primeiro lugar o seu grau de contaminação e o uso para o qual se destina: aterro, enchimento para drenagem, pavimentação, concreto ou artefatos de concreto. Pinto (1999, p.122) indica ainda a importância de adotar-se um formato modular de Central de Reciclagem, com capacidade de processamento entre 15 t/h e 30 t/h e a implantação descentralizada das áreas de reciclagem.

Conforme Wilburn e Goonan (1998, p.2), Brito Filho (1999, p.63 e 64) e Lima (1999, p.33), para avaliar-se a capacidade operacional de uma usina de reciclagem deve-se analisar os seguintes fatores:

- a) local de instalação da unidade recicladora, devendo ser o mais próximo possível das fontes geradoras e dos locais de uso e o mais distante de áreas residenciais e centrais, para não sobrecarregar o tráfego circunvizinho;
- b) custos de transporte entre: o local de geração e a usina, o local de consumo e a usina, o local de geração e o aterro sanitário;
- c) quantidade e qualidade do RCD possível de ser reciclado e a aplicação que se pretende para o mesmo;
- d) projeto, lay-out e eficiência da unidade recicladora;
- e) mão-de-obra especializada necessária;
- f) custos de equipamentos e despesas gerais.

De acordo com Wilburn e Goonan (1998, p.7), as usinas de reciclagem necessitam de medidas de redução de poeira e ruído. Com a finalidade de minimizar ou eliminar os impactos ambientais, Lima (1999, p.34) cita as seguintes medidas compensatórias:

- a) plantação de cerca viva no entorno da usina, ajudando a conter a poeira e o ruído e melhorando a imagem do local;
- b) cobrimento do piso da usina com material reciclado, que quando compactado ajuda a diminuir o pó gerado pelo tráfego dos veículos;
- c) revestimento do britador com manta anti-acústica e dos locais de impacto com manta de borracha para reduzir a emissão de ruído;
- d) redução das alturas de descarga dos materiais nos pontos de transferência;
- e) instalação de aspersores de água nos pontos de entrada e saída de materiais para reduzir a emissão de pó.

O projeto de instalações de britagem deve atentar para aspectos de simplificação, flexibilidade, segurança e lay-out. A redução do número de máquinas é sempre vantajosa, utilizando-se uma máquina maior em lugar de duas menores, além de que o projeto deve atender a eventuais alterações, como expansão ou mudança de granulometria, sem necessidade de modificações dispendiosas (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-04). Nesta linha, Wilburn e Goonan (1998, p.8 à 10) apontam os seguintes aspectos técnicos a serem observados:

- a) quantidades de produção: a escolha dos produtos e suas quantidades a serem produzidas devem refletir as condições de mercado para sua absorção;
- b) projeto operacional: com o intuito de maximizar a eficiência e o desempenho da usina de reciclagem, deve-se considerar o projeto e o lay-out de operação, a capacidade de produção e o tamanho dos equipamentos, utilizando-se plantas com maior capacidade de produção para a reciclagem de resíduos de concreto;
- c) mão-de-obra: menos de dez funcionários são suficientes para operar uma usina de reciclagem, representando de 20 a 30% dos custos de operação;
- d) características do material: a qualidade do material a ser processado afeta os produtos, a eficiência da usina e o número de funcionários necessários. Os resíduos de concreto contêm madeira, alumínio e plástico que devem ser removidos manualmente, aumentando os custos de mão-de-obra;
- e) especificação dos produtos reciclados: os agregados produzidos devem atender às especificações para os fins aos quais se destinam.

4.1 TIPOS DE PLANTAS PARA BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

O beneficiamento de RCD pode ser feito em plantas com diferentes características em relação à sua instalação, podendo ser fixas, semi-móveis e móveis.

4.1.1 Plantas fixas

As instalações fixas são empregadas em empreendimentos de localização definitiva, tais como pedreiras, minerações e fábricas de cimento (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-02). De acordo com Cairns et al. (1998, p.375) as principais vantagens deste tipo de planta de reciclagem são a possibilidade de obtenção de produtos reciclados mais diversificados e de melhor qualidade que os produzidos pelas plantas móveis e, em segundo lugar, a possibilidade de utilização de equipamentos maiores e mais potentes que possibilitam melhor processo de britagem, retirada de impurezas e peneiramento que os equipamentos utilizados em plantas móveis. Como desvantagens, este tipo de planta necessita de altos investimentos e de disponibilização de grande área, cerca de 50.000 m², para instalação da planta de processamento. No entanto, de acordo com as usinas de reciclagem visitadas, conforme descrito no item 6.2.1.4 e quadro 7, uma área inferior à 20.000 m² é suficiente.

4.1.2 Plantas semi-móveis

As instalações semi-móveis, em virtude de sua facilidade, rapidez e economia de montagem, são empregadas em empreendimentos de médio prazo, com tempo de montagem limitado, tais como, instalações para barragens hidrelétricas e pedreiras para construção de estradas (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-02). As principais características das instalações semi-móveis são a sua construção sobre bases de estrutura metálica, a baixa altura (facilita a montagem e manutenção e diminui o comprimento das correias transportadoras intermediárias) e a simplicidade de instalação (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.9-02 e 9-03). Conforme Nortec (2004), deve-se evitar construções civis nos locais de implantação da usina, pois os gastos envolvidos são muito altos e as estruturas construídas não são reutilizáveis.

4.1.3 Plantas móveis

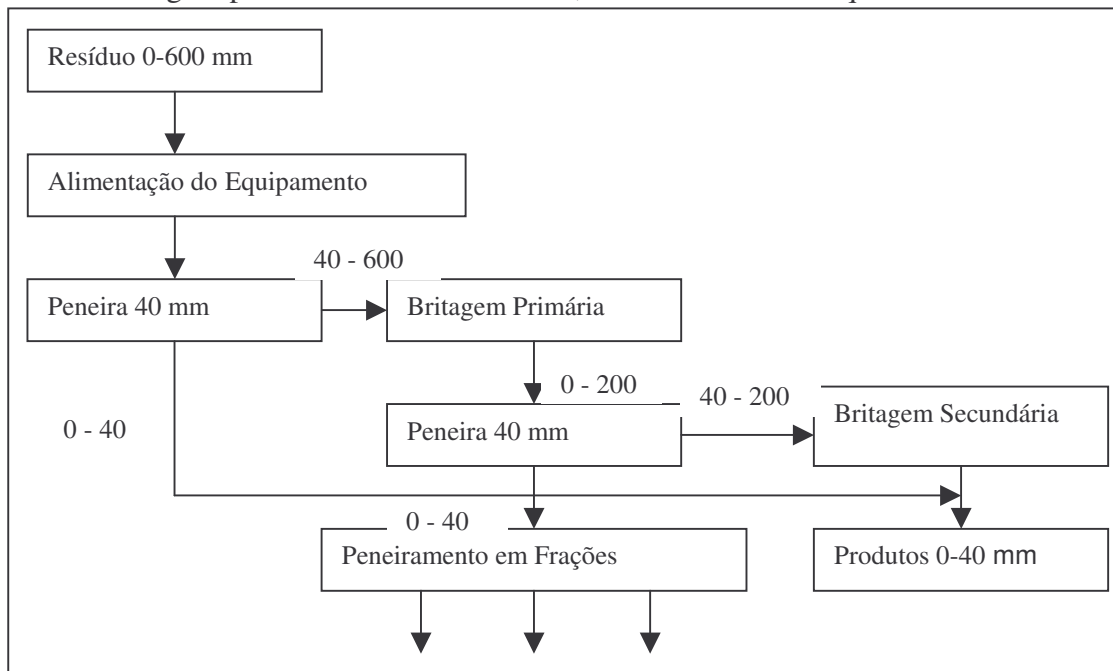
As instalações móveis são indicadas para os empreendimentos que requerem mobilização constante e tempo mínimo de montagem. Eliminam os inconvenientes e os custos das sucessivas montagens, desmontagens e transporte. São comumente empregadas em serviços de manutenção de estradas, prospecção geológica e exploração de jazidas espalhadas em uma determinada área (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-02). Segundo Müller e Winkler (1998, p.109), as plantas estacionárias podem produzir agregados de melhor qualidade, porém as plantas móveis são mais flexíveis. Além disto, as plantas móveis não necessitam obras civis, podendo ser relocadas facilmente, utilizam pouca mão-de-obra (4 operários), necessitam pouco tempo de instalação e desinstalação (aproximadamente 4 horas) e podem ser dispostas junto ao depósito do material a ser britado, diminuindo as distâncias de transporte do material de demolição até a planta de reciclagem. Estão disponíveis em vários tamanhos e tipos de sistemas de operação, podendo dispor de sistemas de britagem primário e/ou secundário e peneiramento (TURLEY, 1998a; TURLEY, 1998b; DRAKE, 2000; PIT & QUARRY, 2002a, PIT & QUARRY, 2002b). Conforme Nortec (2004), as plantas móveis utilizam equipamentos de pneus para transportes maiores e esteiras para locomoção no local de britagem. Também é interessante considerar a utilização de conjuntos mistos (semi móvel / móvel), podendo ser deslocáveis ou arrastáveis.

4.2 TIPOS DE PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO DE RCD

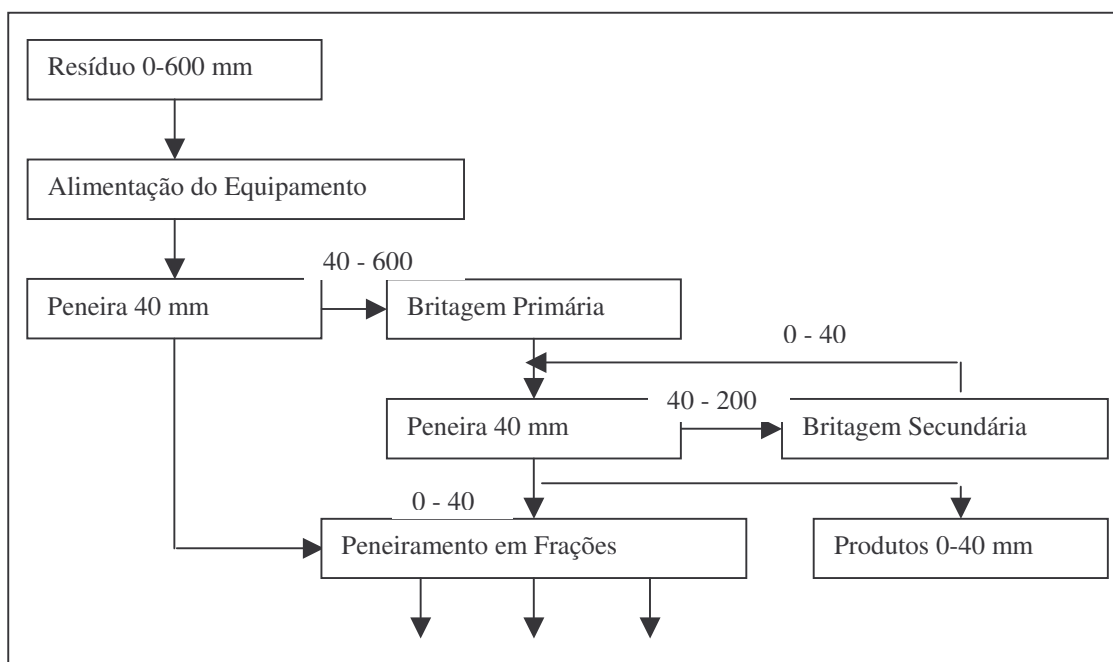
Os processos de beneficiamento de RCD classificam-se em primeira, segunda e terceira geração. O processo de primeira geração é o mais simples de todos pois a remoção dos contaminantes é realizada de maneira manual e os metais ferrosos são removidos por eletroímã (HANSEN, 1992, p.13). Já o processo de segunda geração incorpora procedimentos mais sofisticados de limpeza e triagem dos resíduos, e as plantas de terceira geração possuem equipamentos mais avançados para tal fim. No Brasil as plantas de reciclagem de RCD caracterizam-se por ser de primeira geração e, conforme Angulo (2000, p.23), são voltadas para a parcela inorgânica não-metálica destes resíduos, enquanto que nos Estados Unidos existe a reciclagem de outras parcelas dos resíduos, tais como metais e madeiras.

4.2.1 Primeira geração de plantas de processamento de resíduos

Uma planta de primeira geração caracteriza-se por possuir, além dos equipamentos convencionais de britagem, apenas dispositivos (ímãs magnéticos) para remoção de barras de aço e outros elementos metálicos (HANSEN, 1992, p.13; CARNEIRO, 2001a, p.156). O sistema britagem pode ser aberto ou fechado, como indicado nos quadros 1 e 2.



Quadro 1: sistema aberto (Boesman, 1985, apud Hansen, 1992, p.13)

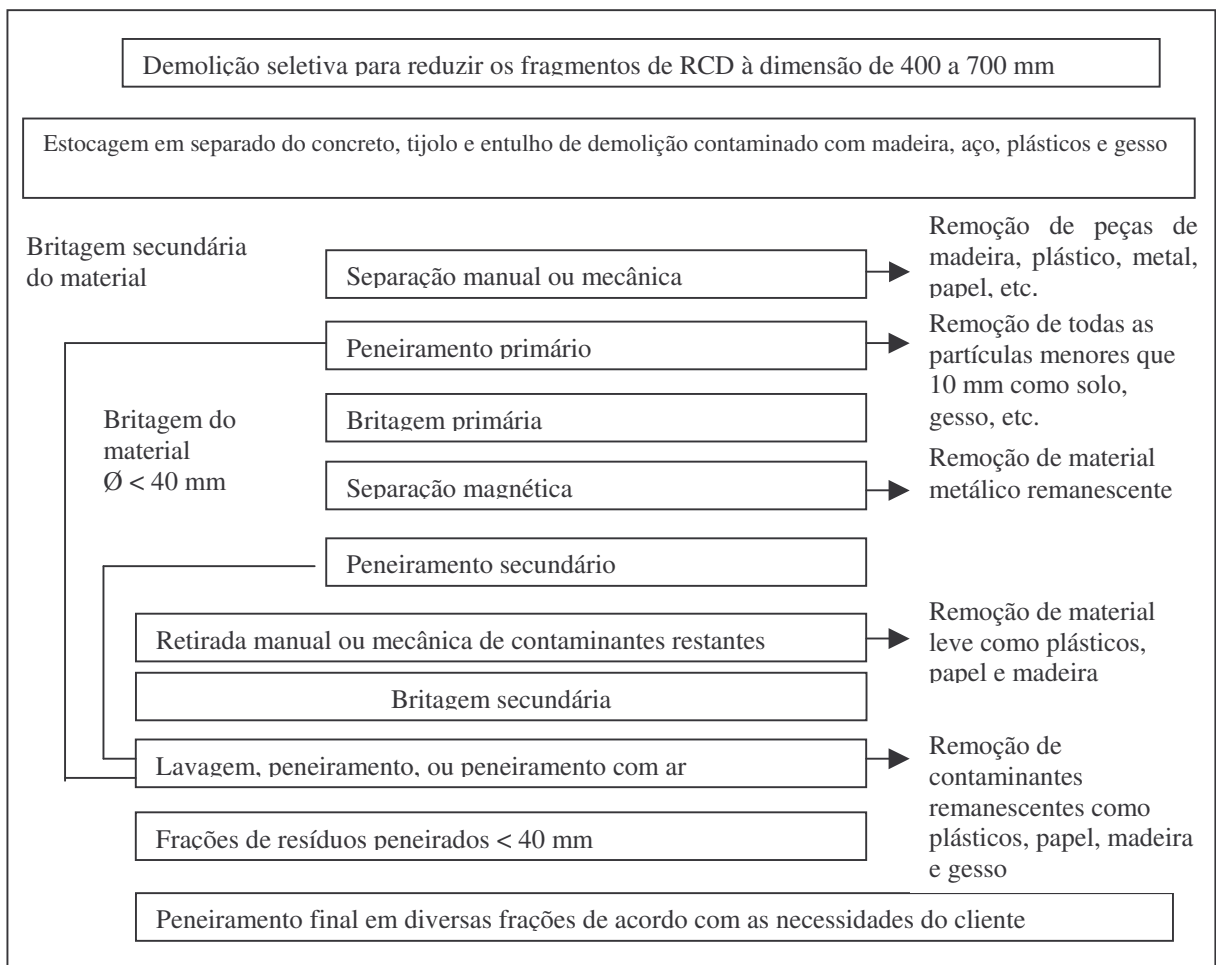


Quadro 2: sistema fechado (Boesman, 1985, apud Hansen, 1992, p.13)

No sistema fechado, após o peneiramento, o material não passante na peneira de maior abertura granulométrica, retorna para britagem, enquanto que no sistema aberto todo o material é estocado, de acordo com a sua granulometria, após o peneiramento. Segundo Quebaud (1996, apud LEITE, 2001, p.34) e Hansen (1992, p.13), em ambos os sistemas os resíduos devem estar livres de impurezas (madeiras, plásticos, papéis, vidros e terra). No sistema aberto, o produto final apresenta granulometria menos contínua e com menor definição do diâmetro máximo, porém possui maior capacidade que o sistema fechado, sendo mais vantajoso economicamente. No entanto, Nortec (2004) discorda desta afirmação.

4.2.2 Segunda geração de plantas de processamento de resíduos

O fluxo básico das plantas de segunda geração é apresentado na quadro 3.



Quadro 3: representação esquemática do funcionamento das plantas de processamento de RCD de segunda geração (HANSEN, 1992, p.15)

Nas plantas de segunda geração, as impurezas de maior dimensão (madeiras, metais, plásticos e papéis) são retiradas manual ou mecanicamente antes da britagem. Após a britagem, os resíduos são limpos e classificados por via seca ou úmida e a parcela menor que 10 mm é descartada, com a finalidade de se eliminar a possibilidade de uso de impurezas de tamanho reduzido, como gesso e terra. Após isto, é feita a britagem secundária e um novo peneiramento (HANSEN, 1992, p.14). De acordo Jungmann e Quindt (1998, p.46), o processo de separação do resíduo via úmida tem maiores benefícios que o processo de separação via seca, devido à menor quantidade de pó gerada, melhor separação e classificação, e o agregado obtido fica praticamente livre de impurezas orgânicas.

4.2.3 Terceira geração de plantas de processamento de resíduos

As plantas de terceira geração visam a remoção praticamente integral de todos materiais secundários considerados como contaminantes dos agregados reciclados (GEHO, 1997, apud CARNEIRO, 2001a, p.155). A eliminação de impurezas pode ser realizada por processos secos, úmidos ou térmicos, ou ainda por uma combinação destes. Pode-se utilizar equipamentos de separação e classificação, como separador magnético (para remover materiais ferrosos e metálicos), tanques de depuração por flutuação (para separar por densidade madeiras e plásticos), processos úmidos (utilizando jatos de água e imersão dos resíduos) e classificador por ar (para separar partículas leves e de densidades diferentes pelo escoamento de ar horizontal e vertical) (SCHULZ; HENDRICKS, 1992, p.178 a 180; PENG et al., 1997, p.53; QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999, p.3). Conforme Schulz e Hendricks (1992, p.178 a 180), outra possibilidade é a sinterização dos finos, que combinada com processo a seco permite a recuperação de 100% dos resíduos. Os procedimentos para eliminação de contaminantes em plantas de segunda e terceira geração encarecem o processo, podendo tornar inviável a reciclagem. Segundo Hansen (1992, p.14), neste tipo de planta, o material reciclado deve ser fornecido, processado e vendido sem a necessidade de transporte de grandes quantidades de material residual, tanto no ponto de geração do resíduo, como no de processamento. Para obtenção de agregados reciclados de melhor qualidade são necessários processos de gestão do resíduo pelo gerador que permitam a separação preliminar dos contaminantes durante a demolição (CARNEIRO, 2001a, p.156).

4.3 EQUIPAMENTOS PARA BENEFICIAMENTO DE RCD

Via de regra os equipamentos de reciclagem compõem-se de silos de recepção tipo calha vibratória, triturador, transportadores de correia, extrator de metais ferrosos e conjunto peneirador (BRITO FILHO, 1999, p.64). Além destes, também são necessários equipamentos para o espalhamento e carregamento do resíduo, como pá-carregadeira ou retro-escavadeira. O produto final de uma instalação de britagem é obtido através da seqüência ordenada de operações. Para se obter o máximo de rendimento dessa instalação é imprescindível a escolha adequada dos equipamentos para cada operação, determinados em função da quantidade e características do material a ser britado e do produto desejado (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-04). A seguir são listadas estas operações (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-05 a 8-10), detalhados os equipamentos existentes e registradas as observações feitas pelos fabricantes de equipamentos durante as visitas técnicas:

- a) alimentação primária: a alimentação dos britadores primários pode ser manual ou mecânica, sendo a manual usada somente em instalações pequenas;
- b) britagem primária: o britador primário é escolhido em função da capacidade e tamanho da boca de entrada e das características do material, empregando-se britadores de mandíbulas, giratórios ou de impacto. Segundo Figueira et al. (2004, p.131), a britagem primária é realizada a seco, sendo que os britadores operam em circuito aberto sem o descarte da fração fina da alimentação;
- c) pilha intermediária: comumente chamada de pilha pulmão, tem como objetivo regularizar o fluxo de linha de rebitagem e evitar parada completa da instalação por eventuais falhas na britagem primária;
- d) classificação intermediária: as peneiras intermediárias são empregadas principalmente em instalações pequenas e médias, sendo que as grelhas vibratórias são recomendadas em instalações médias e grandes;
- e) rebitagem: é realizada em vários estágios em função da granulometria do produto desejado. Para a primeira fase de rebitagem os rebitadores devem possuir grande boca de alimentação, para que o britador primário possa trabalhar com maiores aberturas de saída, sendo os mais empregados os de mandíbulas, giratórios, hydrocones, rebitadores de cone, e em alguns casos os britadores de impacto. Para os estágios intermediários a abertura de entrada é menor, impondo-se alimentação com tamanho máximo limitado e utilizando-se os rebitadores de cone, hydrocones e, em alguns casos, os de mandíbulas, trabalhando em circuito fechado. Na rebitagem fina são empregados os rebitadores de cone, hydrofines, de rolos e os moinhos de martelos;
- f) peneiras classificadoras: os tipos mais empregados são as vibratórias inclinadas, vindo a seguir as vibratórias horizontais e por último as rotativas;

- g) correias transportadoras: são elementos de ligação e transporte;
- h) estocagem: pode ser utilizada a estocagem em silos, em pilhas ou mista. A estocagem em silos é empregada em pequenas instalações e a estocagem em pilhas é utilizada em médias e grandes instalações, permitindo estocar grande quantidade de material com pequeno investimento.

4.3.1 Alimentadores

Os alimentadores são equipamentos utilizados para alimentação de britadores primários, retomada de materiais sob silos e pilhas, alimentação com dosagem de rebitadores e moinhos, entre outras (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.1-01). Os principais tipos de alimentadores são o alimentador vibratório (apoiado ou suspenso) e a calha vibratória, sendo descritos a seguir. Além destes também existem os alimentadores de sapatas, de gavetas e de correias. Os alimentadores vibratórios apresentam capacidade de alimentação desde 15 m³/h até 250 m³/h e potência instalada desde 5 CV até 30 CV.

O alimentador vibratório é empregado na alimentação de britadores primários e de transportadores de correia, no transporte de materiais grandes para a alimentação de britadores e na retomada de materiais graúdos. Compõe-se basicamente de uma mesa vibratória revestida com placas de desgaste de aço manganês, grelhas de trilhos com abertura regulável na parte final da mesa para separação prévia de fragmentos menores. Tem como vantagens alta segurança de funcionamento, pequena altura, separação prévia dos finos, bom controle da alimentação e manutenção fácil e de baixo custo. Caracteriza-se pela sua versatilidade, pois permite a variação de fluxo além de possuir um *grizzly*, conjugando as funções de pré-classificação e alimentação (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-05). A separação de materiais com granulometria inferior a 2 mm tem um custo operacional muito alto, porém reduz o teor de impurezas do agregado reciclado (MAQBRIT, 2004), sendo esta característica muito importante para a produção de agregados reciclados para concreto. Como desvantagens pode-se citar a alta potência instalada, não pode ser carregado diretamente, necessitando de um pré-silo, não pode ser usado para elevar o material e sua capacidade diminui com aumento de material argiloso, podendo tornar-se inoperante.

A calha vibratória é utilizada para alimentação de transportadores de correia e retomada de materiais de granulometria média de silos e pilhas pulmão. Proporciona fluxo uniforme do

material e uma melhor descarga das pilhas intermediárias ou do produto final. Tem como vantagens baixo custo, boa segurança de funcionamento, manutenção fácil e de baixo custo e pequenas dimensões, e como desvantagens difícil regulagem de fluxo, não pode trabalhar com materiais maiores que 10” (25 cm) e sua capacidade diminui com aumento de material argiloso, podendo tornar-se inoperante, da mesma forma que o alimentador vibratório.

4.3.2 Britadores

Conceitua-se britagem como a fase grosseira da cominuição de minerais (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-02), sendo que os britadores merecem atenção especial, pois são os equipamentos mais importantes em uma usina de britagem e determinam a maior parte das propriedades dos agregados produzidos.

Os equipamentos de britagem podem ser construídos em aço manganês, aços com liga cromo-molibdênio e ferro branco alto cromo. O aço manganês apresenta alta resistência ao impacto, é fabricado com especificações da norma ASTM-A 128 e destina-se a peças aplicadas em equipamentos submetidos a altos impactos, onde se exige resistência mecânica e maleabilidade, tais como mandíbulas e cunhas para britadores, mantos e revestimentos para britadores cônicos e giratórios, barras para britadores de impacto, martelos para britadores primários e placas de revestimento para moinhos. O aço com liga cromo-molibdênio possui alta resistência ao desgaste e obedece à norma ASTM-A 148. É indicado para aplicações que exigem boa resistência a abrasão com impactos moderados, tais como placas de revestimentos, divisórias e grelhas para moinhos de bolas/barras, anéis de moagem e cilindros para moinhos de rolos. O ferro branco alto cromo tem ótima resistência ao desgaste por abrasão e baixa resistência ao impacto e atende à norma ASTM-A 532. É utilizado em placas de revestimentos, divisórias e grelhas para moinhos de bolas/barras e revestimentos para britadores verticais de impacto (FURLAN, 2004b; SANDVIK, 2004). Os principais tipos de britadores são os de mandíbulas e giratórios e os rebritadores hidráulicos, de cones e de rolos.

4.3.2.1 Britador de mandíbulas

Os britadores de mandíbulas fraturam o material por esmagamento das partículas. São dotados

de uma câmara de britagem onde o material é literalmente mastigado por mandíbulas (OFFERMANN, 1986, apud LEVY, 1997, p.40). A quebra do material ocorre pela ação da força de compressão, aplicada através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície de britagem móvel contra outra fixa (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-02). Existem britadores primários de um e de dois eixos. Os primeiros são utilizados em britagem primária para pequenas e grandes pedreiras. Já os britadores de dois eixos são indicados para britagem primária de materiais extremamente resistentes, duros e abrasivos, em pedreiras e minerações, caracterizando-se pelo baixo consumo de peças de desgaste. Conforme Metso (2005), o britador de mandíbulas apresenta uma operação simples e barata para britagem de material argiloso (telhas, tijolos e ladrilhos), pois este tipo de material tem baixa dureza e boa britabilidade. Suas vantagens são (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-09):

- a) alta produção, apesar de apresentarem menor produtividade que os britadores de impacto (PINTO, 1997, p.33);
- b) produto uniforme: o perfil da mandíbula escolhido de acordo com o material britado, garante um produto com granulometria uniforme, mínima porcentagem de lamelas e com forma angular (HANSEN, 1992, p.17; BAZUCO, 1999, p.18). Já Nortec (2004) indica que não é consenso que os britadores de mandíbula produzam material lamelar e, outros autores (LIMA, 1999, p.30; BRITO FILHO, 1999, p.64; MAQBRIT, 2004; TECTRIX, 2004; PINTO, 2004b) apontam que os grãos obtidos apresentam-se muito lamelares e com linhas de fratura muito pronunciadas. Segundo Figueira et al. (2004, p.132), os britadores de mandíbulas não são adequados para materiais com tendência a produzir partículas lamelares e Metso (2005) indica que não corrigem a forma do produto, tendendo a produzir material ainda lamelar. Desta forma conclui-se que a tendência de produzir agregados lamelares depende muito das características da matéria-prima e não do equipamento. Hansen (1992, p.17) e Offermann (1986, apud LEVY, 1997, p.40) indicam que estes equipamentos proporcionam uma distribuição granulométrica dos agregados adequada para o uso em concreto e Pinto (2001, p.88) indica a necessidade de associação de outro equipamento para britagem secundária. Conforme Maqbrit (2004), a associação de britadores de mandíbula e martelo tem maiores custo de operação, de manutenção e consumo de energia, no entanto é necessária para produção de agregados para concreto. Schulz e Hendricks (1992, p.176 a 178) também apontam a necessidade do resíduo de alvenaria ser rebitado por britadores em série ou pelo mesmo britador para obter-se agregados de granulometria adequada para produção de concreto.
- c) regulagem simples e rápida;
- d) baixo custo de operação e manutenção (LIMA, 1999, p.31; METSO, 2005);

- e) alta resistência mecânica: possui eixos forjados em aço especial, mandíbulas em aço manganês austenítico e carcaças em aço fundido, confirmado por Furlan (2004b). Conforme Piacentini (2004b) a carcaça é produzida em aço 1020, o eixo em aço cromo-níquel e as mandíbulas em aço manganês.

Uma das desvantagens da utilização destes britadores é que necessitam de rebitagem em moinhos de martelo ou britadores de mandíbula de pequeno porte, aumentando o consumo de energia (LIMA, 1999, p.30; ANGULO, 2000, p.26; PINTO, 2004b). Esta rebitagem aumenta o custo do processo, ou impõe seu uso somente em recicladoras em que o material não é rebitado (LIMA, 1999, p.30). Não há um consenso em relação ao fator de redução deste tipo de equipamento. Enquanto alguns (PINTO; 2004b; METSO, 2005), indicam relação de redução de 3:1 (miúdos:grãos), outros (ANGULO, 2000, p.26; TECTRIX, 2004) indicam relação de redução 4:1. Já Figueira et al. (2004, p.132) apresentam relação de redução em torno de 5:1 e Furlan (2004) de 8:1. Segundo Hansen (1992, p.19) estes britadores produzem apenas 20% de finos abaixo de 4,8 mm e conforme observa-se na tabela 5, que apresenta suas curvas granulométricas, a produção de areia é somente 9%, alterando-se a APF (abertura posição fechada) para 25 mm, a produção de areia aumenta para aproximadamente 14%.

Tabela 5: percentual de granulometria dos agregados produzidos para britadores de mandíbulas com APF de 50 mm

Material	Dimensão mínima (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fabricante			Média
			Pricemaq	Piacentini	Furlan	
Porcentagem produzida (%)						
Brita 3	25		65	67	62	65
Brita 2	19	25	7	5	9	7
Brita 1	9,5	19	13	13	12	13
Brita 0	4,8	9,5	6	6	17	7
Areia		4,8	9	9		9

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

Outra desvantagem apontada por Lima (1999, p.30) e Brito Filho (1999, p.64) é que a presença de resíduos metálicos e de madeira de maiores dimensões podem provocar a quebra do eixo do britador, caso não disponham de dispositivo de alívio (ITEC, 1995 apud PINTO, 2001, p.88). Metso (2005) aponta que este dispositivo funciona através de sistema hidráulico que é acionado quando há a presença de material não britável dentro da câmara de britagem, fazendo com que a mandíbula recue, evitando sua quebra. Indica também que os materiais não britáveis, como madeira e plásticos, promovem o entupimento da câmara de britagem,

diminuindo a produtividade. Além disto, Lima (1999, p.30) também aponta a alta emissão de ruído deste tipo de equipamento. Outro aspecto importante é que há disponibilidade de compra e venda de britadores de mandíbulas usados no mercado nacional, enquanto que o mesmo não ocorre com os britadores de impacto (NORTEC, 2004; METSO, 2005). O uso dos britadores de mandíbulas é indicado para usinas com capacidade de até 40 t/h, pois possuem boca de entrada maior do que os britadores de impacto de mesma capacidade (METSO, 2005). Na tabela 6 são apresentados dados de produção de britadores de mandíbulas.

Tabela 6: dados de produção de britadores de mandíbulas com abertura de saída na posição fechada (APF) de 50 mm

Fabricante	Modelo	Capacidade de Produção (ton/h) (1) (m ³ /h) (2)	Tamanho da boca de entrada (mm)	Peso (kg)	Potência instalada (unidade indicada)	Potência / Capacidade de Produção (kW.h / ton)
SANDVIK	806 HD	75 a 110 (1)	800 x 550	9.850	50 kW	0,54
	907 HD	85 a 115 (1)	900 x 650	13.200	75 kW	0,75
PIACENTINI	BM 400	11 a 14 (2)	400 x 250	2.850	20 cv	0,74
	BM 500	21 a 26 (2)	500 x 300	4.700	25 cv	0,49
	BM 600	20 a 28 (2)	600 x 400	9.800	50 cv	0,96
PRICEMAQ	4230	12 (2)	420 x 300	3.200	25 hp	0,97
	4535	15 (2)	450 x 350	3.900	25 hp	0,78
	6240	25 (2)	620 x 400	6.800	40 hp	0,75
	4575	35 (2)	450 x 750	11.000	75hp	1,00
FURLAN	JC 8060	45 a 57 (2)	800 x 550	10.000	75 cv	0,67
	JC 9070	47 a 60 (2)	900 x 650	13.000	100 cv	0,86

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

4.3.2.2 Rebritador de mandíbulas

Como citado anteriormente uma desvantagem do uso de britadores de mandíbulas é a necessidade de rebitagem do material. Este processo pode ser feito por rebitadores de mandíbulas, que são equipamentos mais empregados na primeira fase da rebitagem de instalações pequenas e médias, devido à sua robustez, facilidade de operação e manutenção. Possuem grande abertura de entrada, permitindo que os britadores primários trabalhem com maiores aberturas de saída, com melhor aproveitamento de suas capacidades de produção e fornecem materiais mais uniformes para as fases posteriores de rebitagem (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-16). É comum na britagem secundária o descarte prévio da fração fina na

alimentação (operação chamada de escalpe), com a finalidade de aumentar a capacidade de produção (FIGUEIRA, 2004, p.137). Conforme Furlan (2004a), os britadores de mandíbulas secundários apresentam taxa de redução de 6:1 à 8:1 e os britadores de mandíbulas terciários apresentam taxa de redução de 4:1 à 6:1. As principais características construtivas são a alta produção (alcançam produções mais elevadas de brita de tamanho médio), redução uniforme do material (propiciam alimentação regular à britagem terciária), regulagem eficiente, alta resistência mecânica (possui eixos forjados em aço especial, mandíbulas em aço manganês austenítico e carcaças em aço fundido) e baixo custo de manutenção (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-16). Na tabela 7 e 8 são apresentados dados técnicos de rebitadores de mandíbulas.

Tabela 7: dados técnicos de rebitadores de mandíbulas com abertura de saída na posição fechada de 25 mm

Fabricante	Modelo	Capacidade de Produção (m ³ /h)	Tamanho da boca de entrada (mm)	Peso (kg)	Potência instalada	Potência / capacidade de produção (kW.h / ton)
PIACENTINI	8013 R	10 a 13	800 x 130	3.750	25 cv	1,00
	9028	17 a 23	900 x 280	6.800	50 cv	1,15
FURLAN	RM 9026	20 a 30	900 x 260	6.350	50 cv	0,92
PRICEMAQ	3020	6	300 x 200	1.800	15 hp	1,17
	4230	8	420 x 300	3.200	25 hp	1,46
	4535	10	450 x 350	3.900	25 hp	1,17
	6240	15	620 x 400	6.800	40 hp	1,24

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

Tabela 8: percentual de granulometria dos agregados produzidos para rebitadores de mandíbulas com APF de 25 mm em circuito aberto

Material	Dimensão mínima (mm)	Dimensão máxima (mm)	Fabricante			Média
			Pricemaq	Piacentini	Furlan	
Porcentagem produzida (%)						
Brita 3	25		40	50	35	42
Brita 2	19	25	15	8	15	13
Brita 1	9,5	19	20	19	25	13
Brita 0	4,8	9,5	10	8	11	10
Areia		4,8	15	14	14	14

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

4.3.2.3 Britador giratório

Os britadores giratórios primários são indicados para serviços extra-pesados de britagem primária. Já os britadores giratórios secundários são usados entre o britador primário, de mandíbulas ou giratórios, e os rebitadores de cone ou hydrocone. A grande boca de alimentação oferece menor possibilidade de engaiolamento, permitindo que o primário trabalhe com maior abertura de saída e aproveitamento total de sua capacidade. O ângulo agudo da câmara de britagem aliada à sua grande superfície, permitem regulagens precisas necessárias à britagem secundária, além de fornecer produtos mais cúbicos e bem graduados, com desgaste uniforme dos revestimentos ao longo da câmara de britagem (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-21 e 2-23). Já Bazuco (1999, p.18) aponta o formato mais arredondado das partículas.

4.3.2.4 Rebitadores hidráulicos

Existem dois modelos de rebitadores hidráulicos, os rebitadores hydrocone e os rebitadores hydrofine. Os primeiros apresentam alta produtividade e baixo custo operacional. São empregados normalmente nas fases secundária e terciária de rebitagem (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-27). Suas principais características mecânicas são eixo principal protegido contra desgaste por camisa substituível, câmara de britagem para cada serviço específico, operação silenciosa, longa durabilidade e grande abertura de saída, permitindo fluxo livre do produto (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-29). Tem como limitação o tamanho máximo de alimentação, que deve ser sempre inferior a 80% da abertura da boca de entrada (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-32). Os britadores hydrocone apresentam capacidade de produção desde 20 até 75 m³/h. Já os rebitadores hydrofine são projetados para a produção de finos, sendo especialmente indicados para produção de areia artificial, com propriedades consideradas superiores às da areia natural, e para alimentação dos moinhos de barras e de bolas. A granulometria do produto não é definida em função da abertura de saída como nos outros britadores, mas pela regulagem feita através da pressão exercida pelo cone sobre o material (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-39).

4.3.2.5 Rebritadores de cones

Conforme Levy (1997, p.40), o britador de cone utiliza somente material previamente britado, que chegando à câmara de britagem é esmagado contra as paredes de um cone. De acordo com Furlan (2004b), este equipamento é muito utilizado para britagem secundária e terciária, processando apenas materiais com diâmetro máximo de 200 mm. Estes equipamentos produzem grãos cúbicos, todavia, reduzem bastante a fração de agregados de maiores dimensões, dando origem a uma maior quantidade de finos (BRITO FILHO, 1999, p.65; FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-49). De acordo com Maqbrit (2004) os rebritadores de cones não são indicados para reciclagem de RCD pois são mais sensíveis a materiais metálicos, diminuindo conseqüentemente a produtividade, exigindo maiores cuidados com lubrificação e controle.

Suas principais características construtivas são instalação simples, dispositivo de alarme e segurança, sistema de lubrificação, sistema de tração direto por correias, regulagem simplificada, sistema de mola de alívio e grande capacidade de produção. No entanto devem ter cuidados operacionais, tais como: a alimentação da máquina não deve ter finos menores que a abertura de saída, o tamanho máximo de alimentação deve ser inferior a 80% da abertura da boca de entrada, o revestimento usado deve ser adequado ao tamanho da pedra na alimentação e o cone deve trabalhar com carga total, pois a britagem com a câmara não totalmente cheia pode originar produto lamelar (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-49 a 2-56).

4.3.2.6 Rebritadores de rolos

Os rebritadores de rolos são especialmente destinados à produção de finos. A redução do material depende da abertura entre os rolos e do tipo de revestimento usado, ficando no máximo na proporção de 1:3. Britam facilmente materiais contendo finos e úmidos, que são difíceis para outros tipos de rebritadores. Têm como principais características construtivas a transmissão pelo sistema de correias em V, possibilitando a absorção de eventuais choques e sistemas de molas de alívio no caso de entrada de corpos estranhos ou sobrecargas. A sua alimentação deve ser de materiais previamente peneirados, com tamanho máximo limitado (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.2-60 e 2-61). O tamanho do material deve ser no máximo até três vezes maior que a abertura entre rolos, considerando rolos lisos, e seus rolos possuem

revestimento de aço manganês (FURLAN, 2004b). Os moinhos de rolos apresentam capacidade de produção de 1,5 m³/h até 5 m³/h e potência instalada de 6 CV até 15 CV. Na tabela 9 são apresentados dados sobre sua curva granulométrica.

Tabela 9: percentual de granulometria (%) dos agregados produzidos para moinhos de rolos da empresa FURLAN

Dimensão mínima (mm)	Dimensão máxima (mm)	Abertura dos rolos	
		10	6
4,5		62	32
3	4,5	16	23
1,4	3	9	20
0,8	1,4	6	11
	0,8	7	14

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

4.3.3 Máquinas de impacto

Ao contrário dos britadores de mandíbulas, as máquinas de impacto realizam a britagem através do choque do material contra as paredes fixas e peças móveis do equipamento. Os principais tipos são o britador de impacto, moinhos de martelos, VSI e moinho de bolas.

4.3.3.1 Britador de impacto

O britador de impacto pode ser utilizado em britagem primária ou secundária. Possui câmara de impacto na qual o material é britado através do choque de barras maciças fixadas por um rotor e pelo choque com placas fixas (LIMA, 1999, p.30). Deve ser utilizado com materiais de baixo índice de abrasão (calcário, dolomita e carvão), podendo ser utilizado com materiais duros como granito e basalto, porém com custo operacional maior que das instalações convencionais. Possui ampla câmara de impacto que permite britagem de grandes blocos (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.3-01 e 3-02). Conforme Nortec (2004) e Tectrix (2004), são construídos em aço manganês A128 ou aço cromo. Também pode ser utilizado uma liga de ferro branco com alto teor de cromo (MAQBRIT, 2004).

Suas principais características são a alta produtividade, produção de materiais cúbicos com boas características mecânicas (devido à ruptura por impacto, que induz as partículas de RCD a romperem-se nas linhas naturais de ruptura do material) e alta percentagem de finos com fator de redução de 10:1 (miúdos:gráudos), podendo dispensar a rebitagem (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.3-01; METSO, 2005; PIACENTINI, 2004a; PINTO, 2004b; LIMA, 1999, p.30). Conforme Tectrix (2004), a taxa de redução é de 8:1 à 16:1 e o consumo de potência entre 0,9 à 1,2 kW/ton. Segundo Levy (1997, p.40) e Maqbrit (2004), os britadores de impacto apresentam vantagens como robustez, baixa emissão de ruído e fornecem agregados com distribuição granulométrica mais adequada para obras rodoviárias e de pavimentação, sendo considerados os melhores equipamentos para produção de agregados para pavimentação (ITEC, 1995 apud PINTO, 2001, p.88). Além disto, os britadores de impacto possuem menor sensibilidade aos materiais que não podem ser moídos, como madeira e barras de aço (LEVY, 1997, p.40; QUEBAUD, 1996, apud LEITE, 2001, p.38; MAQBRI, 2004; PINTO, 2004b; METSO, 2005) e, segundo Metso (2005), aceitam materiais não britáveis, tais como, plástico, papelão e borrachas. Maqbrit (2004) aponta também que o britador de impacto tem menor consumo de energia, é mais versátil e apresenta melhor resultado com RCD.

Segundo Hansen (1992, p.17), Figueira (2004, p.136) e Metso (2005), o britador de impacto apresenta um maior custo de operação e manutenção devido ao alto desgaste, maior quantidade e troca mais morosa das peças de desgaste, não sendo aconselhável para rochas abrasivas com teor de sílica equivalente maior que 15%. No entanto, Maqbrit (2004) aponta que o britador de impacto apresenta manutenção mais simples, sendo mais econômico quando se utiliza uma única britagem. Metso (2005) também aponta que os britadores de impacto de pequena capacidade possuem boca de entrada e rotor pequenos, limitando o tamanho do material a ser britado. Os britadores de impacto apresentam uma grande gama de capacidade de produção e potência instalada.

4.3.3.2 Britadores V.S.I. (Vertical Shaft Impactor)

O britador de impacto vertical pode produzir partículas de formato cúbico ou arredondado, devido aos mecanismos que ocorrem no rotor e na câmara de britagem do britador: impacto, abrasão e atrição. Parte do material vai para o interior do rotor, que é projetado a altas velocidades, e outra parte do material passa por fora do rotor na forma de cascata, ocorrendo

então a colisão das duas partes do material, caracterizando um processo autógeno de cominuição (FIGUEIRA, 2004, p.139). São utilizados para produção de finos, tendo como vantagens a melhor forma do produto, o controle da britagem (permitindo ajuste da curva granulométrica), o fornecimento de agregado miúdo com granulometria constante (mínima variação na curva granulométrica e na qualidade do produto) e o peneiramento via seca ou via úmida (SANDVIK, 2004). No entanto seu custo de aquisição é muito elevado. A capacidade de produção dos britadores VSI varia em função da granulometria de alimentação e estes equipamentos exigem grande potência instalada.

4.3.3.3 Moinhos de martelos

Os moinhos de martelos são projetados para moagem de materiais de baixa abrasividade. São empregados principalmente na moagem de calcários e dolomitas, material cerâmico, refratário, carvão mineral e vegetal e outros materiais pouco abrasivos (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.3-04). A redução do material se dá principalmente pelo impacto com os martelos girando a alta velocidade e pela colisão do material arremessado pelos martelos contra as placas de impacto, esmagando o material. O sistema de ruptura dos grãos é semelhante ao do britador de impacto. São construídos em aço manganês ou aço cromo (NORTEC, 2004; FURLAN, 2004b), ou aço A36 com revestimentos internos em aço manganês (PIACENTINI, 2004b), ou ainda em liga de ferro branco com alto teor de cromo (MAQBRIT, 2004). Também são conhecidos como moinhos de cilindros rotativos. Segundo Offermann (1986, apud LEVY, 1997, p.40), Nortec (2004) e Pinto (2004b), são pouco utilizados pois geram grande quantidade de finos, com relação de redução 10:1, e apresentam alto consumo de energia elétrica. Porém, para produção de areia de RCD, seu uso deve ser estudado. Na tabela 10 são apresentados dados técnicos deste equipamento e na tabela 11 a curva granulométrica.

De acordo com Lima (1999, p.31), este equipamento é utilizado em conjunto com britador de mandíbula como britador secundário, pois apresenta boca de entrada relativamente pequena e produz alta porcentagem de miúdos. É dotado de grelha na saída, que impede que o material mais grosso saia da câmara de impacto, podendo ser retirada para aproveitar a produção de material de maior granulometria. Conforme Maqbrit (2004), o moinho de martelo é indicado na rebitagem para redução da lamelaridade do agregado reciclado e para redução da granulometria, porém exige maior potência e tem maior desgaste das peças.

Tabela 10: dados de produção de moinhos de martelos para abertura das grelhas de 5 mm

Fabricante	Modelo	Alimentação	Dimensões da boca de entrada (mm)	Capacidade de Produção (ton/h)	Peso (kg)	Potência instalada
IMETEC	MCF 40	2"		4 a 8	1.350	50 cv
	MCF 85	2"		8 a 15	2.400	100 cv
PIACENTINI	MM 75232	50 a 60 mm	170 x 775	8 a 15	2.170	75 a 175 cv
	BJ 304 D	50 a 60 mm	155 x 775	8 a 15	2.200	75 a 175 cv
PRICEMAQ	MDM 6040	3 ½"		9	1.000	50 hp
	MDM 6060	4		13	1.300	75 hp
FURLAN	MM60F	75 mm	125 x 660	14,5	1.350	75 a 100 cv

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

Tabela 11: percentual de material passante para abertura da grelha de saída de 5 mm e 8 mm em moinhos de martelos

		% Passante na malha		
Abertura da grelha (mm)		5	8	
Fabricante		IMETEC	FURLAN	IMETEC
Malha (mm)	4,8		100	
	3,35		95	
	1,7	92,9	80	80
	1,2		65	
	0,84	74,8	52	60,5
	0,6		40	
	0,3	37,1	29	32
	0,15	29,4	18	20,3
	0,075	25,9	13	14,6

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

4.3.3.4 Moinhos de Bolas ou de Barras (Tubulares)

Pode-se definir moagem como um processo de cominuição, no qual o material é fragmentado, ou reduzido de tamanho, entre duas superfícies móveis que não possuem entre si qualquer sujeição mecânica. Os moinhos tubulares são basicamente cilindros rotativos revestidos internamente com placas de desgaste, dentro dos quais os corpos moedores (bolas ou barras) movem-se livremente, ao realizar o seu trabalho de cominuição sobre o material a moer. Estes corpos moedores são elevados pela rotação do moinho até uma determinada altura, caindo então sobre as placas de revestimento. A ação que motiva a quebra do material é o resultado

da combinação da queda dos corpos moedores sobre o revestimento do moinho, do escorregamento dos mesmos corpos sobre esse revestimento e, finalmente, do impacto ou escorregamento dos corpos moedores entre si. A ação de queda, chamada cascata, conforme a rotação do moinho, que é mais lenta durante a partida e mais rápida após a partida, provocando a quebra do material por impacto, enquanto a ação de escorregamento origina a moagem por atrito (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.4-02). Os circuitos de moagem podem ser aberto ou fechado e os processos de moagem podem ser via seca ou via úmida. Na moagem via úmida o material é misturado na entrada do moinho com uma quantidade suficiente de água para formar uma pasta. Suas vantagens são a facilidade de controle, a não necessidade de coletores de poeira e requer apenas 77% da potência necessária em via seca, porém o consumo dos corpos moedores e revestimentos é de 5 a 7 vezes superior (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.4-02 e 4-03).

Os moinhos tubulares são classificados a partir da natureza dos seus corpos moedores, sendo os principais tipos descritos a seguir (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.4-05 a 4-11):

- a) moinhos de barras: são aqueles utilizados para moagem grosseira, entre 4 a 35 mesh, ou seja, 4,8 e 0,3 mm. Podem ser empregados para produção de areia, tanto em via úmida como em via seca e são utilizados em circuito aberto. Toleram alimentação com granulometria máxima de 38 mm;
- b) moinhos de bolas: esta é a designação genérica dos moinhos tubulares que usam esferas de aço fundido ou forjado ou ainda ferro fundido como corpos moedores. Especificamente, são chamados moinhos de bolas aqueles que possuem uma só câmara de moagem, e que o comprimento útil da câmara é menor que o dobro do seu diâmetro. Podem ser usados para via úmida ou seca, e preponderantemente são utilizados em circuito fechado. São essencialmente unidades de moagem fina (fornecem material com 80% passante na malha 0,3 mm) e necessitam de alimentação com material inferior a 10 mm;
- c) existem ainda os moinhos compeb, moinhos ballpeb, moinhos rodpeb, moinhos autógenos e moinhos semi-autógenos.

4.3.3.5 Moinhos Argamassadeira

Este equipamento é dotado de uma caçamba de piso horizontal, duas pás raspadeiras e misturadoras, dois rolos moedores/misturadores e motor elétrico. Apresenta pequena capacidade de produção (em torno de 2 m³/h) e mói o resíduo de construção à medida que prepara argamassa para execução de alvenaria, revestimentos e enchimentos de piso.

4.3.4 Peneiras e grelhas

Durante o processo de peneiramento a camada de material tende a desenvolver um estado fluído, sendo que a classificação se dá através dos processos de estratificação e de separação. A estratificação é o processo que ocorre na camada de material, por efeito do movimento vibratório, sendo que as partículas menores, encaminham-se para a parte inferior da camada enquanto que as partículas maiores tendem a se deslocar na parte superior da camada. Já a probabilidade de separação é o processo das partículas introduzirem-se em aberturas e serem rejeitadas se forem maiores que a abertura ou passarem através dela, caso contrário. As partículas de tamanho (d) 1,5 vezes superior à abertura da malha (a) tem reduzida importância para o resultado do peneiramento, sendo que influem principalmente no desgaste e na energia consumida. As partículas de tamanho (d) 0,5 vezes inferior à abertura da malha (a) também tem reduzida importância para o resultado do peneiramento, pois atravessam com facilidade as telas. Já as partículas de tamanho (d) entre 0,5 e 1,5 vezes a abertura da malha (a), denominada classe crítica, determinam a eficiência e a capacidade, por dois motivos: as partículas de tamanho (d) entre 0,5 e 1,0 vez a abertura da malha (a) necessitam de várias tentativas para conseguir passar pela abertura da tela e as partículas de tamanho (d) entre 1,0 e 1,5 vezes a abertura da malha (a) obstruem grande número de aberturas de malhas antes de saírem da como material retido (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.5-02 e 5-03).

Um peneiramento é considerado comercialmente perfeito quando apresenta eficiência de 90% a 95%. Uma peneira trabalhando com ineficiência acarretará problemas como sobrecarga do circuito fechado de britagem e produtos fora de especificação. A vibração é produzida por mecanismos vibratórios, baseado em massas excêntricas com amplitude de 1,5 a 6 mm, operando em uma faixa de 700 a 1000 rpm. Para uma boa qualidade de separação é necessário ter-se uma relação correta entre amplitude e frequência, sendo desejável que a partícula ao deslocar-se sobre a superfície de peneiramento não fique parada sobre a mesma abertura e também não ultrapasse diversas aberturas (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.5-04 à 5-06).

As peneiras vibratórias são indicadas para classificação final, processos de lavagem e classificação intermediária. É sempre aconselhável a indicação de peneiras maiores que a área calculada, pois possibilita a mudança de granulometria e também oferece melhor qualidade de separação, importante quando a peneira é utilizada para fechar o circuito. Ademais, a presença de pedras lamelares e umidade dificultam o peneiramento. Além disto, o acréscimo de preço

de uma peneira é geralmente muito pequeno em relação ao valor total da instalação (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.8-09). Na tabela 12 são apresentados dados técnicos referentes a peneiras vibratórias.

Tabela 12: dados técnicos de peneiras vibratórias

Fabricante	Modelo	Dimensão da tela (mm)	Número de decks	Potência (unidade indicada)	Potência / Capacidade de Produção (kW.h/m ²)
FURLAN	PV-200100	2000 X 960	2	5,0 cv	0,96
	PV-300100	3000 X 960	3	7,5 cv	0,64
	PV-350120	3500 X 1160	4	12,5 cv	0,57
	PV-400150	4000 X 1460	4	20 cv	0,55
PRICEMAQ	25010/4A	2500 x 1000	4	5 hp	0,37
	30012/4A	3000 x 1200	4	12,5 hp	0,65
	40015/4A	4000 x 1500	4	25 hp	0,78
PIACENTINI	PVA 1030	3000 x 1100	4	7,5 cv	0,42
	PVA 1235	3500 x 1200	4	12,5 cv	0,55
	PVA 1540	4000 x 1600	4	15,0 cv	0,44

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

Já as grelhas vibratórias são usadas para alimentação de britadores e rebitadores onde a quantidade de pedras finas e terra é muito grande, permitindo um melhor aproveitamento dos equipamentos. Na tabela 13 são apresentados dados técnicos de grelhas vibratórias.

Tabela 13: dados técnicos de grelhas vibratórias

Fabricante	Modelo	Abertura entre grelhas (polegadas)	Capacidade de alimentação (m ³ /h)	Potência (CV)	Potência / Capacidade de Produção (kW.h / ton)
FURLAN	GV-250120	2 a 8	80 a 180	10	0,035
	GV-300150A	2 a 10	120 a 300	20	0,044

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

4.3.5 Transportadores de correias

Os transportadores de correia são compostos por roletes, tambores, acionadores, esticadores, estrutura metálica e acessórios. O rolete é composto por um conjunto de rolos geralmente cilíndricos e seu suporte. Os rolos são capazes de efetuar livre rotação em torno do seu eixo, e

são usados para suportar e/ou guiar a correia transportadora. Os tambores são elementos para transmissão, que podem ser de acionamento (para transmissão do torque), de retorno (servem para o retorno da correia), de dobra (utilizados quando é necessário um desvio no curso da correia), de encosto (para aumentar o ângulo de contato do tambor de acionamento) e esticador. Podem ainda ser classificados em lisos ou revestidos, e serem sub-divididos em planos, abaulados e nervurados. A principal função dos esticadores é garantir a tensão conveniente na correia para o seu acionamento, e também absorver as variações no comprimento da correia causadas por mudanças de temperatura, oscilações de carga, tempo de trabalho, etc. (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.6-02 à 6-12).

As correias transportadoras podem ter diversos acessórios, conforme o tipo de serviço a que se destinam. Entre os principais acessórios destacam-se a tremonha de carga (a qual permite uma distribuição perfeita de material, evitando qualquer escape de material, além de diminuir o desgaste da correia), o contra-recuo, os freios, a tremonha central (a qual é destinada ao carregamento em qualquer ponto do transportador), as guias laterais, as coberturas, a bica de descarga (utilizada para facilitar a descarga de material de um transportador para outros equipamentos), a passarela, a cascata (estrutura de descarregamento usada em pilhas de estocagem ou em transferência com altura elevada, minimizando o impacto e quebra do material ou segregação de partículas), os equipamentos para limpeza da correia (raspadores, limpadores, limpador de jato de água e virador de correia), os detectores de metais e a balança. Na tabela 14 são apresentados dados técnicos referentes aos transportadores de correias.

Tabela 14: dados técnicos de transportadores de correias

Fabricante	Modelo	Largura da correia (polegadas)	Capacidade de transporte (m ³ /h)	Distância de transporte (m)	Potência (CV)	Potência / Capacidade de Produção (kW.h / ton . m)
FURLAN	TC-16	16	60	10	3	0,0023
				25	5	0,0015
				40	7,5	0,0014
	TC-24	24	140	10	6	0,0020
				25	10	0,0013
				40	15	0,0012
	TC-42	42	400	10	15	0,0017
				25	25	0,0012
				40	40	0,0012

(fonte: Manuais técnicos dos fabricantes)

4.3.6 Lavadores

A lavagem tem por objetivo a remoção de materiais indesejáveis, principalmente argila e partículas super finas. É aplicada também na classificação de materiais finos e úmidos, cujo peneiramento é extremamente difícil sem o emprego da lavagem. O material de maior granulometria é lavado por lavagem direta nas peneiras vibratórias ou em lavadores de tambor (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.7-01 e 7-02). Os lavadores de rosca são destinados à lavagem e desaguamento de materiais de granulometria fina abaixo de 10 mm. São usados principalmente em usinas de areias ou em instalações de britagem e são projetados para satisfazer às exigências de granulometria na preparação de concreto e argamassa, onde as partículas super finas são prejudiciais a tais finalidades. Ainda existem os classificadores espirais, os lavadores de cascalho, os lavadores de tambor e os tanques classificadores, sendo estes últimos destinados ao desaguamento, ajuste de faixa granulométrica e classificação de areia (FÁBRICA... – FAÇO, 1985, p.7-11 e 7-13 a 7-17).

4.3.7 Outros equipamentos

Em uma usina de reciclagem de RCD existe a necessidade de redução das dimensões do resíduo que chega na usina. Para este fim existem equipamentos específicos que funcionam por acionamento hidráulico, podendo-se citar os seguintes (SANDVIK, 2004):

- a) rompedores hidráulicos: podem ser montados em equipamentos móveis ou sistemas estacionários de pedestal;
- b) tesouras trituradoras: usadas na demolição de concreto, cortes de vigas de aço e demolição de pontes. Possuem rotação livre de 360°. Oferecem maior produtividade e versatilidade em operações com restrições de espaço;
- c) pulverizadores: usados para reduzir o tamanho dos blocos de concreto e separar as barras de aço, facilitando a reciclagem após a demolição;

Para redução da emissão de pó há um canhão de névoa de fabricação italiana, chamado *Fog Cannon*, que opera em um raio de ação de 250 metros com abertura angular de 270°, cobrindo uma área de aproximadamente 130.000 m², utilizando água e tensoativos. Para aumento da dureza das chapas de aço pode-se revesti-las com deposição de ligas de alta dureza.

5 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Neste capítulo serão revistos os conceitos de matemática financeira, aonde são vistos definição de juros, relações de equivalência de capitais e os tipos de taxas de juros. Também são abordadas as técnicas de análise de investimentos. Estes conceitos são necessários para estabelecer a viabilidade econômica para implantação de uma usina de reciclagem de RCD.

5.1 REVISÃO DE MATEMÁTICA FINANCEIRA

Conforme Puccini (1998, p.5), pode-se definir juros como sendo o dinheiro pago pelo uso de dinheiro emprestado, ou seja, custo do capital de terceiros colocados à nossa disposição; ou ainda a remuneração do capital empregado em atividades produtivas ou, ainda, remuneração paga pelas instituições financeiras sobre o capital nelas aplicado. Outra definição de juros é apresentada por Souza e Clemente (1997, p.34) como sendo a remuneração paga pela imobilização do capital por um dado período de tempo. A taxa de juros pode ser vista como a remuneração de uma unidade de capital imobilizado ao longo de uma unidade de tempo. A escolha por um investimento está associada às expectativas de ganhos e aos riscos associados.

Segundo Puccini (1977, p.18), o capital inicialmente empregado, denominado principal, pode crescer devido aos juros segundo duas modalidades: juros simples e juros compostos. Nos juros simples só o principal rende juros ao longo da vida do investimento, enquanto que nos juros compostos após cada período os juros são incorporados ao principal e passam, também, a render juros. O período de tempo considerado é denominado de período de capitalização. Então o montante, para juros simples, é dado pela equação 1.

$$S = P \cdot (1 + i \cdot n) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

S: montante;

P: principal;

i: taxa de juros;
n: número de períodos.

Já para juros compostos, o montante é dado pela equação 2, sendo que o termo $(1 + i)^n$ é denominado fator de acumulação de capital.

$$S = P \cdot (1 + i)^n \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

S: montante;
P: principal;
i: taxa de juros;
n: número de períodos.

Transformando a equação 2, obtemos a equação 3, que nos dá o principal, sendo que o termo $1 / (1 + i)^n$, ou $(1 + i)^{-n}$, é denominado fator de desconto.

$$P = S / (1 + i)^n \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

S: montante;
P: principal;
i: taxa de juros;
n: número de períodos.

Define-se como taxa efetiva aquela em que a unidade de referência de seu tempo coincide com a unidade de tempo dos períodos de capitalização, apresentando, sem subterfúgios, o verdadeiro custo da operação financeira realizada. Já taxa nominal é aquela na qual o período em que a taxa está sendo referenciada não coincide com o período de referência de sua capitalização. Duas taxas de juros são ditas proporcionais, quando, ao serem aplicadas a um mesmo principal durante um mesmo prazo, produzirem um mesmo montante acumulado no final daquele prazo, no regime de juros simples. Já duas taxas de juros são ditas equivalentes quando, ao serem aplicadas a um mesmo principal durante um mesmo prazo, produzirem um mesmo montante acumulado no final daquele prazo, no regime de juros compostos

(PUCCINI, 1998, p.87 à 101). Outras relações de equivalência de capitais e relações de taxas efetiva e equivalente não são objeto deste trabalho e podem ser revistas na bibliografia citada.

5.2 CONCEITOS GERAIS

Para compreensão das técnicas de análise de investimento são revistos alguns conceitos, tais como: horizonte de planejamento, inflação, taxa mínima de atratividade (TMA), a diferenciação entre risco e incerteza e, finalmente, sistemas de amortização. Os conceitos de depreciação econômica, substituição de bens de capital, vida econômica e formação dos custos de capital, de operação e de manutenção não serão apresentados neste trabalho. No entanto estes princípios podem ser estudados em Souza e Clemente (1997).

5.2.1 Horizonte de planejamento

Os métodos de avaliação de investimento baseiam-se na comparação da magnitude do investimento com os ganhos líquidos esperados durante certo período de tempo, denominado horizonte de planejamento. Na verdade, quanto mais adiante no tempo se buscam estimar custos e receitas, mais imprecisas serão as estimativas, e quanto mais distantes no tempo estiverem tais custos e receitas, menores serão seus impactos sobre a avaliação que hoje se faz da oportunidade de investimento. O horizonte de planejamento será tanto mais curto quanto menor for a vida útil dos ativos fixos envolvidos e quanto menor for a capacidade financeira da empresa (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.24 e 25). A decisão de investimento envolve imobilização de apreciáveis quantidades de capital em ativos reais de pouca ou nenhuma liquidez, por períodos de tempo relativamente longos, ou conforme Ferreira e Andrade (2004, p.817), uso intensivo de capital e longo prazo de maturação. No caso de projetos com horizontes de planejamento diferentes, pode-se replicar os projetos até o mínimo múltiplo comum de suas vidas, atingindo desta forma o mesmo horizonte de planejamento para todos os projetos, ou ainda diminuir o horizonte de análise do projeto de maior horizonte de planejamento e redefinir seu valor residual (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.75).

5.2.2 Consideração sobre inflação

Conforme Galesne et al. (1999, p.31), os fluxos de caixa de um projeto podem ser montados em termos de valores correntes (ou nominais), que incluem a inflação sobre todos os componentes do fluxo de caixa, ou em termos de valores constantes (ou reais), isto é, valores que mantêm o poder aquisitivo ao longo do tempo. É importante tratar a inflação de uma maneira coerente, ou seja, todos os componentes do fluxo de caixa devem ser estimados ou em valores constantes ou em valores correntes. É importante salientar que, quando a inflação afeta de maneira diferenciada os componentes do fluxo de caixa do projeto, o fluxo de caixa deve ser estimado em valores correntes, sob pena de provocar graves distorções no cálculo do fluxo líquido de caixa do projeto e, conseqüentemente, na estimativa de seu valor.

5.2.3 Taxa Mínima de Atratividade

Na literatura financeira a taxa “i” do fator de desconto $(1 + i)^{-n}$ é encontrada com várias definições, tais como, taxa mínima de atratividade, taxa mínima de retorno, custo de capital, custo de oportunidade ou mesmo taxa de juros. No entanto, existem algumas diferenças entre cada uma destas definições. Este item do trabalho pretende discutir estas diferenças.

De acordo com Galesne et al. (1999, p.231), pode-se definir custo de oportunidade de um determinado fator de produção, que apresente usos alternativos, como sendo o retorno proporcionado pelo uso alternativo de maior rentabilidade, ajustado ao risco. O conceito de custo de oportunidade pode ser utilizado como a definição econômica de custo dos fatores de produção (o preço de mercado de um fator), ou como a taxa de substituição entre dois bens (medida de preferência de um bem a outro), ou ainda como a taxa de juros (valor de uso alternativo do dinheiro, seu preço no tempo).

Segundo os mesmos autores, pode-se definir custo de oportunidade do capital, ou simplesmente, custo de capital, como sendo o custo de oportunidade de uso do fator de produção “capital”, ajustado ao risco do empreendimento. É a remuneração alternativa que pode ser obtida no mercado, para empreendimentos na mesma classe de risco.

Conforme Souza e Clemente (1997, p.26 à 28) a taxa mínima de retorno deve representar o custo de oportunidade do capital para a empresa, sendo que o custo de oportunidade do capital

tende a ser estável para empresas com planejamento de longo prazo, enquanto que tende a flutuar de acordo com o mercado financeiro na ausência de planejamento de longo prazo. Pode-se concluir que a taxa mínima de retorno é a taxa de juros que deixa de ser obtida na melhor aplicação alternativa quando há emprego de capital próprio, ou é a menor taxa de juros a ser paga quando recursos de terceiros são aplicados. A taxa mínima de retorno é a taxa de desvalorização imposta a qualquer ganho futuro por não estar disponível imediatamente.

No entanto, o custo de capital refere-se às oportunidades de uso do capital perdidas quando determinada alocação é decidida. Já a taxa mínima de atratividade (TMA) refere-se à rentabilidade mínima exigida dos investimentos pelos dirigentes da empresa como parte de sua política de investimentos. Estas duas taxas podem ser coincidentes se forem utilizadas taxas de mercado como parte da política de investimento da empresa. Apesar da TMA não poder ser confundida com o custo de capital, ela guarda uma relação estreita com este (GALESNE et al., 1999, p.237 e 238). Conforme Souza e Clemente (1997, p.26 à 28) e Galesne et al. (1999, p.238), um projeto será atrativo somente se adicionar valor à empresa. Desta forma, a escolha da TMA adequada é crucial para a aceitação ou rejeição do projeto, pois uma TMA superior ao custo de capital pode eliminar projetos que adicionam valor ao negócio, enquanto que uma TMA inferior ao custo de capital elege projetos que subtraem valor ao negócio.

Galesne et al. (1999, p.241) desenvolveram modelos para o cálculo do custo de capital, que não serão abordados neste trabalho. Porém, estes autores elencam como possíveis taxas de retorno sem risco a remuneração média, no longo prazo, de títulos como CDB (certificados de depósito bancário) de emissão de bancos de primeiríssima linha, cadernetas de poupança, títulos do tesouro como LFT, LBC, BBC, etc., T-Bonds de 10 anos do tesouro dos EUA e percentual da taxa CDI (certificados de depósitos interfinanceiros), entre outros.

5.2.4 Risco e Incerteza

Outra dimensão a ser considerada na análise de projetos de investimento é a incerteza, que é consequência da falta de controle absoluto sobre a forma como os eventos irão acontecer no futuro. Conforme Souza e Clemente (1997, p.97) e Galesne et al. (1999, p.131), pode-se fazer previsão sobre o comportamento futuro de determinados eventos, tais como, acontecimentos econômicos, políticos, sociais e científicos, mas não se pode determinar exatamente quando e

em que intensidade eles ocorrerão, ressaltando o caráter fundamental da incerteza.

Conforme Galesne et al. (1999, p.131 à 135) quatro elementos têm influência determinante sobre a rentabilidade de um projeto de investimento, quais sejam, as receitas, os custos, a vida útil dos equipamentos e o nível de rentabilidade do reinvestimento dos fluxos de caixa do projeto. Em relação às receitas, tem-se a incerteza referente à natureza do produto, que afeta o produto “agregado reciclado”, pois é um produto novo no mercado e há o desconhecimento do mercado consumidor; e a incerteza referente ao tipo de organização do mercado, relativa à posição que a empresa ocupa no mercado e em relação aos seus concorrentes. A incerteza dos custos operacionais, principalmente os variáveis, é a mais reduzida de todas. No caso do presente trabalho, os custos de manutenção dos equipamentos, máquinas e veículos próprios são os mais difíceis de serem definidos, no entanto, podem ser melhor estudados em usinas de britagem convencionais, já que existem poucas usinas de reciclagem implantadas, obviamente guardando determinadas restrições. No tocante à vida econômica dos equipamentos, pode-se afirmar que um equipamento não se deteriora apenas devido ao uso, mas também, pelo progresso técnico e suas conseqüências, e ocorre principalmente quando uma descoberta transforma o estado da técnica, levando a uma depreciação maciça das instalações existentes. A incerteza relacionada à vida econômica dos equipamentos reside no ritmo de evolução da obsolescência destes equipamentos e na sua duração provável de uso. No caso específico dos equipamentos de britagem pode-se afirmar que não há grandes inovações tecnológicas, reduzindo a incerteza sobre a sua depreciação. Finalmente, a incerteza relacionada às taxas de reinvestimento dos fluxos líquidos de caixa é função da evolução prevista da conjuntura econômica, bem como da variabilidade das taxas de retorno setoriais ou da própria empresa.

A distinção, de natureza muito mais acadêmica do que prática, entre risco e incerteza está associada ao grau de conhecimento que se tem sobre o comportamento do evento, conforme Souza e Clemente (1997, p.98). No entanto, esta opinião não é compartilhada por Galesne et al. (1999, p.135). Para estes autores, risco e incerteza, embora ligados, são noções distintas. Estão ligados à medida que o risco de um projeto de investimento é a conseqüência da incerteza associada ao projeto e são distintos à medida que um projeto de investimento com resultados incertos somente é arriscado quando suscetível de apresentar resultados não desejados. Já para Souza e Clemente (1997, p.98), o termo incerteza é utilizado quando não se conhece nada sobre o comportamento futuro do evento e o termo risco é utilizado quando se conhece, pelo menos, a distribuição de probabilidade do comportamento futuro do evento.

Esta definição se assemelha bastante à definição de Knight citada por Galesne et al. (1999, p.136 e 137). No entanto, estes autores, afirmam que a distinção de Knight entre risco e incerteza distingue apenas diferentes graus de conhecimento do fenômeno estudado, ou ainda, distingue dois níveis de incerteza associada ao projeto de investimento: um corresponde a um futuro incerto não passível de associação de uma distribuição de probabilidades (futuro indeterminado) e o outro corresponde a um futuro também incerto porém passível de atribuição de uma distribuição de probabilidades (futuro determinável probabilisticamente).

Conforme Galesne et al. (1999, p.137 e 138), se fosse possível conhecer antecipadamente os resultados futuros, não haveria lugar para a noção de risco. Se o nível de rentabilidade fosse superior à TMA o projeto seria implementado e traria o nível de rentabilidade inicialmente previsto, caso contrário seria rejeitado. A incerteza é condição necessária mas não suficiente para o surgimento de risco. Para que haja risco é necessário que a incerteza seja acompanhada de um caráter não desejado para alguns dos resultados possíveis do projeto. Dentre os desvios relativos a um dado nível de rentabilidade somente os desvios negativos, os não desejados, é que são geradores de risco. Este conceito de risco integra diretamente o caráter não desejado de alguns dos resultados potenciais de um projeto de investimento e, por outro lado, está em conformidade com o sentido que lhe é dado na linguagem comum.

Para evitar a fragilidade de uma abordagem determinística recorre-se a técnicas de análise que levem em conta a aleatoriedade dos elementos que compõem o fluxo de caixa de um projeto de investimento nas diversas situações de futuro possíveis. Estes métodos podem ser analíticos, numéricos ou empíricos (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.97 à 106; GALESNE et al., 1999, p.139 à 229). No entanto, neste trabalho, será abordado somente o critério de análise de sensibilidade, visto que os dados obtidos durante as visitas técnicas não permitem obter uma distribuição de probabilidade do fluxo de benefícios e custos, nem o valor médio e a variância de cada um dos componentes aleatórios do projeto.

5.2.4.1. Análise de Sensibilidade

A técnica de “Análise de Sensibilidade” é utilizada para o caso em que poucos componentes do fluxo de caixa estejam sujeitos a um grau pequeno de aleatoriedade, como pequenas variações na TMA, no investimento inicial, nos benefícios líquidos periódicos, ou no prazo do

projeto. Variando-se os parâmetros de entrada, para mais ou para menos, gera-se uma matriz de resultados, onde a idéia básica é verificar quão sensível é a variação da rentabilidade do projeto a uma variação de cada um dos componentes do fluxo de caixa. Aqueles parâmetros que, proporcionalmente, provocarem maior variação na rentabilidade do projeto serão classificados como sensíveis. Esses parâmetros carecerão de investigações adicionais para melhorar sua estimativa e, por conseqüência, melhorar também as informações relevantes para a tomada de decisão (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.98; GALESNE et al., 1999, p.157).

5.2.5 Sistemas de Amortização

Não raramente, os recursos necessários para realizar um projeto de investimentos são supridos em parte com capital de terceiros. Esse capital complementar é obtido em instituições financeiras segundo taxas e regras específicas. No estudo dos sistemas de amortização, buscase identificar, em qualquer tempo, o estado da dívida, isto é, a decomposição do valor de uma prestação em juros (remuneração do capital) e em amortização (parcela destinada ao pagamento da dívida), e mais o saldo devedor imediatamente após o pagamento da prestação. Os dois sistemas de amortização mais utilizados no Brasil são o Sistema Francês (tabela Price) e o Sistema de Amortização Constante (SAC). O Sistema Francês caracteriza-se por ter prestações constantes, compostas de duas parcelas: juros e amortização. Já o Sistema de Amortização Constante caracteriza-se por ter amortizações constantes. Em função deste fato, o saldo devedor decresce sempre de um mesmo valor, apresentando prestações iniciais maiores, porém o saldo devedor decresce mais rapidamente. Do ponto de vista de custo do capital, os dois sistemas se equivalem, ou seja, produzem o mesmo valor presente quando descontados a uma mesma taxa e por um mesmo período (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.51 à 57). No presente trabalho será usada a tabela Price para cálculo do financiamento, pois este é o sistema utilizado nos financiamentos com recursos do FGTS.

5.3 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

As técnicas de análise de investimentos podem ser divididas em dois grupos. O primeiro grupo, denominado de Métodos Robustos, engloba as técnicas que servem para selecionar

projetos e o segundo, denominado Métodos Classificatórios, engloba as técnicas que objetivam gerar indicadores adicionais para os projetos já selecionados, conforme quadro 4. A diferença básica entre as duas categorias reside no fato de que, enquanto os Métodos Robustos sempre apresentam a mesma classificação para um elenco de projetos de investimentos, possibilitando a tomada de decisões, os Métodos Classificatórios mostram, não raramente, resultados contraditórios e, por esta razão, devem ser evitados no processo inicial de seleção de projetos, pois são somente ordenatórios (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.60). Conforme Galesne et al. (1999, p.137 e 138) os critérios de rentabilidade baseados em fluxos de caixa descontados (VPL, VAUE, TIR) têm duas características importantes. A primeira é que consideram todos os fluxos de caixa associados a determinado projeto de investimento ao longo de sua vida útil. A segunda é que fazem uso do princípio do desconto.

Métodos Robustos de Análise de Investimentos	Método do Valor Presente Líquido (VPL)
	Método do Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE)
Métodos Classificatórios ou de Corte	Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)
	Método do Índice Benefício/Custo (IBC)
	Método da Taxa de Retorno Contábil
	Método do Período de Recuperação de Capital (Pay-back)

Quadro 4: métodos de análise de investimentos (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.60)

5.3.1 Método do Valor Presente Líquido

O Método do VPL é a concentração de todos os valores esperados de um fluxo de caixa na data zero, usando-se como taxa de desconto a TMA da empresa, de acordo com a equação 4. Se VPL for superior a 0 então o projeto pode ser aceito e no caso de ser inferior a 0 então o projeto deve ser rejeitado (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.65).

$$VPL = \sum \{ [CF_j] / (1 + i)^j \} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

VPL: valor presente líquido;

CF_j: custos e receitas ao longo do projeto;

i: taxa de juros = TMA;

j: índice do período.

5.3.2 Método do VPL Anualizado

O Método do Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA), também conhecido como Método do Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE), é uma variação do Método do VPL, pois apresenta o fluxo de caixa representativo do projeto de investimento transformado em uma série uniforme, conforme equação 5 (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.70).

$$VPLA_B = VPL * [i * (1 + i)^n] / [(1 + i)^n - 1] \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

VPLAB: valor presente líquido anualizado;

VPL: valor presente líquido;

i: taxa de juros;

n: número de períodos.

5.3.3 Método da Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que torna o Valor Presente Líquido (VPL) de um fluxo de caixa igual a zero. Se TIR for maior que TMA então o projeto é viável, e se TIR for menor que TMA então o projeto é inviável (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.66).

5.3.4 Índice Benefício/Custo ou Índice de Lucratividade

De acordo com Galesne et al. (1999, p.137 e 138), este critério consiste em estabelecer a razão entre o valor presente das entradas líquidas de caixa do projeto e o investimento inicial, sendo outra variante do Método do VPL. O Índice Benefício/Custo é uma medida de quanto se ganha por unidade de capital investido, ou ainda, uma razão entre o Fluxo Esperado de Benefícios de um projeto e o Fluxo Esperado de Investimentos necessários para realizá-lo. O

IBC pode ser calculado pela equação 6. Se $IBC > 1$ então o projeto pode ser aceito, e se $IBC < 1$ então o projeto deve ser rejeitado (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.63).

$$IBC = \{ \sum [CF_j] / (1 + i)^j \} / CF_0 \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

IBC: índice benefício custo;

CF_j: custos e receitas ao longo do projeto;

CF₀: investimento inicial;

i: taxa de juros;

j: índice do período.

5.3.5 Período de recuperação

O Período de Recuperação do Investimento, também chamado de Pay-back, pode ser definido como o número de períodos necessários (tempo) para se recuperar o investimento realizado. Para calcular o PRI somam-se os valores dos benefícios, período a período, até que esta soma iguale-se ao valor do investimento inicial. A utilidade do PRI consiste no fato de que ele pode ser interpretado como uma medida do grau de risco do projeto, sendo que as incertezas associadas a um projeto tendem a aumentar à medida que as previsões de receitas e custos afastam-se da data zero. As duas principais fragilidades do PRI residem no fato de ele não considerar o valor do dinheiro no tempo e de desconsiderar tudo o que acontece após o período de recuperação, penalizando projetos de receitas iniciais pequenas porém crescentes ao longo da vida do projeto (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.62; GALESNE et al., 1999, p.45). Outra falha apontada por Galesne et al. (1999, p.44 e 45), é utilizar este critério como um critério de rentabilidade, quando na verdade ele se caracteriza como uma medida da liquidez do capital investido em um projeto, além de não dever ser usado como critério principal, mas em conjunto com um dos critérios baseados nos fluxos de caixa descontados.

5.3.6 Taxa de retorno contábil

Conforme Galesne et al. (1999, p.137 e 138), neste método, os lucros médios projetados, após depreciação e impostos, são divididos pelo investimento no projeto, ou pelo valor do ativo no projeto, ou ainda pelo patrimônio líquido correspondente, sendo então comparados com a mesma medida para a empresa como um todo ou com determinado padrão. Este método é desaconselhável por utilizar-se de valores médios que não levam em conta o valor do dinheiro no tempo e por considerar valores contábeis e não fluxos de caixa. Segundo Brealey e Myers (1991, apud GALESNE et al., 1999, p.46), se o critério do tempo de recuperação do capital é uma regra ruim, o critério da taxa de retorno contábil é uma regra provavelmente ainda pior.

5.3.7 Ponto de Equilíbrio

O ponto de equilíbrio é igual à razão entre os custos fixos e a diferença das receitas totais e os custos variáveis, expresso conforme a equação 7.

$$PE = CF / (RT - CV) \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

PE: ponto de equilíbrio;

CF: custos fixos;

RT: receitas totais;

CV: custos variáveis.

5.3.8 Compatibilização dos Resultados

Os indicadores VPLA, TIR, VPL e IBC são, na verdade, codificações diferentes de uma mesma informação. Assim sendo, o quadro 5 mostra a correspondência entre estes critérios.

VPL = 0	VPLA = 0	IBC = 1	TIR = TMA	Indiferença
VPL > 0	VPLA > 0	IBC > 1	TIR > TMA	Projeto Viável
VPL < 0	VPLA < 0	IBC < 1	TIR < TMA	Projeto Inviável

Quadro 5: correspondência entre VPLA, TIR, VPL e IBC (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.71)

Comparando-se os critérios VPL, IBC (IL) e TIR pode-se afirmar que o critério do VPL mede uma massa de lucros, e nos outros dois mede-se uma taxa de lucros. Pode-se afirmar ainda que, no critério da TIR a taxa de desconto é encontrada através de cálculo, enquanto que para ou outros dois métodos a taxa é estabelecida pela empresa (GALESNE et al., 1999, p.42).

Com exceção dos métodos que não consideram o valor do dinheiro no tempo, todos os outros métodos deveriam apontar para a mesma decisão. No entanto, pode ocorrer de os métodos que trabalham com conceito de valor monetário apontarem para uma decisão e os métodos que trabalham com conceito de valor relativo apontarem para outra decisão. O conflito entre os métodos é decorrente do fato de trabalhar-se com projetos de investimentos iniciais diferentes (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.71 à 74). Desta forma, os métodos relativizados (Taxa Interna de Retorno e Índice Benefício/Custo) não são recomendados para alternativas de projetos que apresentem investimento inicial diferenciado e vidas úteis diferentes. Para projetos com mesmo horizonte de planejamento o Método do VPL é o de mais fácil aplicação. Para projetos com vidas úteis diferentes, o Método do VPLA é o que requer menor quantidade de ajustes (SOUZA; CLEMENTE, 1997, p.91 à 93). De acordo com Souza e Clemente (1997, p.71 à 74), como os métodos do VPL e do VPLA já consideram as diferenças nos investimentos iniciais, esses métodos apontam para a solução correta. Estes autores também propõem métodos para eliminar a distorção apresentada pelos métodos do IBC e da TIR. Já Galesne et al. (1999, p.61 e 62) propõem que alternativas de projeto incompletas quanto à dimensão, ou seja, com investimentos iniciais diferenciados, sejam comparadas somente após incorporar um projeto complementar, de investimento igual à diferença entre os dois projetos originais, ao projeto de menor investimento inicial. Ou ainda, que se compare os dois projetos concorrentes com base no VPL por unidade monetária investida, ou VPL unitário (VPLU). Como no presente trabalho o horizonte de planejamento é igual para todos os projetos e não se fará comparação entre eles, mas sim, se elencará projetos viáveis de serem implementados e se fixará preços de venda dos agregados reciclados, não serão utilizados os métodos para homogeneização das alternativas de investimento propostos pelos autores citados.

5.4 ESTUDOS SOBRE VIABILIDADE DE USINAS DE RECICLAGEM

São poucos os estudos realizados sobre análise de viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD. Na literatura técnica encontra-se o trabalho de Wilburn e Goonan (1998,

p.13 a 15), que estudaram especificamente a viabilidade econômica de três usinas de reciclagem nos EUA, sendo uma de pequeno porte (110.000 t/ano), uma de média porte (253.000 t/ano) e uma de grande porte (312.000 t/ano). Estes autores consideram, para os Estados Unidos, como custo do aluguel do terreno a taxa de 9% do valor do terreno, implicando em valores de US\$ 19.000,00 por ano para usinas de pequeno porte (2 ha), US\$ 43.000,00 por ano para usinas de médio porte (4 ha) e US\$ 53.000,00 por ano para usinas de grande porte (6 ha). As taxas utilizadas são de 34% para impostos federais e 5% para impostos estaduais. No quadro 6 estão apresentadas as premissas assumidas para determinação da viabilidade econômica, segundo avaliação de Wilburn e Goonan (1998, p.14) e também as premissas assumidas no presente trabalho.

CATEGORIA	VALOR	OBSERVAÇÕES	VALORES ADOTADOS
Período de análise	11 anos	Tempo suficiente para o retorno do capital	20 anos
Taxa de retorno	12 % ao ano	Selecionado como representativo da indústria	12% ao ano – ver item 6.3.1.7
Inflação	3 % ao ano	Selecionado a partir das taxas recentes	não considerada
Período de depreciação	7 anos (método linear)	Reflete o padrão da indústria para equipamentos de britagem	10 anos para equipamentos, máquinas e veículos – método linear
Debt : Equity Ratio	0,9	Taxa de 90 % de debt financing baseado na prática da indústria	Não utilizado
Taxa de juros de empréstimo	10 %	Taxa típica da indústria	10,2% ao ano – ver item 6.3.1.4
Taxa de deposição	1,10 US\$/t	Média para a região de Denver	Não utilizado
Preço médio do produto	5,23 US\$/t	Preço médio na região de Denver para agregado reciclado derivado de um mix de 60:40 asfalto:concreto	Determinado para apresentar valor presente líquido positivo
Capacidade de produção	88%	Baseado em visitas aos locais e contatos pessoais	90%
Horário de produção	8 horas/dias, 5 dias/semana	Baseado em visitas aos locais e contatos pessoais	44 horas semanais

Quadro 6: hipóteses utilizadas na avaliação de Usinas de Reciclagem (baseado em: WILBURN; GOONAN, 1998, p.14)

É importante salientar que a adoção de taxa de deposição já é praticada em alguns municípios, tais como Joinville, São Paulo, Guarulhos, São Bernardo do Campo, Campinas, Araraquara, São José do Rio Preto e outros (PINTO, 2004b). No entanto, se por um lado esta cobrança aumenta as receitas das usinas de reciclagem, melhorando sua viabilidade econômica, por outro lado pode inviabilizar sua implantação pois induziria os geradores de RCD a deposições irregulares de RCD em locais inapropriados. Porém, deve-se frisar que uma política de gestão integrada de RCD deve responsabilizar e cobrar do gerador, bem como fiscalizar pelo

descarte correto do RCD, conforme a legislação vigente, pois caso contrário estaria mascarando um custo real e transferindo ao poder público a responsabilidade pela correta destinação deste resíduo, propiciando um estado de indisciplina e desordem urbana.

Na tabela 15 estão apresentados os custos de produção de agregados reciclados e a análise de Valor Presente Líquido desenvolvidos por Wilburn e Goonan. Os dados adotados no presente trabalho estão desenvolvidos no capítulo 7 Análise dos Resultados.

Tabela 15: custos estimados para produção de agregados reciclados

	Unidade	USINA DE PEQUENO PORTE	USINA DE MÉDIO PORTE	USINA DE GRANDE PORTE
Capacidade de operação	t/ano	110.000	253.000	312.000
Custos de Capital (A)	US\$	842.000	1.143.000	1.363.000
	US\$/t	7,65	4,52	4,37
Capital de Giro (B)	US\$	53.000	64.000	72.000
	US\$/t	0,48	0,25	0,23
Total dos Custos de Capital (C = A + B)	US\$/t	8,13	4,77	4,60
CUSTOS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO				
Manutenção equipamentos (D)	US\$/t	1,45	0,72	0,72
	%	24	22	24
Mão-de-obra (E)	US\$/t	1,37	0,70	0,57
	%	23	22	20
Energia (F)	US\$/t	0,34	0,19	0,20
	%	6	6	7
Estoque (G)	US\$/t	0,07	0,03	0,02
	%	1	1	1
Licenças e Fees (H)	US\$/t	0,03	0,02	0,02
	%	1	1	1
TOTAL (I = D + E + F + G +H)	US\$/t	3,26	1,66	1,53
CUSTOS FIXOS DE OPERAÇÃO				
Depreciação (J)	US\$/t	0,86	0,64	0,63
	%	15	20	21
Custos Fixos (overhead) (K)	US\$/t	1,77	0,90	0,76
	%	30	28	26
Custos Totais de Operação (L = I + J + K)	US\$/t	5,89	3,20	2,92
Tipping Fee Credit	US\$/t	1,10	1,10	1,10
Preço médio de mercado	US\$/t	5,23	5,23	5,23
Valor Presente Líquido	US\$	- 72.000	631.000	901.000

(fonte: baseado em: Wilburn; Goonan, 1998, p.15, ano-base 1996)

6 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo são relatadas as visitas técnicas realizadas aos municípios que possuem usinas de reciclagem de RCD. Também são descritos os estudos dos custos de implantação, operação e manutenção das usinas de reciclagem para definição de sua viabilidade econômica de implantação. A metodologia de pesquisa utilizada é a mesma adotada por Wilburn e Goonan (1998, p.13), que consistiu em pesquisa de coleta de dados em publicações na literatura técnica, contatos pessoais e visitas às usinas de reciclagem.

6.1 VISITAS TÉCNICAS

O objetivo das visitas técnicas realizadas nas usinas de reciclagem de RCD instaladas no país foi determinar os tipos de equipamentos utilizados atualmente (britadores, esteiras, peneiras e equipamentos móveis), a quantidade destes equipamentos e suas características gerais (potência instalada, marca, modelo, desempenho, produção, produtividade, limitações, vantagens e desvantagens), além de identificar todas as variáveis que influenciam a formação de custos, e sua importância em relação às demais.

Através do contato com os técnicos responsáveis pela operação das usinas pretendeu-se determinar a forma de operação e o fluxo de atividades, caracterizando as equipes necessárias para operação e manutenção das usinas, a quantidade dos profissionais envolvidos (auxiliares, profissionais, mecânicos, operadores de máquina, encarregado e administrativo), seus salários e leis sociais. Buscou-se estabelecer também como ocorre o gerenciamento dos diversos atores envolvidos no processo, os problemas de entorno e as medidas mitigatórias para diminuição dos danos gerados, além de determinar os impostos relacionados.

Adicionalmente foram coletados os custos de manutenção das usinas com relação às peças de desgaste, à manutenção preventiva e corretiva necessária e à depreciação e troca de equipamentos. Com relação aos custos de operação levantou-se o consumo e o custo de diversos insumos, tais como, água, energia elétrica, telefone e transporte de resíduos, e também os custos relacionados com terreno e instalações prediais.

Inicialmente realizou-se um levantamento de usinas existentes no país, com exceção do Distrito Federal e das regiões Norte e Nordeste pois devido à grande distância de Porto Alegre teriam elevado custo para realização das visitas. Foram identificados cinco municípios com usinas de reciclagem em operação contínua ou intermitente, de investimento público ou privado, quais sejam: Belo Horizonte no estado de Minas Gerais e São Paulo, Vinhedo, Socorro e Piracicaba no estado de São Paulo. Todos estes municípios foram visitados.

Pinto (1999, p.94) destaca que em alguns municípios brasileiros a implantação de instalações de reciclagem de RCD aconteceu como resultado de planos de gestão de RCD, no entanto em outros municípios ocorreu a mera aquisição de equipamentos de forma descoordenada e sem planejamento, o que comprometeu os resultados esperados. Os municípios que possuem instalações de reciclagem de RCD desativadas são: São José dos Campos, Londrina (desativada devido ao vandalismo e roubo dos motores), Campinas e Ribeirão Preto. A última usina, apesar de desativada também foi visitada, pois possui dados de custos do seu funcionamento e a usina de Campinas foi visitada para obter-se informações sobre um investimento privado. No município de São José do Rio Preto a usina de reciclagem está em fase de implantação, com previsão do início de operação para o segundo semestre de 2005.

Segundo Lima (1999, p.10), os municípios paulistas de Santo André, São Bernardo do Campo e Jundiaí, e Cuiabá e Campo Grande, na região Centro-Oeste, já desenvolveram estudos para a implantação de usinas de reciclagem de RCD e os municípios de Ribeirão Pires (SP) (LEVY, 2001, p.62) e de Muriaé (MG) (PINTO, 1996, p.161) teriam usinas de reciclagem de RCD implantadas. Porém, através de contato telefônico, verificou-se que estes municípios não possuem este tipo de usinas. Em Porto Alegre já houve estudos para implantação de usina de reciclagem de RCD, no entanto, não prosperaram (DEPARTAMENTO...– DMLU, 2004).

Complementarmente foi realizada uma pesquisa na internet dos fabricantes de equipamentos de britagem. Foram identificados três no município de São Paulo, um em Piracicaba, um em Limeira, um em Araraquara, todos estes no estado de São Paulo, e mais um em Novo Hamburgo (RS). Todos os fabricantes foram visitados com a finalidade de levantar-se dados sobre aquisição, operação e manutenção destes equipamentos e de usinas de reciclagem, bem como identificar equipamentos mais modernos e de melhor relação custo/benefício. As observações dos fabricantes de equipamentos estão registradas no capítulo 4 – Equipamentos de Britagem. A seguir estão relatadas as visitas realizadas às usinas de reciclagem.

6.1.1 Visita Belo Horizonte

O município de Belo Horizonte tem uma população de 2.350.000 habitantes e são recolhidos 4.000 t/dia de resíduos sólidos urbanos, sendo que os RCD representam de 34 a 45% do total, em massa. O sistema de gestão de RCD compreende 22 URPV's (unidade de recebimento de pequenos volumes) e duas usinas de reciclagem instaladas. As usinas de Estoril e Pampulha têm capacidade de 15 t/h e 30 t/h, respectivamente e são compostas de calha vibratória, britador de impacto e correia transportadora. Não possuem peneiras, pois somente produzem bica corrida para utilização em base e sub-base de pavimentação. A bica corrida caracteriza-se por não sofrer peneiramento após a britagem e apresenta grãos com dimensões desde muito pequenas até 63 mm, conforme abertura de saída do britador de impacto (SERVIÇO... – SLU/PMBH, 2004).

Cada URPV possui uma área de aproximadamente 300 m², aonde são entregues, por particulares ou carroceiros, volumes de até 2 m³ de RCD, podas, móveis e eletrodomésticos usados, que são dispostos diretamente em containers específicos. Deste material recebido, 27% destina-se à reciclagem e 73% destina-se ao aterro sanitário. Estima-se que existam 10.000 carroceiros na cidade de Belo Horizonte, sendo que estão cadastrados apenas 1.000 carroceiros. Nas URPV's, é disponibilizado ao carroceiro um serviço de apoio, com banheiro e telefone (disk carroça), aonde pessoas da comunidade interessadas no transporte entram em contato diretamente com o carroceiro para a contratação do serviço. Ainda são oferecidos serviços de apoio veterinário com vacinação, desvermifugação e banho do animal. Estes serviços têm a finalidade de transformar o carroceiro em um agente comunitário de limpeza urbana, com a qualificação de trabalho e geração de renda, evitando que deposite resíduos irregularmente no município.

Na entrada das usinas de reciclagem de RCD de Estoril e Pampulha e em diversos pontos internos de tráfego é aspergida água com a finalidade de evitar a presença de poeira no pátio da usina e há também uma barreira vegetal para evitar a proliferação para a vizinhança. O material, ao ser recebido na usina, ainda dentro da caçamba, passa por um controle visual de impurezas aonde admite-se no máximo 10% de materiais estranhos ao RCD – classe A, tais como plásticos, papel, papelão, latas de tinta, etc. A caçamba é então descarregada no pátio. Posteriormente, o material é espalhado com o auxílio de uma pá carregadeira. Uma equipe de oito homens realiza uma separação manual de elementos indesejados, tais como matéria

orgânica, gesso, papéis, papelão, conduites e metais. Peças maiores de 30 cm são quebradas com auxílio de marretas. O material então é carregado no alimentador vibratório, britado e estocado.

Não existe a triagem de materiais recebidos em condições de serem reutilizados, tais como, pedras de alicerce, tijolos, louça cerâmica e outros materiais servíveis, com a finalidade de constituir um banco de materiais para utilização em projetos sociais de habitação. O município de Belo Horizonte possui, no entanto, um brechó da construção, onde são disponibilizados materiais de construção doados por empresas construtoras, tais como esquadrias, tintas, pisos cerâmicos, entre outros.

A usina de Pampulha trabalha em horário comercial normal, porém a estação de Estoril, por estar inserida em uma área residencial, só opera após às 9 horas da manhã até às 18 hs, com intervalo das 12 às 14 horas. A equipe de operação prevista inicialmente para cada usina era de 8 funcionários, sendo 1 encarregado, 1 funcionário na recepção, 1 funcionário na horta e jardim, 1 funcionário no britador e 4 funcionários no pátio de triagem. No entanto, cada equipe atua na realidade com 14 funcionários, sendo 1 auxiliar de escritório, 1 encarregado, 2 funcionários na horta e cozinha, 2 funcionários no britador e 8 funcionários no pátio de triagem. As peças de desgaste do britador de impacto são trocadas em um período de 4 meses e as correias dos motores a cada 3 meses. A Usina de Estoril possui uma área de 8.000 m² e a Usina da Pampulha 12.000 m². Cada usina possui área construída aproximada de 100 m².

O projeto original previa um total de quatro usinas de reciclagem de RCD, sendo que duas já foram instaladas e outra está em fase de instalação. Também está em estudo a criação de áreas de triagem e transbordo (ATT). Com a criação destas áreas pode ser viável a implantação de usinas móveis de reciclagem. A usina de reciclagem em fase de contratação será instalada junto ao aterro sanitário localizado na BR-040 e será equipada com britador de mandíbula seguido de peneiras e rebritador cônico. O britador de mandíbulas foi escolhido em virtude de ter maior vida útil, ser mais resistente e mais indicado para a produção de agregados para concreto, entretanto, exige maior cuidado para evitar-se danos ao equipamento com a presença de materiais estranhos como madeira e metais (SERVIÇO... – SLU/PMBH, 2004).

Na usina da Pampulha também está em operação uma máquina elétrica manual para fabricação de blocos de concreto. O agregado reciclado utilizado para fabricação de blocos é proveniente somente de resíduos de concreto, que é peneirado de forma manual. Compreende

10 funcionários, sendo 4 funcionários nas peneiras e 6 funcionários na betoneira e prensa.

A quantidade de RCD reciclado apresentou uma grande evolução desde que foram implantadas as usinas de reciclagem. A tabela 16 apresenta os dados da quantidade de RCD reciclado ao longo do tempo e a tabela 17 apresenta os custos de implantação das usinas de reciclagem e URPV's. Os custos de operação e manutenção são apresentados de forma resumida na tabela 18. Estes custos são referentes ao mês/ano indicado na respectiva tabela. O custo médio de operação de uma URPV é de R\$ 4.300,00, base julho/03.

Tabela 16: evolução da quantidade de RCD reciclado no município de Belo Horizonte

ANO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Quantidade (t)	16.000	27.000	38.000	70.000	95.000	121.000	117.000	116.000

(fonte: SERVIÇO... – SLU/PMBH, 2004)

Tabela 17: custos de implantação de usinas de reciclagem e URPV's no município de Belo Horizonte

	ANO	Capacidade (t/h)	Custo de equipamentos (R\$)	Custo de implantação (R\$)
ESTORIL	1994	15	65.000,00 (usado)	35.000,00
PAMPULHA	1996	30	140.000,00	50.000,00
BR-040	2004	40	490.000,00	330.000,00
URPV's	R\$ 30.000,00, incluindo obras civis, cercamento, mobiliário, instalações de água, energia elétrica e telefone, não inclui terreno			

(fonte: SERVIÇO... – SLU/PMBH, 2004)

Tabela 18: custos de operação e manutenção de usinas de reciclagem e URPV's no município de Belo Horizonte

	UNIDADE	DATA	ESTORIL	PAMPULHA
Mão-de-Obra	%	média	34,62	25,19
Veículos, Máquinas e Equipamentos	%	média	31,95	33,71
Serviços de Vigilância	%	média	13,51	13,27
Custos Indiretos	%	média	11,05	10,02
Custo de Operação e Manutenção	R\$/mês	Julho/03	44.889,24	45.507,85
Quantidade de RCD Processado	t/mês	Julho/03	5.676	6.372
Custo Unitário	R\$/t	Julho/03	7,91	7,14

(fonte: SERVIÇO... – SLU/PMBH, 2004)

6.1.2 Visita São Paulo

O município de São Paulo (SP) tem uma população de 10.838.000 habitantes e são recolhidas 5.000 t/dia de RCD, sendo que metade é recolhida pela municipalidade e os outros 50% são destinados para duas áreas de transbordo e ao aterro de Itaquera, o qual será encerrado, pois já atingiu sua capacidade limite. Estima-se uma geração total de 17.000 t/dia de RCD. Em 1999 foram identificados 500 pontos crônicos de deposição irregular no município. No ano de 2003 foram gastos 44 milhões de reais para remoção de RCD. Está prevista a implantação de 96 áreas de Ecopontos, que se assemelham às URPV's de Belo Horizonte, para receber volumes até 1 m³. O custo estimado para implantação de cada ecoponto é de 30 a 40 mil reais. Existem cinco áreas privadas em processo de licenciamento para implantação de Áreas de Triagem e Transbordo. Estima-se que exista um total de 700 caçambeiros em todo município de São Paulo, dos quais apenas 559 são cadastrados. No entanto apenas 363 empresas estão com o cadastro válido, sendo responsáveis por 13.163 caçambas registradas. O custo da caçamba para transporte de RCD na cidade de São Paulo varia entre R\$ 50,00 e R\$ 90,00, não existindo coleta seletiva de RCD (DEPARTAMENTO... – LIMPURB, 2004).

O município de São Paulo possui somente uma usina de reciclagem, composta de alimentador vibratório, sistema de despoeiramento, britador de impacto de 120 t/h, transportadores de correia e conjunto de peneiramento de quatro decks, instalada junto ao aterro de Itaquera, que está desativada atualmente e a sua operação está em processo de licitação. Estima-se o custo de operação da recicladora em R\$ 6,00/t e o custo de deposição em aterro sanitário em R\$ 10,00/t. Está prevista a criação de três novos aterros na cidade de São Paulo.

No município de São Paulo também há uma usina privada de reciclagem de RCD composta de um britador de mandíbulas, com capacidade de 15 t/h, uma esteira e uma peneira rotativa, instalada em uma área de 4.000 m². O custo total de implantação foi de R\$ 90.000,00, em 2003. O preço de venda da brita é de R\$ 12,50/m³, enquanto que o agregado natural no mercado tem preço de R\$ 26,00/m³. A equipe é composta por dez funcionários, sendo dois operadores de caminhão, um apontador, um operador de máquina, um vigia, dois operários separadores de plástico e três operários separadores de sucata ferrosa, papel e PVC. Os materiais recicláveis são vendidos e o recurso auferido é revertido diretamente para os operários separadores. São recolhidas mensalmente: 4 toneladas de plástico, vendidas à R\$ 0,20/kg, 6 toneladas de sucata ferrosa, vendidas à R\$ 0,30/kg, uma tonelada de PVC, vendida

à R\$ 0,35/kg e o papel é vendido à R\$ 0,15/kg. Para cada 4 m³ de RCD recebidos na estação de triagem são gerados 0,25 m³ de rejeitos que são removidos a um custo de R\$ 80,00 para uma carreta de 17 m³. Para cada caçamba de 4 m³ recebida é cobrada uma taxa de R\$ 25,00. O custo mensal de energia elétrica é de R\$ 400,00 e o aluguel do terreno é de R\$ 1.300,00 (BASE, 2004).

6.1.3 Visita Campinas

O município de Campinas (SP) tem 1.031.000 habitantes e foi instalada uma usina de reciclagem de RCD privada com capacidade de 25 t/h, em uma área de 1.500 m², inserida em uma área maior degradada de uma antiga olaria, prevendo a sua recuperação, devido a uma solicitação do órgão do meio ambiente para o encerramento das atividades da olaria. Esta usina encontra-se desativada. Segundo Patiri (2004), a usina recebia 250 caçambas/dia captando 3.000 t/dia de RCD. Havia dificuldades na triagem do material e conflitos de interesses entre o operador da usina e os caçambeiros. Foi a primeira área licenciada no município de Campinas para deposição de RCD, cobrando R\$ 8,00/caçamba para o depósito nesta área. O custo da caçamba na cidade de Campinas passou de R\$ 35,00/caçamba para R\$ 70,00/caçamba após a abertura desta área de recebimento. Conforme opinião de Patiri (2004), uma parcela considerável do consumo de agregados para construção civil ocorre em pequenas e médias construções de unidades habitacionais unifamiliares, cujos proprietários constróem-na uma única vez, aonde quem define o material a ser empregado é o construtor que não tem conhecimento sobre as potencialidades do material reciclado, preferindo o agregado natural. Durante o funcionamento da usina de reciclagem não foi estabelecido o custo de produção do agregado reciclado, sendo vendido à 50% do preço de venda do agregado natural. Patiri (2004) observa ainda que é extremamente necessária a ação do poder público como agente indutor do processo de reciclagem de RCD. Também há a necessidade de implantação de parcerias para desenvolver a industrialização do material reciclado, o seu uso e aplicações, bem como o mercado consumidor, pois a viabilidade econômica para implantação de usinas de reciclagem exige grandes volumes de produção, conforme será demonstrado adiante.

6.1.4 Visita Vinhedo

O município de Vinhedo (SP) tem 50.000 habitantes e possui uma central de reciclagem composta por britador de mandíbula com capacidade de produção de 15 t/h, alimentador vibratório, correia transportadora e peneiras, instalada em uma área de 3.000 m². O custo de aquisição dos equipamentos foi de aproximadamente R\$ 80.000,00, no ano de 2000. A usina recebe 10 caçambas/dia, sendo que no município de Vinhedo o custo é de R\$ 50,00/caçamba. No caso de pequenos geradores de resíduos, a prefeitura realiza a coleta e o transporte até a usina de reciclagem. É feita a separação do material recebido em duas categorias, cerâmico e concreto, sendo produzida areia, brita 0, brita 1 e brita 2 do resíduo de concreto e bica corrida do resíduo cerâmico. A equipe de operação é composta por quatro funcionários, sendo um operador de trator, um operador do britador e dois operários. Em três anos de atividade da usina, a manutenção realizada foi uma troca de mandíbulas e uma troca da correia transportadora. O custo de material da correia transportadora foi de R\$ 71,00/m. A introdução de materiais com ferragem com pequenas dimensões não traz problemas para o funcionamento do equipamento, no entanto, o grande problema enfrentado é a qualidade do resíduo que contém muitas impurezas. O material produzido é vendido a R\$ 12,00/m³, posto obra, para execução de contrapisos e calçadas (SECRETARIA... – SMA, 2004).

6.1.5 Visita Socorro

O município de Socorro (SP) tem 36.000 habitantes e possui uma usina de reciclagem privada composta por um britador de mandíbulas de 10 t/h com alimentação manual, correia transportadora e peneiras, sendo estes dois últimos equipamentos industrializados pela própria empresa. Esta empresa recolhe em média 6 caçambas/dia de RCD. Possui uma área total de 6.000 m² e área construída de 500 m². A equipe de operação é composta por cinco funcionários. A troca de mandíbulas do britador ocorre a cada quatro meses. O consumo de energia elétrica é 1000 kWh/mês com gastos de R\$ 300/mês e os custos de manutenção de R\$ 200,00/mês à R\$ 300,00/mês. O custo de produção estimado é de R\$ 10,00/m³ à R\$ 10,50/m³, sendo o preço de venda de R\$ 25,00/m³ para a areia reciclada enquanto que o preço de mercado da areia natural é de R\$ 30,00/m³ a R\$ 35,00/m³. São vendidos de 100 à 150 m³/mês. Está sendo implementada a coleta seletiva de RCD, com desconto na caçamba com material

triado. O custo de recolhimento é de R\$ 36,00/caçamba para resíduo não triado e de R\$ 25,00/caçamba para resíduo triado. O agregado graúdo reciclado é utilizado como bica corrida para pavimentação e o AMR é usado como areia para argamassa de assentamento ou no caso de revestimento, é empregado somente para emboço, pois a execução de reboco com este material apresenta fissuração devido a grande presença de finos. Estão sendo realizados estudos, em parceria com a USP, para utilização da areia reciclada em argamassa de revestimento e para produção de tijolos. No município de Socorro, como em outros lugares, há uma barreira cultural para a utilização de agregado reciclado. Porém, os consumidores aprovam o material após a sua utilização, pois apresenta um bom desempenho para argamassa de assentamento em relação à areia natural da região que necessita de peneiramento. É interessante salientar que a areia reciclada não se adequa às curvas granulométricas da NBR 7221, pois apresenta alto teor de finos, de 25 a 30% (IRMÃOS PRETTO, 2004).

6.1.6 Visita Piracicaba

O município de Piracicaba tem 355.000 habitantes e tem instalada uma usina de reciclagem de RCD, composta por um britador de mandíbulas com capacidade de 25 t/h e por um rebitador de martelos, além de alimentador vibratório, correias transportadoras e peneiras. A usina de reciclagem está instalada em terreno de aproximadamente 10.000 m² e o custo de aquisição do equipamento foi de R\$ 350.000,00, em 1996. A equipe de produção é composta por quatro funcionários, sendo um operador de retro escavadeira, um operador do britador e dois funcionários na triagem fina do material. Uma primeira triagem é realizada pela cooperativa de catadores em um pátio de transbordo operado pela associação dos transportadores de caçambas, aonde são retirados materiais recicláveis e reaproveitáveis, tais como plásticos, madeiras e metais. O custo da caçamba de tele-entulho no município de Piracicaba varia de R\$ 40,00/caçamba à R\$ 60,00/caçamba. São recebidas diariamente no pátio de transbordo 600 toneladas de RCD e são conduzidas para reciclagem aproximadamente 120 m³/dia. O período de troca dos martelos é de 3 meses, sendo que o custo de cada jogo de martelos é de R\$ 450,00. A usina trabalhou com capacidade máxima nos últimos dezoito meses, apresentando somente agora a necessidade de troca das mandíbulas e das placas de revestimento. Na tabela 19 são apresentados os custos de produção em função da granulometria do agregado reciclado em maio de 2004. Observa-se que os agregados areia, pedrisco e brita 1 deveriam apresentar

custos de produção similares pois são obtidos do mesmo processo, no entanto, a informação não obedece a esta lógica. Neste local também há uma fábrica de blocos de concreto que produz 2.000 blocos de vedação/dia. A equipe de produção é composta por seis operários.

Tabela 19: granulometria do agregado reciclado e custo de produção no município de Piracicaba – maio/2004

	Produção (%)	Custo de Produção (R\$/m ³)
Bica corrida	80	11,00
Brita 1	5	14,00
Pedrisco	3	16,00
Areia	12	12,50

(fonte: Empresa Municipal de Desenvolvimento Habitacional de Piracicaba)

6.1.7 Visita Ribeirão Preto

O município de Ribeirão Preto tem 542.000 habitantes e atualmente a usina de reciclagem de RCD encontra-se desativada por problemas de vandalismo. Esta usina era composta por um britador de impacto com capacidade de 30 t/h para produção de bica corrida, alimentador vibratório de 40 m³/h, calha metálica, transportador de correia, eletroímã, sistema de contenção de material particulado através de microaspersão e sistema de contenção de ruídos através de mantas antichoque. O investimento realizado em setembro de 1996 foi de R\$ 96.000,00 para as obras civis e R\$ 130.000,00 para aquisição dos equipamentos. Quando em operação, a equipe era composta por 15 funcionários, sendo um encarregado, dois operadores de máquina, sete operários para triagem do material, um faxineiro e quatro vigias, totalizando, em maio de 2003, aproximadamente R\$ 15.000,00 mensais em salários e leis sociais. A cada três meses o jogo de barras era virado, sendo trocado a cada seis meses. Em termos de manutenção, foi trocada uma esteira após três anos de operação e a lubrificação era realizada uma vez por semana. Os custos de manutenção dos equipamentos e instalações eram de R\$ 500,00/mês. O custo de transporte do material reciclável para o centro de triagem era de R\$ 80,00/mês e o custo de disposição dos rejeitos em aterro sanitário era de R\$ 400,00/mês para 100 m³/mês. O terreno aonde está instalada a usina de reciclagem possui 15.000 m² e possui fechamento do perímetro em alambrado e cortina vegetal. A área construída é de 80,00 m² entre escritório, cozinha, sanitário, depósito e guarita (Prefeitura... – PMRP, 2004).

6.1.8 Considerações Finais Sobre as Visitas Técnicas Realizadas

Após análise dos dados levantados durante as visitas técnicas pode-se resumí-los conforme quadro 7. Os custos de manutenção dos equipamentos, nos diversos municípios pesquisados apresentaram-se bastantes dispersos e sem controle efetivo, com exceção de Belo Horizonte.

ITEM	Unid	MUNICÍPIOS						
		Belo Horizonte		São Paulo	Vinhedo	Socorro	Piracicaba	Ribeirão Preto
		Estoril	Pampulha					
Tipo de Britador		Impacto	Impacto	Impacto	Mandíbula	Mandíbula	Mandíbula	Impacto
Capacidade de Produção	t/h	15	30	120	15		25	30
Custo de Aquisição	R\$	65.000	140.000		80.000		350.000	130.000
Mês/ano de referência		1994	1996					1996
Total empreg.		14	14	14	4	5	5	
Administração		1	1					
Encarregado		1	1	1	1		1	1
Op. Britador		2	2	3	1		2	2
Triagem		8	8	10	2		2	7
Serv. Gerais		2	2					1
Área Total	m ²	8.000	12.000			6.000	10.000	15.000
Área construída	m ²	100	100			500		80
Custo de produção	R\$/t	7,91	7,14			10,50	Tabela 19	
Preço de venda	R\$/t				12,00	25,00		
Mês/ano de referência		Julho/03	Julho/03		Maior/04	Maior/04	Maior/04	

Quadro 7: quadro resumo das visitas técnicas

6.2 ESTUDO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RCD

Conforme Peng et al. (1997, p.52 à 56), o sucesso da reciclagem de resíduos depende, dentre outros fatores, do tamanho e localização do terreno utilizado, da utilização de equipamentos apropriados, do treinamento das equipes de trabalho para o desenvolvimento das operações necessárias à reciclagem e da capacidade financeira do empreendedor. De acordo com NAHB (1993, apud PENG et al., 1997, p.50), os passos para determinar a viabilidade econômica da reciclagem de resíduos de construção e demolição são:

- a) identificar os materiais recicláveis;
- b) determinar o custo/benefício da reciclagem;
- c) desenvolver planos de gerenciamento de resíduos e incluí-los nos documentos de contrato;
- d) implementar o plano de gerenciamento de resíduos e treinar os contratantes e funcionários;
- e) monitorar e incentivar a participação de contratantes e funcionários.

Peng et al. (1997, p.55) salientam que o investimento de instalação de usinas de beneficiamento deve ser de longo prazo, pois no período de adaptação do sistema pode haver baixa produtividade, além de que o mercado para os produtos reciclados pode estar apenas em desenvolvimento. Entretanto, Pinto (1997, p.31 e 32) destaca que, no caso de adoção de usinas de reciclagem pelo setor público, a amortização do investimento pode ser mais curta, pois haverá a eliminação dos custos de limpeza urbana dos resíduos e dos custos de aquisição de agregados naturais. No entanto, a quantificação destes custos é de difícil mensuração e não serão objeto deste trabalho.

Dentro deste enfoque as visitas técnicas realizadas às Usinas de Reciclagem de RCD procuraram mapear os custos de implantação, operação e manutenção das diversas usinas, bem como comparar aos dados fornecidos pelos fabricantes de equipamentos. Observou-se uma grande dispersão dos dados coletados. De posse dos dados consolidados, determinou-se os custos médios de implantação, operação e manutenção de uma usina de reciclagem de RCD para elaboração de uma planilha eletrônica para análise da viabilidade econômico-financeira. A avaliação destes custos estão em conformidade com o elencado por Ferreira e Andrade (2004, p.822 a 824), com exceção do capital de giro que não foi objeto de análise no presente trabalho. Também vários itens estão em conformidade com os dados de Almeida e Chaves (2001, p.53 a 61), no entanto muitos itens não podem ser comparados pelas características da instalação de britagem daquele trabalho.

Conforme John (1998, p.6), a viabilidade financeira de um novo produto deve ser avaliada levando em consideração o valor de mercado do produto, os custos do processo de reciclagem, mais o custo de disposição do resíduo em aterro. É indispensável, para o sucesso econômico da reciclagem, minimizar a distância entre o reciclador, o fornecedor de resíduos e o mercado consumidor (WILBURN; GOONAN, 1998, p.6 e 12), bem como o uso de

agregados reciclados deve ser avaliado localmente, baseando-se nos custos, qualidade e fatores de mercado (WILBURN; GOONAN, 1998, p.1).

Outro aspecto importante para determinação do custo final do agregado são os custos de transporte. Wilburn e Goonan (1998, p.11) apontam que a reciclagem não é afetada diretamente pelos custos de transporte dos resíduos até a usina de reciclagem de RCD, pois estes custos são arcados pelo gerador. No entanto a distância de transporte é um elemento significativo, custando aproximadamente 0,13 US\$/km, nos EUA em 1995. Também apontam a necessidade de se comparar o custo de reciclagem com o custo de disposição em aterro sanitário. No Brasil o custo de transporte dos resíduos até a usina de reciclagem de RCD são arcados pelo gerador. Desta forma, estes custos não foram considerados para determinação da viabilidade econômica da usina de reciclagem. Este item do trabalho relatará os parâmetros utilizados e de que forma foram determinados os custos de implantação, operação e manutenção para montagem desta planilha eletrônica.

6.2.1 Custos de Implantação

Wilburn e Goonan (1998, p.13) consideram como investimento os equipamentos móveis e estacionários, construções civis, infra-estrutura e capital de giro. A infra-estrutura inclui os custos de construção e instalação de acessos e estradas, instalações de água e energia elétrica, vestiários e alojamentos. O capital de giro é estimado em 15% dos custos variáveis de operação. No presente trabalho não foi considerado o capital de giro por simplificação. Além destes itens também devem ser contabilizados os custos para barreira acústica e de poeira e a possibilidade de arrendamento do terreno. No caso de aquisição do terreno, este é considerado como custo de implantação e no caso de ser alugado é considerado como custo de operação. O custo de implantação da Usina de Reciclagem de RCD é dado pela equação 8.

$$C_{imp} = C_e + C_{mvp} + C_{ie} + C_t + C_{oc} \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

C_{imp} : custo de implantação da usina de reciclagem de RCD;

Ce: custo de aquisição de equipamentos, tais como, britador, esteiras, peneiras, calhas vibratórias, pá carregadeira, entre outros;

Cmvp: custo de aquisição de máquinas e veículos próprios;

Cie: custo de instalação de equipamentos;

Ct: custo de aquisição do terreno;

Coc: custo de obras civis, tais como, terraplenagem, construção civis da administração e guarita, barreira vegetal e obras de contenção.

6.2.1.1 Custo de Aquisição de Equipamentos

Os custos médios de aquisição de equipamentos estão apresentados na tabela 20. Estes dados foram obtidos junto a cinco fabricantes de equipamentos através de pesquisa orientada, ou seja, sempre considerando o mesmo lay-out de produção e potência dos equipamentos. Os custos coletados incluem o frete até uma distância de 1.000 km da cidade de São Paulo. Para usinas de reciclagem com produção de bica corrida considera-se o custo do alimentador vibratório, britador de impacto e correias transportadoras. Para usinas de reciclagem com produção de agregados para concreto (areia e brita) considera-se o custo do alimentador vibratório, calha vibratória, grelha vibratória, britador de mandíbulas, rebritador de mandíbulas, moinho de martelos, peneiras e correias transportadoras. Comparando-se os custos de aquisição de equipamentos do presente trabalho com os custos de aquisição atualizados (aplicou-se um fator de correção de 30% pois a data base era fevereiro de 2001) utilizados por Almeida e Chaves (2001, p.55) para uma usina com capacidade de 20 t/h, observa-se que os preços apresentam bastante proximidade, com uma diferença nos preços totais de aproximadamente R\$ 46.000,00, equivalente a 15%. Esta diferença reside basicamente nos transportadores de correias, pois os referidos autores utilizaram um comprimento total de 70 m, enquanto que no presente trabalho utilizou-se um comprimento total de 40 m. No entanto, Almeida e Chaves (2001, p.56) prevêm ainda um custo adicional para aquisição de equipamentos auxiliares de 30% sobre o custo dos equipamentos principais, além de um percentual de 23,8% para serviços de engenharia, impostos, transportes, seguros, móveis e utensílios. Pinto (1999, p.138 e 140) indica o valor de R\$ 170.000,00, ano base 1998, para aquisição dos equipamentos para uma usina com capacidade de 40 t/h. Atualizando-se para 2005, este valor é de aproximadamente R\$ 270.000,00, bem abaixo do valor adotado no presente trabalho que é de aproximadamente R\$ 480.000,00.

Tabela 20: preços médios (jan/2005) de aquisição de equipamentos para britagem

Capacidade de Produção (ton/h)	Alimentador Vibratório	Calha Vibratória	Grelha Vibratória	Britador de Mandíbulas	Rebritador de Mandíbulas	Moinho de Martelo	Britador de Impacto	Peneiras	Correias	
									Bica Corrida	Areia e Brita
20	31	5		98	60	30	85	28	23,25	62
30	40	8		136	73,8	37	95	35	27,9	73,6
40	53	9,3		160	80	50	107	43	31	85,25
50	62	15	32	183	100	75	125	60,5	37,2	115,2
75	75	16	32	238	120	100	185	78	48	135,75
100	90	18	32	293	120	100	245	95,5	56	151,5

(fonte: informação dos fabricantes)

6.2.1.2 Custo de Aquisição de Máquinas e Veículos Próprios

As máquinas e veículos necessários em uma usina de reciclagem de RCD são retro-escavadeira ou pá carregadeira, conforme a capacidade da usina, e caminhão basculante. Estas máquinas e veículos podem ser comprados ou alugados. No caso de serem alugados, o aluguel mensal fará parte dos custos de operação. No caso de aquisição, os custos são: R\$ 165.000,00 para retro-escavadeira, R\$ 295.000,00 para pá carregadeira e R\$125.000,00 para caminhão basculante, conforme pesquisa realizada com fabricantes destes equipamentos.

6.2.1.3 Custo de Instalação de Equipamentos

Os custos de instalações mecânicas e elétricas de equipamentos obedecem a um percentual do custo de aquisição dos equipamentos, sendo 5% e 10% respectivamente. O custo de obras de terraplenagem e obras de contenção é arbitrado em um percentual de 5% sobre o custo de aquisição dos equipamentos. Estes percentuais foram estipulados conforme levantamento junto aos fabricantes de equipamentos (NORTEC, 2004), estando bastante próximos aos adotados por Almeida e Chaves (2001, p.56) para montagem e instalações eletromecânicas, que é de 20% sobre os equipamentos principais.

6.2.1.4 Custo de Aquisição do Terreno

A área requerida para instalação da usina de reciclagem foi arbitrada com base nas visitas técnicas realizadas às diversas usinas em atividade, conforme quadro 7, e são bem menores do que aquelas arbitradas por Wilburn e Goonan (1998, p.15): 20.000 m² para uma usina de pequeno porte (110.000 t/ano), 40.000 m² para uma usina de médio porte (253.000 t/ano) e 60.000 m² para uma usina de grande porte (312.000 t/ano). Para cálculo do valor de aquisição do terreno foi considerado o tamanho do terreno em função da capacidade de produção da usina de reciclagem, conforme tabela 21, e o seu custo unitário, obtido junto ao banco de dados de imóveis do Setor de Avaliações da Caixa Econômica Federal no Rio Grande do Sul, variando em função da população do município e da área requerida, conforme tabela 22. Apesar de sofrerem interpolações e extrapolações, estes valores unitários são considerados razoáveis para um estudo inicial de viabilidade econômica.

Tabela 21: área requerida para usina de reciclagem em função da capacidade de produção

Capacidade de Produção Ton/h	Capacidade de Produção Ton/ano	Área Requerida m ²
10	21.000	5.000
20	42.000	6.500
30	63.000	8.000
40	84.000	10.000
50	105.000	12.000
75	158.000	16.000
100	210.000	20.000

Tabela 22: valor unitário do terreno em função da população e da área requerida

População habitantes	Área Requerida m ²	Valor unitário R\$/m ²
menor que 400.000	qualquer	25,00
menor que 900.000	qualquer	30,00
maior que 900.000	até 8.000	40,00
	até 12.000	35,00
	até 20.000	30,00
	acima de 20.000	20,00

6.2.1.5 Custo de Obras Civis

O custo de obras civis abrange o custo de construção civil da administração, da guarita e da barreira vegetal. O custo de construção da administração e da guarita prevê a construção de um prédio de 100 m², com custo unitário de 70% do CUB, arbitrado por comparação a obras similares, e bastante próximo ao custo médio do SINAPI (2005). O custo de execução da barreira vegetal é estimado pelo plantio de uma muda de árvore a cada dois metros em todo perímetro da área da usina de reciclagem, com custo unitário de R\$ 3,00. Para Almeida e Chaves (2001, p.56) os custos de obras civis correspondem à 10% do custo de aquisição dos equipamentos principais. No presente trabalho, para uma usina de igual capacidade o custo das obras civil correspondeu a 19% do custo de aquisição dos equipamentos, no entanto, quanto maior for a capacidade da usina menor será este percentual. Já Pinto (1999, p.138 e 140) indica o valor de R\$ 60.000,00, ano base 1998, para as obras de topografia, drenagem superficial, cercamento, cortina vegetal, guarita, escritório, vestiários e bases dos equipamentos, para uma usina com capacidade de 40 t/h, representando um percentual de 22% sobre o custo de aquisição de equipamentos.

6.2.2 Custos de Operação

Conforme Wilburn e Goonan (1998, p.13), os custos variáveis de operação incluem mão-de-obra de operação e manutenção, operação do estoque e utilidades. Os custos fixos de operação incluem mão-de-obra técnica e administrativa, *payroll overhead*, aluguel do terreno, custos administrativos, custos de propaganda e vendas, taxas, seguro, depreciação e custos de licenças. No presente trabalho os custos de operação do estoque já estão considerados na aquisição ou aluguel de máquinas e veículos. Ademais, por simplificação, não serão considerados custos de propaganda e vendas. O custo de operação da usina de reciclagem de RCD é expresso pela equação 9.

$$\text{Cop} = \text{Cmo} + \text{Cvmea} + \text{Cvmep} + \text{Cins} + \text{Cda} + \text{Cat} + \text{Cimp} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

Cop: custo de operação da usina de reciclagem de RCD;

Cmo: custo de mão-de-obra própria para operação da usina, incluindo salários, leis sociais, benefícios, EPI's (equipamentos de proteção individual);

Cvmea: custo de veículos, máquinas e equipamentos alugados;

Cvmep: custo de operação de veículos, máquinas e equipamentos próprios;

Cins: custo dos insumos de produção, quais sejam, água e energia elétrica;

Cda: custo de despesas administrativas, tais como, mão-de-obra administrativa, telefone, vigilância e material de consumo;

Cat: custo de aluguel do terreno, no caso do terreno não ser adquirido;

Cimp: custo de impostos, quais sejam, PIS/COFINS, IPI, ICMS, imposto de renda e contribuição social.

6.2.2.1 Custo de Mão-de-obra de Produção

A equipe de produção da usina de reciclagem de RCD foi arbitrada em função da capacidade de produção da usina com base na análise das diversas usinas visitadas, conforme quadro 7 e nas entrevistas com os fabricantes de equipamentos, como apresentado na tabela 23.

Tabela 23: composição da equipe de operação de usinas de reciclagem de RCD

EQUIPE DE OPERAÇÃO			
Capacidade de Produção	Encarregado	Operador de Equipamentos	Auxiliar de Produção
até 10 t/h	1	1	3
até 30 t/h			4
até 50 t/h			6
até 75 t/h		2	8
até 100 t/h			10
acima de 100 t/h		3	12
Salários (R\$/h)	6,50	4,00	2,00

Os salários previstos também estão apresentados na tabela 23 e são para uma jornada de 44 horas semanais e 22 dias trabalhados no mês. Estes valores são os praticados na indústria da construção civil. O custo das leis sociais é de 139,52% sobre os salários. Também estão inclusos os custos de vale-transporte (R\$ 3,10/dia), vale-refeição (R\$ 6,20/dia) e plano de saúde (R\$ 61,00/mês). Estes valores foram obtidos através de pesquisa de mercado em Porto Alegre. O custo dos equipamentos de proteção individual está descrito na tabela 24, e também foram obtidos através de pesquisa de mercado. Wilburn e Goonan (1998, p.19) afirmam que o acréscimo do custo unitário do produto em função da mão-de-obra, de uma usina de pequeno

porte para uma usina de grande porte, é de apenas 42%, enquanto que a capacidade da usina praticamente triplica. A pré-seleção é uma operação que necessita de um grande número de funcionários, no entanto este é um procedimento vantajoso para a retirada de impurezas do RCD.

Tabela 24: custo dos equipamentos de proteção individual

Discriminação	Período de troca	Valor unitário
	meses	R\$/peça
Calça	6	15,80
Jaleco	6	15,30
Camiseta	3	9,00
Botina	6	26,80
Luvras	3	4,00
Capacete	12	5,60
Óculos	6	6,00
Protetor auricular	1	2,30

6.2.2.2 Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados

Este item compreende o custo de aluguel de caminhão basculante e pá carregadeira ou retro-escavadeira conforme o caso. Para usinas com capacidade de produção menores de 30 t/h é escolhida a retro-escavadeira, caso contrário a opção é a pá carregadeira. Esta opção se dá em função do custo do equipamento e também que, em usinas com capacidade inferior a 30 t/h a retro-escavadeira realiza os serviços necessários de maneira adequada. Os custos horários dos equipamentos são: caminhão basculante R\$ 20,00/h, pá carregadeira R\$ 80,00/h e retro-escavadeira R\$ 40,00/h, para uma jornada de 44 horas semanais e 22 dias trabalhados/mês.

6.2.2.3 Custo de Operação de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios

No caso de optar-se por veículos e máquinas próprios há de se considerar os custos de mão-de-obra dos operadores e motoristas destes equipamentos, o custo de combustível e o custo de licenciamento e seguro do caminhão. O custo de mão-de-obra compreende os salários do operador e motorista (R\$ 4,00/h), leis sociais, benefícios e equipamentos de proteção individual (da mesma forma que para a mão-de-obra de produção). Da mesma forma que no

item anterior, a opção entre pá carregadeira e retro-escavadeira se dará em função da capacidade de produção da usina, devido ao custo do equipamento e porque em usinas com capacidade inferior a 30 t/h a retro-escavadeira realiza os serviços necessários de maneira adequada. Portanto, para usinas com capacidade de produção de até 30 ton/h é escolhida a retro-escavadeira, caso contrário a opção é a pá carregadeira. O consumo de combustível é de 16 litros/h para a pá carregadeira e de 8 litros/hora para a retro-escavadeira. A previsão de quilômetros rodados por mês para o caminhão é de 1.000 km para usinas com capacidade de produção de até 25 ton/h, de 1.800 km para usinas com capacidade de produção de até 50 ton/h e 2.500 km para usinas com capacidade maior que esta. O custo do óleo diesel utilizado é de R\$ 1,70/litro. O custo de licenciamento e seguro do caminhão é de R\$ 1.125,00/mês.

6.2.2.4 Custo dos Insumos de Produção

Os insumos de produção são a água e energia elétrica. O consumo de água é calculado em função da capacidade de produção da usina, conforme equação 10. O coeficiente 0,08 foi baseado no consumo de água apresentado nas usinas da Pampulha e Estoril em Belo Horizonte. O valor unitário da água é R\$ 5,60/m³, adotado em função dos valores cobrados pelas concessionárias de água de Belo Horizonte e Porto Alegre. O consumo de energia elétrica é dado em função dos equipamentos instalados conforme a capacidade de produção da usina e a finalidade do agregado produzido. As potências dos equipamentos utilizados estão apresentadas na tabela 25. O custo unitário da energia elétrica é de R\$ 0,40/kW.hora, valor cobrado pela concessionária de energia elétrica em Porto Alegre. Para uma usina de 20 t/h para produção de agregados para concreto, Almeida e Chaves (2001, p.58) consideraram uma potência instalada de 75 kW, enquanto que no presente trabalho a mesma usina tem uma potência instalada de aproximadamente 94 kW, 25% superior.

$$\text{Custo mensal de água} = \text{Capacidade de produção} \times 0,08 \times 5,60 \quad (\text{equação 10})$$

Tabela 25: potência dos equipamentos para britagem

Capacidade de Produção	Alimentador Vibratório	Calha Vibratória	Grelha Vibratória	Britador de Mandíbulas	Rebritador de Mandíbulas	Moinho de Martelo	Britador de Impacto	Peneiras	Correias	
									Bica Corrida	Areia e Brita
(ton/h)	(kW)									
20	2,94	1,47		19,61	15,00	40,00	22,07	3,68	2,94	11,03
30	3,79	1,84		19,42	18,39	44,13	29,42	5,52	2,94	13,24
40	3,79	2,20		35,00	27,59	73,55	36,78	7,36	3,68	13,24
50	5,51	2,41	7,35	42,00	36,78	91,50	44,13	9,20	4,41	26,48
75	11,03	2,94	7,35	58,00	45,97	110,00	73,55	11,03	9,19	27,58
100	14,71	4,40	7,35	75,00	45,97	110,00	110,00	12,86	11,03	30,16

(fonte: informação dos fabricantes)

6.2.2.5 Custo de Despesas Administrativas

As despesas administrativas são compostas pelo custo de mão-de-obra administrativa, de telefone, de material de consumo e de vigilância. O custo de mão-de-obra administrativa prevê um funcionário com salário mensal de três salários mínimos, incluindo leis sociais e benefícios, de forma idêntica ao considerado para mão-de-obra de produção. Os custos de telefone e material de consumo foram apropriados conforme levantamento efetuado nas usinas de reciclagem de Belo Horizonte, tendo um custo fixo mensal médio de R\$ 160,00/mês e R\$ 410,00/mês respectivamente. O valor da tarifa básica mensal das concessionárias que atendem os municípios de Belo Horizonte e Porto Alegre são muito próximos, sendo adotado o custo levantado nas usinas de Belo Horizonte. O custo de vigilância prevê um vigilante 24 horas por dia, durante todos os dias da semana, o que representa um custo mensal de R\$ 5.419,00/mês, conforme pesquisa de mercado realizada em Porto Alegre.

6.2.2.6 Custo de Aluguel do Terreno

No caso do terreno não ser adquirido está previsto uma taxa de aluguel do terreno com custo unitário mensal de R\$ 0,35/m².mês. Obviamente este valor é multiplicado pela área requerida para instalação da usina de reciclagem, conforme apresentado na tabela 21.

6.2.2.7 Custo de Impostos

Como qualquer atividade industrial, sobre a produção de agregados reciclados há a incidência de impostos. Foram considerados como impostos sobre receita o PIS/COFINS (3,65%), (PINTO, J. R. D., 2004, p.218 e 320) e o ICMS (17%). Não há a incidência de IPI conforme Lei 4502 de 30/11/1964, Seção V, Capítulo 25, item 2517.10.00 (BRASIL, 1964). Também foram previstos os impostos sobre o lucro líquido, quais sejam, imposto de renda (15%) (PINTO, J. R. D., 2004, p.79) e contribuição social (9,00%) (PINTO, J. R. D., 2004, p.187).

6.2.3 Custos de Manutenção

O custo de manutenção da Usina de Reciclagem de RCD é dado pela equação 11.

$$C_{man} = C_{tpd} + C_{mpeb} + C_{mpmvp} + C_{mc} + C_{de} + C_{dmvp} + C_{moct} + C_{doc} \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

C_{man} : custo de manutenção da usina de reciclagem de RCD;

C_{tpd} : custo de troca de peças de desgaste;

C_{mpeb} : custo de manutenção preventiva dos equipamentos de britagem;

C_{mpmvp} : custo de manutenção preventiva de máquinas e veículos próprios;

C_{mc} : custo de manutenção corretiva;

C_{de} : custo de depreciação de equipamentos;

C_{dmvp} : custo de depreciação de máquinas e veículos próprios;

C_{moct} : custo de manutenção das obras civis, terraplenagem e contenções;

C_{doc} : custo de depreciação das obras civis.

6.2.3.1 Custo de Troca de Peças de Desgaste

Para Maqbrit (2004) é difícil precisar o custo das peças de desgaste, sendo utilizado um percentual do custo de implantação. Já Tectrix (2004) indica que o teor de sílica do material a ser britado é muito importante, sendo que o consumo das peças de desgaste é de 2 à 4 g/ton de

material britado, sendo que o jogo de barras de um britador de impacto dura 480 horas de trabalho. O custo de troca das peças de desgaste foi calculado com base no custo unitário das peças de desgaste e na durabilidade destas peças, conforme levantamento efetivado junto aos fabricantes de equipamentos. Na tabela 26 são apresentados estes dados.

Tabela 26: custo de troca das peças de desgaste dos equipamentos de britagem

Equipamento	Peça	Custo	Ciclo de produção para substituição	Custo de substituição
		R\$	toneladas	R\$/t
Alimentador vibratório	trilho	800,00	100.000	0,008
Calha Vibratória				-
Grelha Vibratória	trilho	800,00	100.000	0,008
Britador de Mandíbulas	mandíbula fixa	2.300,00	80.000	0,083
	mandíbula móvel	2.400,00	50.000	
	cunha lateral	500,00	80.000	
Rebritador de Mandíbulas	mandíbula fixa	1.550,00	80.000	0,058
	mandíbula móvel	1.600,00	50.000	
	cunha lateral	500,00	80.000	
Moinho de Martelo	martelos	640,00	7.000	0,145
	grelha	1.600,00	30.000	
Britador de Impacto	barra	5.000,00	35.000	0,143
Peneiras	tela 1.1/4"	2.160,00	190.000	0,051
	tela 3/4"	2.600,00	183.000	
	tela 3/8"	2.600,00	175.000	
	tela 3/16"	1.800,00	168.000	
Correias Transportadoras	roletes	1.100,00	250.000	0,007
	cinta	750,00	300.000	

6.2.3.2 Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem

O custo de manutenção preventiva dos equipamentos de britagem foi calculado com base na mão-de-obra necessária para troca das peças de desgaste, lubrificação e manutenção geral dos equipamentos, conforme levantamento efetivado junto a cinco fabricantes de equipamentos, e com o valor da hora de manutenção arbitrada em R\$ 50,00. Na tabela 27 são apresentados estes dados.

Tabela 27: quantidade de horas mensais de mão-de-obra para manutenção preventiva dos equipamentos de britagem

Equipamento	Quantidade de horas para troca de peças e manutenção preventiva
	Horas
Alimentador vibratório	4,75
Calha Vibratória	1,00
Grelha Vibratória	5,00
Britador de Mandíbulas	10,00
Rebritador de Mandíbulas	10,00
Moinho de Martelo	10,00
Britador de Impacto	15,00
Peneiras	4,25
Correias Transportadoras	5,00

6.2.3.3 Custo de Manutenção Preventiva das Máquinas e Veículos Próprios

Os custos de manutenção preventiva são calculados para máquinas e veículos adquiridos, e estão apresentados na tabela 28. Este custo foi obtido em entrevistas com fabricantes de pás-carregadeiras, retroscavadeiras e caminhões, e com empresários do setor de terraplenagem. O custo de manutenção preventiva das máquinas é função das horas trabalhadas por mês e o custo de manutenção preventiva dos caminhões é função da capacidade de produção da usina de reciclagem, sendo que na tabela este custo está exemplificado para uma usina de 40 ton/h.

Tabela 28: custo de manutenção preventiva de máquinas e veículos próprios

EQUIPAMENTO	ITEM	CUSTO	Durabilidade	Custo Mensal (R\$)
Pá-carregadeira	Total			1.565,28
	Peças	R\$ 2,76/h		534,34
	Mão-de-obra	R\$ 2,98/h		576,93
	Pneus	R\$ 3.200,00/pç	7.000 h	354,01
	Lubrificação	R\$ 100,00/mês		100,00
Retroscavadeira	Total			1.392,86
	Peças	R\$ 3,04/h		588,54
	Mão-de-obra	R\$ 2,63/h		509,17
	Pneus dianteiros	R\$ 800,00/pç	5.000 h	195,15
	Pneus traseiros	R\$ 1.800,00/pç	5.000 h	
	Lubrificação	R\$ 100,00/mês		100,00
Caminhão	Total			494,66
	Peças	R\$ 0,007/km		44,04
	Mão-de-obra (inclui óleo, lubrificante e filtros)	R\$ 0,042/km		75,00
	Pneus	R\$ 1.276,00/pç	50.000 km	275,62
	Lubrificação	R\$ 100,00/mês		100,00

Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.

6.2.3.4 Custo de Manutenção Corretiva

O custo de manutenção corretiva foi arbitrado em R\$ 1.090,00/mês, conforme dados coletados nas usinas de reciclagem de Belo Horizonte. As usinas de outros municípios não apresentavam este dado catalogado e discriminado.

6.2.3.5 Custo de Depreciação de Equipamentos

O custo de depreciação dos equipamentos de britagem é calculado de forma linear para um período de 10 anos, de acordo com o indicado por Greco e Arend (1998, p.348) para instalações e maquinários, considerando um valor residual de 10% do custo de aquisição.

6.2.3.6 Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios

O custo de depreciação das máquinas e veículos próprios é calculado de forma linear para um período de 10 anos, considerando um valor residual de 10% do custo de aquisição destas máquinas e veículos. Conforme Greco e Arend (1998, p.347 e 348), o período de depreciação para veículos de carga é de cinco anos, no entanto, estes autores indicam que pode-se utilizar prazos superiores aos indicados. Conforme levantamento junto aos empresários do setor de terraplenagem, estes equipamentos continuam em serviço, mesmo depois de dez anos. Devido a estes fatos, adotou-se o período de 10 anos.

6.2.3.7 Custo de Manutenção das Obras Civas, Terraplenagem e Contenções

O custo de manutenção das obras civis é arbitrado como um percentual do custo de implantação das obras civis (1,0% anuais) e o custo de manutenção das obras de terraplenagem e contenções é arbitrado como um percentual do custo de implantação destas obras (5,0 % anuais) (NORTEC, 2004).

6.2.3.8 Custo de Depreciação das Obras Civis

O custo de depreciação das obras civis é calculado de forma linear para um período de 20 anos sem valor residual previsto. Segundo Greco e Arend (1998, p.347) o período de depreciação de edifícios e benfeitorias é de 25 anos, no entanto, com a finalidade de adequar o prazo de depreciação com o horizonte de planejamento, adotou-se o prazo de 20 anos, por simplificação.

6.3 APRESENTAÇÃO DA PLANILHA ELETRÔNICA DESENVOLVIDA PARA DEFINIÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

De posse dos custos de instalação, operação e manutenção de uma usina de reciclagem de RCD foi desenvolvido o aplicativo em planilha eletrônica para a determinação da viabilidade econômico financeira da instalação de usinas de reciclagem de RCD. A seguir são apresentadas as diversas telas desta planilha eletrônica, bem como são desenvolvidos os comentários sobre os parâmetros de cálculo adotados.

6.3.1 Dados de Entrada

Nos quadros 8 e 9 está apresentada a tela “dados de entrada I” e nos quadros 10, 11 e 12 a tela “dados de entrada II”. Estas duas telas referem-se aos dados necessários para o cálculo da viabilidade econômica para a implantação da usina de reciclagem de RCD. A primeira tela é de preenchimento obrigatório aonde são inseridos os dados referentes à quantidade de resíduo gerado, ao terreno, ao financiamento, aos impostos e à viabilidade econômica. A segunda tela é de preenchimento opcional, permitindo ao usuário a alteração de algum custo relacionado com mão-de-obra (quadro 10), equipamentos (quadro 11), máquinas e veículos e outros custos (quadro 12) de forma direta, caso não deseje utilizar os valores padrões. Os valores padrões são aqueles determinados a partir das visitas técnicas, conforme demonstrado no quadro 7. As células a serem preenchidas pelo usuário são aquelas que estão hachuradas. A tela “valores de cálculo” exhibe os valores utilizados pela planilha eletrônica para o cálculo de viabilidade após inserção de dados pelo usuário e também aqueles valores padrões que não

foram alterados pelo usuário. Após o preenchimento destas telas, a planilha calcula automaticamente a viabilidade econômica da usina de reciclagem de RCD em estudo. A seguir são apresentados e discutidos os itens da tela “dados de entrada I”.

VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RCD						
DADOS DE ENTRADA		VALOR	UNIDADE	Valor de Referência		
				baixo/ inferior	normal	alta/ superior
1) QUANTIDADE DE RESÍDUO GERADO	Volume de RCD gerado pesquisado		ton/mês			
	Nº habitantes do município	1.000.000	habitantes			
	Taxa de geração de RCD em função da população		kg/hab.ano	250	500	
	Área construída no município anual		m ²			
	Taxa de geração de RCD em função da área construída		kg/m ²	50	100	150
	Capacidade de produção arbitrada	30	ton/h			
	Taxa de captação de resíduo		%	5,00	10,00	20,00
	Taxa de operação da Usina		%	80,00	90,00	95,00
3) TERRENO	Área requerida para implantação da usina		m ²	5.000	8.000	20.000
	Custo Unitário de compra do terreno		R\$/m ²	15,00	35,00	60,00
	Valor de compra do terreno		R\$		320.000	
	Custo Unitário de aluguel do terreno		R\$/m ²	0,15	0,35	0,60
	Valor de aluguel do terreno		R\$		0,00	
4) FINANCIAMENTO	Taxa de juros FGTS		%		10,20	
6) IMPOSTOS	PIS/COFINS		%		3,65	
	IPI		%		0,00	
	ICMS		%		17,00	
	IR		%		15,00	
	Contribuição Social		%		9,00	
7) VIABILIDADE	Taxa Mínima de Atratividade		%	8,00	12,00	15,00
	Valor de venda do agregado reciclado - brita e areia	20,00	R\$/m ³		19,00	
	Valor de venda do agregado reciclado - bica corrida	15,00	R\$/m ³		15,50	
	Valor residual dos equipamentos		%		10,00	
	Valor residual do terreno		%		90,00	

Quadro 8: dados de entrada I – parte I

ATENÇÃO: PREENCHIMENTO OBRIGATÓRIO

1) QUANTIDADE DE RESÍDUO GERADO

Por pesquisa direta
 Arbitrado pelo nº de habitantes
 Arbitrado pela área construída
 Capacidade de produção arbitrada

2) FINALIDADE DO AGREGADO PRODUZIDO

Pavimentação
 Concreto
 Produção de blocos e pavers
 Produção de Areia Artificial

3) TERRENO

Compra
 Aluguel

4) FINANCIAMENTO

Sim Não

Percentual de Financiamento	0,00%	85,00%
Valor do Financiamento		R\$0,00

5) VEÍCULOS E MÁQUINAS

5.1) PÁ CARREGADEIRA OU RETROESCAVADEIRA

Compra Aluguel

5.2) CAMINHÃO

Compra Aluguel

6) IMPOSTOS

Empresa Pública Empresa Privada

Quadro 9: dados de entrada I – parte II

VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RCD							
DADOS DE ENTRADA			VALOR	UNIDADE	Valor Padrão		
					baixo/ inferior	normal	alta/ superior
MÃO DE OBRA	Nº OPERÁRIOS	Encarregado			1	1	1
		Operador de máquina			1	1	4
		Auxiliares			4	6	12
		Funcionários Administrativos			1	1	2
	HORÁRIO DE TRABALHO	Nº horas trabalhadas por dia			8,80	8,80	10,80
		Nº dias trabalhados por mês			22,00	22,00	26,00
	SALÁRIOS	Salário-hora encarregado		R\$/hora		6,50	
		Salário-hora operador		R\$/hora		4,00	
		Salário-hora auxiliar		R\$/hora		2,00	
		Salário mensal aux. administrativo		R\$/mês		780,00	
	BENEFÍCIOS	Valor vale-transporte		R\$/vale		1,55	
		Valor vale-refeição		R\$/vale		6,20	
		Custo plano de saúde		R\$/funcion.		61,00	
	EPI	Custo Calça		R\$/pç		15,80	
		Custo Jaleco		R\$/pç		15,30	
		Custo Camiseta		R\$/pç		9,00	
		Custo Botina		R\$/pç		26,80	
		Custo Luvas		R\$/pç		3,97	
		Custo Capacete		R\$/pç		5,60	
		Custo Óculos de Proteção		R\$/pç		6,00	
Custo Protetor Auricular			R\$/pç		2,33		

Quadro 10: dados de entrada II – parte I – dados referentes à mão-de-obra

VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RCD							
DADOS DE ENTRADA			VALOR	UNIDADE	Valor Padrão		
					baixo/ inferior	normal	alta/ superior
EQUIPAMENTOS	AQUISIÇÃO	Rompedor Hidráulico	0,00	R\$			
		Tesoura Hidráulica	0,00	R\$			
		Pulverizador	0,00	R\$			
		Alimentador vibratório		R\$			
		Britador de Impacto		R\$			
		Grelha vibratória		R\$			
		Britador de Mandíbula		R\$			
		Rebritador de Mandíbula		R\$			
		Moinho de Martelos ou V.S.I.		R\$			
		Calha Vibratória		R\$			
		Peneira Vibratória		R\$			
		Transportador de correias		R\$			
		Outros		R\$			
		Outros		R\$			
	INSTALAÇÃO	Instalação Elétrica		%		0,10	
		Montagem		%		0,05	
		Terraplenagem e contenções		%		0,05	
		Custo de Instalação Elétrica		R\$		40.394,00	
		Custo de Montagem		R\$		20.197,00	
		Custo de Terraplenagem e contenções		R\$		20.197,00	
MANUTENÇÃO	Valor hora de manutenção		R\$/hora		50,00		
	Custo de manutenção corretiva		R\$/mês		1.092,00		

Quadro 11: dados de entrada II – parte II – dados referentes aos equipamentos

VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RCD								
DADOS DE ENTRADA			VALOR	UNIDADE	Valor Padrão			
					baixo/ inferior	normal	alta/ superior	
MÁQUINAS E VEÍCULOS	ALUGADOS	Valor hora Pá Carregadeira alugada		R\$/hora	80,00			
		Pá Carregadeira		R\$/mês	15.488			
		Valor hora Retroescavadeira alugada		R\$/hora	40,00			
		Retroescavadeira		R\$/mês	7.744			
		Valor hora Caminhão Basculante			25,00			
		Caminhão Basculante		R\$/mês	4.840			
		Outros		R\$/mês				
	PRÓPRIOS		Custo Aquisição Pá Carregadeira		R\$	295.000		
			Custo Aquisição Retroescavadeira		R\$	165.000		
			Custo Aquisição Caminhão		R\$	125.000		
			Custo Aquisição outros máquinas/veículos		R\$			
			Óleo Diesel		R\$/litro	1,70		
			Peças Pá Carregadeira		R\$/mês	534,34		
			Peças Retroescavadeira		R\$/mês	588,54		
			Peças Caminhão		R\$/mês	44,04		
			Manutenção Pá Carregadeira - MO		R\$/mês	576,93		
			Manutenção Retroescavadeira - MO		R\$/mês	509,17		
			Manutenção Caminhão		R\$/mês	75,00		
			Pneus Pá Carregadeira		R\$/peça	3.200,00		
			Pneus Retroescavadeira - traseiro		R\$/peça	1.800,00		
			Pneus Caminhão - inclui acessórios		R\$/peça	1.276,00		
			Licenciamento e seguro do caminhão		R\$/ano	13.500,00		
			Lubrificação e lavagem Pá Carregadeira		R\$/mês	100,00		
			Lubrificação e lavagem Retroescavadeira		R\$/mês	100,00		
			Lubrificação e lavagem Caminhão		R\$/mês	100,00		
		Previsão kilometragem Caminhão		km/mês	1.800			
	CUSTOS DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA		Tarifa de água		R\$/m³	5,60		
		Custo Mensal de Água		R\$/mês	2.341,79			
		Tarifa de Energia Elétrica		R\$/kW.h	0,40			
		Custo Mensal de Energia Elétrica		R\$/mês	9.008,52			
DESPESAS INDIRETAS		Telefone		R\$/mês	162,00			
		Vigilância		R\$/mês	5.419,00			
		Material de Consumo		R\$/mês	411,00			
Área Construída		Área construída para escritório e refeitório		m²	100,00			
		Valor do CUB	830,00	R\$/m²				
Barreira Vegetal		Custo de muda vegetal		R\$/m²	3,00			

Quadro 12: dados de entrada II – parte III – dados referentes às máquinas e veículos e dados diversos

6.3.1.1 Quantidade de Resíduo Gerado

A planilha para determinação da viabilidade econômica, conforme quadro 9 “dados de entrada I – parte II” item 1, apresenta a possibilidade do usuário determinar a quantidade de resíduo gerado através de quatro opções: por pesquisa direta, arbitrado com base no número de habitantes no município, pela área construída ou ainda pela capacidade de produção da usina

de reciclagem. Na primeira opção o usuário deve saber a quantidade de resíduo gerado no município através de uma pesquisa realizada para este fim. Como uma pesquisa deste tipo demanda muito tempo e recursos, a planilha dispõe das outras alternativas. A quarta opção é a mais fácil e direta de utilizar, sendo que o usuário estabelece qual a capacidade de produção da usina que pretende instalar. As segunda e terceira opções estão descritas no quadro 13.

Também são solicitadas as informações referentes à taxa de captação de resíduos e à taxa de operação da usina, sendo que a informação sobre a taxa de captação de resíduos é importante para determinar a capacidade de produção da usina nas três primeiras opções descritas anteriormente (por pesquisa direta, arbitrado com base no número de habitantes no município ou pela área construída). O valor padrão para a taxa de captação de resíduos é de 10%, mesmo índice obtido pela prefeitura municipal de Belo Horizonte. Ademais, de acordo com Pinto (1999, p.88), em 1988, o Japão reciclava 22% dos RCD gerados. O valor padrão para a taxa de operação da usina de reciclagem é de 90%, prevendo-se que os equipamentos não atingirão sua capacidade plena e algumas paradas necessárias para manutenção de equipamentos.

Item	Dado de Entrada / Valor de Referência	Equação de Cálculo	Fonte / Observações
Arbitrado através do número de habitantes	Número de habitantes do município	Geração normal: 500 kg/hab.ano = 1,7 kg/hab.dia útil	Conforme tabela 3.
		Geração baixa: 250 kg/hab.ano = 1,0 kg/hab.dia útil	
Arbitrado através da área construída	Área construída por mês no município	Geração alta: 150 kg/m ² área construída	Conforme item 2.2.
		Geração média: 100 kg/m ² área construída	
		Geração baixa: 50 kg/m ² área construída	

Quadro 13: parâmetros para cálculo da quantidade de resíduo gerado pelo número de habitantes e pela área construída

6.3.1.2 Finalidade do Agregado Produzido

Indicada a finalidade do agregado a ser produzido, serão determinados automaticamente os equipamentos necessários para cada tipo de usina. No caso do usuário optar por agregado para pavimentação (bica corrida), os equipamentos selecionados são: alimentador vibratório, britador de impacto e transportador de correias. Para produção de areia e brita os

equipamentos a serem utilizados são: alimentador vibratório, grelha vibratória, britador de mandíbula, rebritador de mandíbula, moinho de martelos, calha vibratória, peneiras e transportador de correias.

6.3.1.3 Terreno

Neste item o usuário poderá indicar se o terreno será comprado ou alugado, bem como poderá determinar a área requerida para implantação da usina e os valores de compra e de aluguel do terreno. Também poderá assumir os valores padrões determinados conforme explicado no item 6.2.1.4, tabelas 21 e 22, e no item 6.2.2.6.

6.3.1.4 Financiamento

Neste item o usuário poderá optar pela utilização ou não de financiamento, bem como determinar o percentual de financiamento e alterar a taxa de juros cobrada pela instituição financiadora. No caso de se utilizar uma linha de financiamento do FGTS a taxa de juros adotada é de 10,20% (8% de taxa de juros acrescido de 2,2% de taxa de risco de crédito), sendo o percentual máximo de financiamento de 85%. As prestações são calculadas de acordo com a tabela PRICE, com três anos de carência e prazo de amortização de quinze anos.

6.3.1.5 Veículos e Máquinas

Neste item o usuário poderá optar pela compra ou aluguel de máquinas e veículos, quais sejam, retro-escavadeira, pá-carregadeira e caminhão.

6.3.1.6 Impostos

No caso do empreendimento ser implementado por uma empresa pública não é necessária a previsão de pagamento de impostos, pois os agregados reciclados não serão comercializados e sim utilizados diretamente pelo poder público. No caso do empreendimento ser implementado

por uma empresa privada é necessária a previsão de pagamento de impostos de acordo com o descrito no item 6.2.2.7. É possível ao usuário a alteração das alíquotas previstas na planilha de cálculo.

6.3.1.7 Viabilidade Econômica

Este último item dos dados de entrada obrigatórios trata dos quesitos TMA, valor de venda dos agregados, valor residual dos equipamentos e do terreno. A taxa mínima de atratividade, conforme discussão teórica no item 5.2.3, foi composta da seguinte forma. Coletou-se junto ao mercado financeiro o rendimento de aplicações de renda fixa, sendo encontradas aplicações com rentabilidade de aproximadamente 16% anuais. No presente trabalho, tanto custos como receitas serão utilizados em valores constantes no fluxo de caixa, ou seja, descontada a inflação, que pelo IPCA 2004 foi de 7,57% (INSTITUTO... – IBGE, 2005). A taxa de retorno é de 8%, calculada pelo quociente entre rentabilidade e a inflação ($tx = 1,16 / 1,0757 = 1,08$). Acrescendo-se uma taxa de risco de 4% resulta em uma TMA de 12%.

Souza e Clemente (1997, p.81) observam que, durante a operação de transformar matéria-prima em produto acabado e sua respectiva comercialização, uma empresa precisa atender a dois requisitos básicos, quais sejam:

- a) o preço de venda do produto deve ser, no mínimo, suficiente para remunerar todos os fatores de produção utilizados no processo de transformação de matéria-prima em produto acabado;
- b) o tempo decorrido entre desembolsos e recebimentos deve ser compatível com a capacidade financeira da empresa para sustentar o ciclo em análise.

Dentro deste enfoque, acredita-se que, em relação ao valor de venda dos agregados reciclados para uso em concreto, seu valor não deva ser superior a 80% do valor do agregado natural. Na região de Porto Alegre a areia é comercializada a R\$ 18/m³ e a brita a R\$ 32/m³, tendo então um preço médio de R\$ 25/m³. Logo o preço do agregado reciclado para concreto não deve ultrapassar o valor de R\$ 20/m³. Já para o agregado para pavimentação o seu preço pode ser equiparado ao saibro, que é comercializado na região de Porto Alegre a R\$ 15/m³. Estes preços são para material colocados na obra. No presente trabalho determinou-se o preço mínimo de venda para que a usina de reciclagem apresentasse viabilidade econômica nas

diversas capacidades de produção estudadas. As transformações de unidades de “toneladas” para “metro cúbico” são feitas adotando-se para o peso específico do agregado reciclado o valor de 1,6 t/m³, conforme utilizado em Belo Horizonte (SERVIÇO... – SLU/PMBH, 2004).

Finalmente, com relação aos valores residuais dos equipamentos e do terreno, foram adotados os percentuais de 10% para equipamentos e de 90% para o terreno, considerando-se que ao cabo de 20 anos de uso e devido às obras de terraplenagem necessárias para implantação da usina de reciclagem o terreno não apresente o mesmo valor inicial.

6.3.2 Demonstrativo de Resultados

No quadro 14 está apresentada a tela “demonstrativo de resultados”. Na tela “demonstrativo de resultados” são visualizados, ao longo do horizonte de planejamento do empreendimento, os custos de operação e manutenção devidamente distribuídos conforme os tipos de custos, quais sejam, impostos sobre receita, custos de produção, despesas indiretas, juros de financiamento e impostos e taxas. A metodologia de cálculo adotada está em conformidade com a apresentada por Ferreira e Andrade (2004, p.826 a 829). A seguir são discutidos os itens desta tela:

- a) a receita operacional bruta é obtida multiplicando-se a produção de agregado reciclado pelo seu preço de venda;
- b) os impostos sobre receita são calculados conforme item 6.2.2.7. Está reservada a linha para IPI, apesar de ter alíquota zero;
- c) a receita operacional líquida é obtida pela subtração dos impostos sobre receita da receita operacional bruta;
- d) os custos de produção compreendem os custos diretamente relacionados com a produção e sub-dividem-se em custos de operação e custos de manutenção, conforme segue:
 - custos de operação: compreende os custos de operação diretamente relacionados com a produção, quais sejam, os custos de mão-de-obra de produção, descritos no item 6.2.2.1, de máquinas e veículos alugados, descritos no item 6.2.2.2, de máquinas e veículos próprios, descritos no item 6.2.2.3, de insumos de produção (água e energia elétrica), descritos no item 6.2.2.4, de aluguel do terreno, descritos no item 6.2.2.6. É importante notar que os custos de máquinas e veículos alugados e máquinas e veículos próprios são excludentes parcialmente, pois pode-se ter máquinas alugadas

e veículos comprados, e vice-versa. O custo de aluguel só estará presente se o terreno não for adquirido (custo de implantação);

- custos de manutenção: compreende os custos de manutenção diretamente relacionados com a produção, quais sejam, os custos de troca de peças de desgaste, descritos no item 6.2.3.1, de manutenção preventiva dos equipamentos de britagem, descritos no item 6.2.3.2, de manutenção preventiva de máquinas e veículos próprios, descritos no item 6.2.3.3, de manutenção corretiva, descritos no item 6.2.3.4, de depreciação de equipamentos, descritos no item 6.2.3.5 e de depreciação de máquinas e veículos próprios, descritos no item 6.2.3.6. É importante notar que os custos de manutenção preventiva e depreciação de máquinas e veículos alugados somente estarão presentes se a opção inicial for de aquisição destes itens.
- e) o resultado bruto é obtido pela subtração dos custos de produção da receita operacional líquida;
- f) as despesas indiretas compreendem outros custos que não estão diretamente relacionados com a produção e sub-dividem-se em despesas indiretas de operação e despesas indiretas de manutenção, conforme segue:
- despesas indiretas de operação: compreende outros custos de operação, quais sejam, os custos de mão-de-obra administrativa, de despesas administrativas (telefone e material de consumo) e vigilância, descritos no item 6.2.2.5. Também estão previstas outras despesas com impostos e outras despesas administrativas, caso seja necessário;
 - despesas indiretas de manutenção: compreende outros custos de manutenção, quais sejam, os custos de manutenção de obras civis, terraplenagem e contenções, descritos no item 6.2.3.7, e de depreciação de obras civis, descritos no item 6.2.3.8.
- g) o resultado antes de juros e imposto de renda é obtido subtraindo as despesas indiretas do resultado bruto;
- h) os juros de financiamento são calculados conforme descrito em 6.4.1.4;
- i) o lucro antes do imposto de renda é obtido subtraindo os juros de financiamento do resultado antes de juros e imposto de renda;
- j) os impostos e taxas, que compreendem o imposto de renda e contribuição social, são calculados conforme descrito em 6.2.2.7;
- k) finalmente o resultado líquido é obtido subtraindo os impostos e taxas do lucro antes do imposto de renda.

ITEM	DESCRIÇÃO	MEMÓRIA	Período Retorno		CUSTO FIXO/ CUSTO VARIÁVEL
			1	20	
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	(1.1)			-
1.1	Venda de agregado reciclado				-
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	soma (2.1 a 2.3)			-
2.1	PIS/COFINS	3,65%			CV
2.2	IPI	0,00%			CV
2.3	ICMS	17,00%			CV
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	(1) - (2)			-
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	(4.1 + 4.2)			-
4.1	Custos de Operação	soma (4.1.1 a 4.1.4)			-
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra				CV
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados				CF
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios				CV
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica				CV
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno				CF
4.2	Custos de Manutenção	soma (4.2.1 a 4.2.3)			-
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste				CV
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem				CV
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios				CV
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva				CV
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos				CF
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios				CF
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções				CV
5	RESULTADO BRUTO	(3) - (4)			-
6	DESPESAS INDIRETAS	(6.1 + 6.2)			-
6.1	Despesas Indiretas de Operação	soma (6.1.1 a 6.1.5)			-
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa				CF
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)				CF
6.1.3	Vigilância				CF
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)				CF
6.1.5	Outras Despesas Administrativas				CF
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	soma (6.2.1 a 6.2.2)			-
6.2.1	Manutenção de obras civis				CF
6.2.2	Depreciação de obras civis				CF
7	RAJEIR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	(5) - (6)			-
8	JUROS DE FINANCIAMENTO				CF
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	(7) - (8)			-
10	IMPOSTOS E TAXAS	soma (10.1 a 10.2)			-
10.1	Imposto de Renda	15,00%			-
10.2	Contribuição Social	9,00%			-
11	LUCRO LÍQUIDO	(9) - (10)			-

Quadro 14: tela “demonstrativo de resultados”

6.3.3 Fluxo de Caixa

Na tela “fluxo de caixa” são visualizadas as receitas e os custos, que representam as entradas e saídas de caixa ao longo do horizonte de planejamento do empreendimento de 20 anos. Nesta tela são apresentados os critérios de análise de investimentos adotados para a análise do empreendimento em questão e alguns dos valores de cálculo adotados. No quadro 15 está apresentada tela “fluxo de caixa”.

FLUXO DE CAIXA PROJETADO		Memória
1	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	
2	INGRESSO DO FINANCIAMENTO	
3	AMORTIZAÇÃO DO FINANCIAMENTO	
4	LUCRO LÍQUIDO	
5	DEPRECIÇÃO	
6	VALOR RESIDUAL (Equipamentos e Terreno)	
7	FLUXO DE CAIXA	(-1+2-3+4+5+6)
8	Fluxo de Caixa Acumulado	
CRITÉRIOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO	Período de Recuperação do Investimento - Pay back (anos)	
	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	
	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	
	PONTO DE EQUILÍBRIO - 1º ANO	
	PONTO DE EQUILÍBRIO - MÉDIO	
	ÍNDICE BENEFÍCIO CUSTO	
VALORES DE CÁLCULO	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO (ton/h)	
	TIPO DE EMPRESA	
	PERCENTUAL DE FINANCIAMENTO	
	FINALIDADE DO AGREGADO	
	TERRENO	
	MÁQUINAS E VEÍCULOS - Pá Carregadeira	
	MÁQUINAS E VEÍCULOS - Caminhão	
	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)	
	VALOR DE VENDA AREIA E BRITA	
	VALOR DE VENDA BICA CORRIDA	

Quadro 15: tela fluxo de caixa

A seguir são discutidos os itens desta tela:

- a) os custos de implantação representam todos as saídas de caixa no momento da implantação do empreendimento, no ano zero, considerando o custo de aquisição de equipamentos de britagem, de máquinas e veículos próprios, do terreno e o custo de obras civis e o custo de instalação de equipamentos, conforme descrito no item 6.2.1. É importante salientar que no ano 10 está prevista a troca dos equipamentos de britagem e das máquinas e veículos próprios, que foram depreciados em um período de dez anos;

- b) o ingresso de financiamento representa uma receita no caso de optar-se pelo financiamento, conforme descrito no item 6.4.1.4;
- c) a amortização do financiamento representa as saídas de caixa para o pagamento do principal do financiamento, que ocorre do ano 4 até o ano 18;
- d) o lucro líquido aqui informado é obtido conforme descrito no item 6.4.2 Demonstrativo de Resultados, ao longo do horizonte de planejamento;
- e) a depreciação representa aqui uma entrada de caixa, já que no demonstrativo de resultados ela representou uma saída de caixa, que na realidade não é realizada;
- f) o valor residual diz respeito às entradas de caixa, no ano 10 e no ano 20, referentes às vendas dos equipamentos, máquinas e veículos próprios, como sucata, e, no ano 20, referente à venda do terreno;
- g) a linha 7, fluxo de caixa, refere-se a soma algébrica dos itens anteriores;
- h) a linha 8, fluxo de caixa acumulado, representa a soma do fluxo de caixa do período mais o fluxo de caixa dos períodos anteriores;
- i) os critérios de análise de investimentos adotados foram:
 - Período de Recuperação do Investimento - Pay back (anos);
 - Valor Presente Líquido (VPL);
 - Taxa Interna de Retorno (TIR);
 - Ponto de Equilíbrio – 1º Ano;
 - Ponto de Equilíbrio – Médio;
 - Índice Benefício/Custo.
- j) finalmente são apresentados alguns parâmetros de cálculo, conforme segue:
 - capacidade de produção: expresso em t/h;
 - tipo de empresa: privada ou pública;
 - percentual de financiamento: conforme escolhido, sendo no máximo 85%;
 - finalidade do agregado: para pavimentação (bica corrida) ou para concreto (areia e brita);
 - terreno: alugado ou comprado;
 - máquinas e veículos: alugados ou comprados;
 - taxa mínima de atratividade: conforme escolhido;
 - valor de venda dos agregados: conforme escolhido.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste trabalho pretende-se considerar a maior gama de aspectos possíveis na instalação de uma usina de reciclagem de RCD, tais como, produtividade dos equipamentos, custos de aluguel ou compra do terreno, das máquinas e dos veículos, depreciação dos equipamentos de britagem, das máquinas e veículos adquiridos e das obras de construção civil, custos de financiamento, custos diretos e custos indiretos. Para a análise econômico financeira utilizaram-se alguns conceitos de análise de investimentos, tais como, *payback*, TIR e VPL.

No Brasil as maiores usinas de reciclagem de RCD instaladas têm capacidade de 100.000 t/ano, sendo que no presente trabalho foram escolhidas as capacidades de produção de 30 t/h, 40 t/h, 50 t/h e 75 t/h, que representam de 70.000 t/ano a 175.000 t/ano, situando-se próximo a uma usina de pequeno porte (110.000 t/ano), segundo Wilburn e Goonan (1998, p.13), conforme citado no item 5.5. Uma usina com capacidade de produção de 30 t/h é capaz de atender um município com aproximadamente 1.200.000 habitantes, como por exemplo Goiânia, considerando-se uma taxa de captação de resíduos de 10%, conforme descrito no item 6.4.1.1. Já uma usina com capacidade de produção de 75 t/h seria capaz de atender um município com mais de 2.600.000 habitantes, como por exemplo Salvador.

7.1 USINA DE CAPACIDADE DE 30 t/h

7.1.1 Empresa Pública

Para empresa pública foram determinados, através do cálculo na planilha desenvolvida, os valores de venda dos agregados reciclados como sendo R\$ 20,95/m³ para agregados para produção de concreto e R\$ 16,40/m³ para agregados para pavimentação. Apresentaram-se viáveis as opções mostradas no quadro 16. As taxas internas de retorno situaram-se muito próximas da TMA fixada (12%), variando de 12,40% à 13,68%, para as opções com terreno comprado. Já para as opções com terreno alugado, as TIR situaram-se entre 27% e 29%.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
Finalidade Agregado	Pavimentação				Concreto				Pavimentação				Concreto			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	I	V	I	V	I	V	I	V	I	I	I	I	I	I	I	I
Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável).																

Quadro 16: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 30 t/h

Pode-se observar que os valores de venda dos agregados estão acima do limite máximo admitido (R\$ 20,00/m³ para agregados para produção de concreto e R\$ 15,00/m³ para agregados para pavimentação). Estudou-se, então, a troca da pá-carregadeira por uma retro-escavadeira alugada, com a finalidade de reduzir os custos de operação, admitindo-se que, para esta capacidade é possível a operação da usina com retro-escavadeira, ao contrário do pressuposto no item 6.2.2.2. Esta medida possibilitou a fixação dos preços de venda em R\$ 18,55/m³ para agregados com a finalidade de produção de concreto e R\$ 14,25/m³ para agregados com a finalidade de pavimentação. Pode-se afirmar que a instalação de uma usina de reciclagem de RCD com capacidade de 30 t/h é viável inicialmente com o aluguel de retro-escavadeira, sendo que, com o desenvolvimento das atividades pode-se estudar a utilização de uma pá-carregadeira, se necessário. No quadro 17 está apresentado o demonstrativo do resultado (ano 1 e ano 20) para a opção de agregado para pavimentação com terreno, máquinas e veículos alugados. Os resultados da análise econômica das opções viáveis estão apresentados na tabela 29 e os valores médios máximos e mínimos dos custos de produção e demais despesas analisadas estão apresentados na tabela 30.

Os custos de implantação variam de R\$ 245.972,00 para as opções de produção de agregados para pavimentação e R\$ 523.168,00 para produção de agregado para concreto, considerando-se máquinas e veículos alugados. Com a aquisição do terreno estes valores sobem para R\$ 565.972,00 e R\$ 843.168,00 respectivamente.

Os custos de manutenção apresentaram-se entre 10 e 15%, aproximadamente, pois as opções que se apresentaram viáveis tem máquinas e veículos alugados. Da mesma forma ocorre com os juros de financiamento, que se situaram entre 2,5 e 7%, aproximadamente.

ITEM	DESCRIÇÃO	ANO 1	ANO 20
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	560.617	560.617
1.1	Venda de agregado reciclado	560.617	560.617
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	0	0
2.1	PIS/COFINS	0	0
2.2	IPI	0	0
2.3	ICMS	0	0
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	560.617	560.617
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	422.555	422.555
4.1	Custos de Operação	369.652	369.652
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra	123.347	123.347
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados	151.008	151.008
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios	0	0
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica	61.697	61.697
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno	33.600	33.600
4.2	Custos de Manutenção	52.903	52.903
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste	9.881	9.881
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem	14.850	14.850
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva	13.104	13.104
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos	14.661	14.661
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções	407	407
5	RESULTADO BRUTO	138.062	138.062
6	DESPESAS INDIRETAS	98.653	98.653
6.1	Despesas Indiretas de Operação	93.922	93.922
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa	22.018	22.018
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)	6.876	6.876
6.1.3	Vigilância	65.028	65.028
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)	0	0
6.1.5	Outras Despesas Administrativas	0	0
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	4.731	4.731
6.1.1	Manutenção de obras civis	581	581
6.1.2	Depreciação de obras civis	4.150	4.150
7	RAJeR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	39.409	39.409
8	JUROS DE FINANCIAMENTO	21.318	0
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	18.091	39.409
10	IMPOSTOS E TAXAS	0	0
10.1	Imposto de Renda	0	0
10.2	Contribuição Social	0	0
11	LUCRO LÍQUIDO	18.091	39.409

Quadro 17: tela “demonstrativo resultados”, cap. 30 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados

Tabela 29: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 30 ton/h para empresa pública, utilizando-se retro-escavadeira

Item	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Financiamento	com	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	14,30	14,30	18,55	18,55
Pay Back (anos)	19	6	14	11
VPL (R\$)	8.920	18.074	4.280	13.434
TIR (%)	13,25	32,57	12,53	23,34
PE – 1º Ano	0,93	0,95	0,89	0,91
PE – Médio	0,88	0,92	0,83	0,87
Índice Benefício Custo	1,065	1,205	1,017	1,065

Tabela 30: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 30 ton/h para empresa pública, utilizando-se retro-escavadeira

Item	Percentual Mínimo (%)	Percentual Máximo (%)
Custos de Operação	62,47	69,12
Custos de Manutenção	9,89	15,43
Despesas Indiretas	14,66	19,01
Juros de Financiamento	2,54	7,09

Dentre os custos de operação destacam-se os custos de aluguel de máquinas e veículos (aproximadamente 29% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 23% para produção de agregado para concreto). Destacam-se também os custos de mão-de-obra (aproximadamente 23% dos custos totais) para produção de agregado para pavimentação e os custos de água e energia elétrica (aproximadamente 21% dos custos totais) para produção de agregado para concreto. Dentre as despesas indiretas destaca-se a vigilância, variando de 9,66% a 13,53% dos custos totais.

Para análise de sensibilidade escolheram-se os itens de maior participação percentual nos custos de implantação e nos custos de operação, quais sejam, custo de aquisição de equipamentos, custo de aquisição do terreno, aluguel de máquinas e veículos e custo de mão-de-obra. Com a variação percentual de 10% para menos de cada um dos itens avaliados, excetuando-se o item mão-de-obra, houve uma redução de 3,5% no preço de venda dos agregados. Os resultados estão apresentados na tabela 31. Com a variação percentual de 10% para mais de cada um dos itens avaliados (para mão-de-obra foi considerado o acréscimo de um operário) houve um aumento de 5,6% no preço de venda dos agregados para

pavimentação com terreno alugado (o preço de venda para opção com terreno comprado seria de R\$ 15,30/m³, muito acima do valor máximo aceito (R\$ 15,00/m³)) e de 5,9% no preço de venda dos agregados para concreto. Os resultados estão apresentados na tabela 32.

Tabela 31: análise de sensibilidade – redução de 10% nos itens equipamentos, terreno e máquinas e veículos alugados

Item	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Financiamento	com	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	13,80	13,80	17,90	17,90
Pay Back (anos)	15	9	14	12
VPL (R\$)	29.029	12.148	20.835	3.954
TIR (%)	16,91	26,56	15,14	14,87
PE - 1º Ano	0,92	0,95	0,89	0,91
PE – Médio	0,87	0,93	0,82	0,87
Índice Benefício Custo	1,232	1,147	1,089	1,021

Tabela 32: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados e mão-de-obra

Item	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Financiamento	com	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	inviável	15,10	19,65	19,65
Pay Back (anos)	-	12	14	6
VPL (R\$)	-	3.212	11.084	46.163
TIR (%)	-	15,48	13,31	38,08
PE - 1º Ano	-	0,95	0,89	0,90
PE - Médio	-	0,93	0,82	0,86
Índice Benefício Custo	-	1,034	1,040	1,207

Observa-se que os itens de maior participação nos custos de implantação podem ter uma redução significativa, visto que os preços dos equipamentos foram orçados a partir de uma usina hipotética e o custo do terreno é baseado em dados válidos para o estado do RS, podendo ter variações nas outras unidades da federação. Já os itens de maior participação nos custos de operação possivelmente não devem ter uma redução significativa, pois são itens que foram obtidos com maior facilidade.

7.1.2 Empresa Privada

A implantação de uma usina de reciclagem de RCD com capacidade de produção de 30 t/h por uma empresa privada não apresenta viabilidade econômica, pois os preços de venda calculados conforme o modelo proposto são muito superiores aos valores estabelecidos de R\$ 20,00/m³ para agregados para concreto e R\$ 15,00/m³ para agregados para pavimentação.

7.2 USINA DE CAPACIDADE DE 40 t/h

7.2.1 Empresa Pública

Para este tipo de empreendimento os valores de venda dos agregados reciclados foram calculados em R\$ 17,95/m³ para agregados para produção de concreto e R\$ 13,80/m³ para agregados para pavimentação, de acordo com a planilha desenvolvida. Apresentaram-se viáveis as opções mostradas no quadro 18.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
	Pavimentação				Concreto				Pavimentação				Concreto			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	I	I	I

Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável).

Quadro 18: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 40 t/h

As opções sem financiamento para produção de agregados para pavimentação apresentaram TIR muito próxima ao limite estabelecido (12%). Já para as opções com financiamento, a TIR ficou acima de 17%, sendo que a opção para agregado para pavimentação com terreno, máquinas e veículos alugados obteve TIR de 41% e período de retorno de 3 anos. O demonstrativo de resultado (ano 1 e ano 20) desta opção está apresentado no quadro 19. A alteração do preço de venda para R\$ 13,65/m³ do agregado reciclado para pavimentação

implica que somente a opção com financiamento e com terreno comprado permaneça viável. Já para o agregado reciclado para produção de concreto a redução do preço de venda em 1% (R\$ 17,80/m³) implica que nenhuma opção permaneça viável, pois o VPL apresenta-se negativo. Pode-se afirmar que a variação do preço de venda do agregado, por menor que seja, tem alta influência na determinação da viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem de RCD com estas características.

Os resultados da análise econômica das opções viáveis estão apresentados na tabela 33 e os valores médios máximos e mínimos dos custos de produção e demais despesas estão apresentados na tabela 34. Os custos de manutenção apresentaram-se entre 8% e 14%, pois somente as opções com máquinas e veículos alugados mostraram-se viáveis, implicando em menores custos de manutenção e maiores custos de operação. A utilização de máquinas e veículos comprados implica em maiores custos de manutenção e de operação, principalmente devido ao custo de manutenção e depreciação destes equipamentos e aos custos de mão-de-obra para sua operação.

Tabela 33: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 40 t/h para empresa pública

Item	com		com		sem	
Financiamento	com	com	com	com	sem	sem
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto	Pavimentação	Pavimentação
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	13,80	13,80	17,95	17,95	13,80	13,80
Pay Back (anos)	9	3	13	12	19	18
VPL (R\$)	63.506	35.359	41.386	12.239	4.576	8.204
TIR (%)	21,99	41,58	17,52	21,51	12,11	12,51
PE – 1º Ano	0,92	0,95	0,89	0,92	0,80	0,90
PE – Médio	0,88	0,93	0,84	0,88	0,80	0,90
Índice Benefício Custo	1,411	1,336	1,139	1,050	1,007	1,025

Tabela 34: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 40 ton/h para empresa pública

Item	Percentual Mínimo (%)	Percentual Máximo (%)
Custos de Operação	68,63	76,64
Custos de Manutenção	8,53	13,56
Despesas Indiretas	11,27	15,60
Juros de Financiamento	2,23	6,23

ITEM	DESCRIÇÃO	ANO 1	ANO 20
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	721.354	721.354
1.1	Venda de agregado reciclado	721.354	721.354
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	0	0
2.1	PIS/COFINS	0	0
2.2	IPI	0	0
2.3	ICMS	0	0
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	721.354	721.354
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	575.799	575.799
4.1	Custos de Operação	516.929	516.929
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra	152.406	152.406
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados	243.936	243.936
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios	0	0
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica	78.587	78.587
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno	42.000	42.000
4.2	Custos de Manutenção	58.870	58.870
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste	13.175	13.175
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem	14.850	14.850
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva	13.104	13.104
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos	17.262	17.262
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções	480	480
5	RESULTADO BRUTO	145.555	145.555
6	DESPESAS INDIRETAS	98.653	98.653
6.1	Despesas Indiretas de Operação	93.922	93.922
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa	22.018	22.018
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)	6.876	6.876
6.1.3	Vigilância	65.028	65.028
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)	0	0
6.1.5	Outras Despesas Administrativas	0	0
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	4.731	4.731
6.1.1	Manutenção de obras civis	581	581
6.1.2	Depreciação de obras civis	4.150	4.150
7	RAJeIR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	46.901	46.901
8	JUROS DE FINANCIAMENTO	24.174	0
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	22.727	46.901
10	IMPOSTOS E TAXAS	0	0
10.1	Imposto de Renda	0	0
10.2	Contribuição Social	0	0
11	LUCRO LÍQUIDO	22.727	46.901

Quadro 19: tela “demonstrativo resultados”, cap. 40 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados

Por não haver custos com aquisição de máquinas e veículos, os juros de financiamento situaram-se entre 2% e 6%, aproximadamente. Dentre os custos de operação destacam-se os custos de aluguel de máquinas e veículos (aproximadamente 36% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 28% para produção de agregado para concreto). Destacam-se também os custos de mão-de-obra (aproximadamente 23% dos custos totais) para produção de agregado para pavimentação e os custos de água e energia elétrica (aproximadamente 22% dos custos totais) para produção de agregado para concreto. Dentre as despesas indiretas destaca-se a vigilância, variando de 7% a 10% dos custos totais.

Os custos de implantação variam de R\$ 279.270,00 para a opção de produção de agregados para pavimentação e R\$ 612.235,00 para a opção de produção de agregado para concreto, sendo ambas opções com terreno, máquinas e veículos alugados. Para as opções com aquisição do terreno, estes valores serão de R\$ 629.270,00 e R\$ 962.235,00, respectivamente.

Para análise de sensibilidade foram escolhidos os itens de maior participação percentual nos custos de implantação e de operação, quais sejam, custo de aquisição de equipamentos, custo de aquisição do terreno, aluguel de máquinas e veículos, custo de mão-de-obra e custo de água e energia elétrica (somente para agregados para produção de concreto). Com a variação percentual de 10% para menos de cada um dos itens avaliados, excetuando-se o item mão-de-obra, houve uma redução de 4,5% no preço de venda dos agregados para concreto e de 3,6% para os agregados para pavimentação. Os resultados estão apresentados na tabela 35.

Tabela 35: análise de sensibilidade – redução de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, água e energia elétrica

Item	com		com		sem	
Financiamento	com	com	com	com	sem	sem
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto	Pavimentação	Pavimentação
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	13,30	13,30	17,15	17,15	13,30	13,30
Custo Implantação (R\$)	575.778	260.778	929.576	614.576	575.778	260.778
Pay Back (anos)	2	1	8	11	17	15
VPL (R\$)	112.149	54.468	76.657	18.975	58.185	30.079
TIR (%)	33,97	52,08	24,88	26,33	13,52	13,98
PE - 1º Ano	0,91	0,94	0,88	0,91	0,79	0,89
PE - Médio	0,87	0,92	0,82	0,87	0,79	0,89
Índice Benefício Custo	1,809	1,582	1,263	1,077	1,096	1,099

Com a variação percentual de 10% para mais de cada um dos itens avaliados (para mão-de-obra foi considerado o acréscimo de um operário) houve um aumento de 7,5% no preço de venda dos agregados para agregados para produção de concreto e de 5,8% no preço de venda dos agregados para pavimentação, opções com financiamento (as opções sem financiamento mostraram-se inviáveis com o preço de venda de R\$ 14,60/m³). Os resultados estão apresentados na tabela 36.

Tabela 36: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, mão-de-obra e água e energia elétrica

Item	com		com		sem	
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto	Pavimentação	Pavimentação
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	14,60	14,60	19,30	19,30		
Custo de Implantação	686.327	301.327	1.052.588	667.588		
Pay Back (anos)	17	9	14	12		
VPL (R\$)	17.187	16.463	9.274	8.550	inviável	inviável
TIR (%)	14,06	29,77	12,98	17,71		
PE - 1º Ano	0,94	0,95	0,90	0,92		
PE - Médio	0,89	0,93	0,84	0,88		
Índice Benefício Custo	1,101	1,147	1,028	1,032		

7.2.2 Empresa Privada

Respeitando-se os valores máximos de venda determinados para os agregados reciclados (R\$ 20/m³ para agregados para produção de concreto e R\$ 15/m³ para agregado com finalidade de pavimentação), obteve-se viabilidade em algumas opções, somente com algumas modificações nos parâmetros originalmente propostos. Para agregados para pavimentação estabeleceu-se a área do terreno em 6.500 m² (ao invés de 10.000 m²) e aluguel de retro-escavadeira (ao invés da pá-carregadeira). Estas modificações visam diminuir os custos de implantação e operação. A redução da área do terreno não deve trazer prejuízo à operação da usina, visto que há usinas de reciclagem de 30t/h instaladas em área de 6.000 m². Apresentaram-se viáveis as opções mostradas no quadro 20.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
Finalidade Agregado	Pavimentação				Concreto				Pavimentação				Concreto			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	I	V	I	V	I	V	I	V	I	I	I	I	I	I	I	I
Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável).																

Quadro 20: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 40 t/h

O demonstrativo de resultado (ano 1 e ano 20) da opção de agregado para pavimentação, com financiamento e com terreno, máquinas e veículos alugados está apresentado no quadro 21. Os resultados da análise econômica das opções viáveis estão apresentados na tabela 37. Os valores percentuais médios das despesas são: custos de impostos 23,5%, custos de operação 53%, sendo custos de mão-de-obra 21%, custos de máquinas e veículos alugados 20% e custos de manutenção 8%, despesas indiretas 13% e juros de financiamento 3%. Os custos de implantação são R\$ 279.154,00 para opção aluguel do terreno e R\$ 539.154,00 para compra.

Para agregados para produção de concreto estabeleceu-se a área do terreno em 8.000 m² (ao invés de 10.000 m²), aluguel de retro-escavadeira (ao invés da pá-carregadeira) com um acréscimo de 25% no custo mensal, prevendo-se o aluguel de uma máquina extra em algumas situações, quando necessário, e finalmente, com uma redução na alíquota do ICMS para 12%. Apesar de irreal esta situação (redução na alíquota do ICMS), foi a maneira encontrada para que algumas das opções apresentassem viabilidade. Este fato demonstra a necessidade de criação de mecanismos e incentivos, por parte do governo, para a criação de empresas privadas para reciclagem de RCD. Da mesma forma, que para os agregados para pavimentação, estas modificações visam diminuir os custos de implantação e operação. Os custos de implantação foram de R\$ 612.172,00 para opção com terreno alugado e de R\$ 932.172,00 para opção com terreno comprado.

ITEM	DESCRIÇÃO	ANO 1	ANO 20
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	784.080	784.080
1.1	Venda de agregado reciclado	784.080	784.080
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	161.913	161.913
2.1	PIS/COFINS	28.619	28.619
2.2	IPI	0	0
2.3	ICMS	133.294	133.294
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	622.167	622.167
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	468.171	468.171
4.1	Custos de Operação	409.301	409.301
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra	152.406	152.406
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados	151.008	151.008
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios	0	0
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica	78.587	78.587
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno	27.300	27.300
4.2	Custos de Manutenção	58.870	58.870
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste	13.175	13.175
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem	14.850	14.850
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva	13.104	13.104
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos	17.262	17.262
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções	480	480
5	RESULTADO BRUTO	153.997	153.997
6	DESPESAS INDIRETAS	98.653	98.653
6.1	Despesas Indiretas de Operação	93.922	93.922
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa	22.018	22.018
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)	6.876	6.876
6.1.3	Vigilância	65.028	65.028
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)	0	0
6.1.5	Outras Despesas Administrativas	0	0
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	4.731	4.731
6.1.1	Manutenção de obras civis	581	581
6.1.2	Depreciação de obras civis	4.150	4.150
7	RAJeIR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	55.343	55.343
8	JUROS DE FINANCIAMENTO	24.174	0
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	31.169	55.343
10	IMPOSTOS E TAXAS	7.481	13.282
10.1	Imposto de Renda	4.675	8.302
10.2	Contribuição Social	2.805	4.981
11	LUCRO LÍQUIDO	23.689	42.061

Quadro 21: tela “demonstrativo resultados”, cap. 40 t/h, empresa privada, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados

Tabela 37: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 40 t/h para empresa privada

Item		
Financiamento	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação
Terreno	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	15,00	15,00
Pay Back (anos)	14	2
VPL (R\$)	10.680	33.889
TIR (%)	14,12	44,84
PE – 1º Ano	0,90	0,91
PE – Médio	0,85	0,89
Índice Benefício Custo	1,075	1,332

7.3 USINA DE CAPACIDADE DE 50 t/h

7.3.1 Empresa Pública

Para uma usina com capacidade de produção de 50 t/h, operada por empresa pública, os valores de venda dos agregados reciclados foram calculados pela planilha desenvolvida em R\$ 16,50/m³ para agregados para produção de concreto e R\$ 12,00/m³ para agregados para pavimentação. Pode-se notar que já há uma relativa folga nos preços arbitrados em relação aos preços máximos de venda estabelecidos. As opções viáveis estão apresentadas no quadro 22.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
	Pavimentação				Concreto				Pavimentação				Concreto			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V

Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável).

Quadro 22: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 50 t/h

Com este valor de venda para produção de agregados para pavimentação, as opções com financiamento e máquinas e veículos alugados apresentaram TIR excelentes, superiores a 50%. As mesmas opções para agregados para produção de concreto também apresentaram TIR muito boas, superiores a 34%. Para estas quatro opções com financiamento, o período de retorno calculado foi inferior a 3 anos. A alteração do preço de venda para R\$ 11,60/m³ (variação inferior a 3,5%) do agregado reciclado para pavimentação implica que somente as opções com financiamento e com máquinas e veículos alugados permaneçam viáveis. Já para o agregado reciclado para produção de concreto a redução do preço de venda para R\$ 16,20/m³ (inferior a 2%) implica que somente a opção com financiamento e terreno comprado permaneça viável. Pode-se afirmar que a variação do preço de venda do agregado, por menor que seja, tem alta influência na determinação da viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem de RCD com estas características.

O demonstrativo de resultado (ano 1 e ano 20) para a opção com financiamento e com terreno, máquinas e veículos alugados para agregados para produção de concreto está apresentado no quadro 23. Os resultados da análise econômica das opções viáveis estão apresentados na tabela 38 para agregados para pavimentação e na tabela 39 para agregados para produção de concreto. Da análise das tabelas observa-se que as opções sem financiamento têm o ponto de equilíbrio mais baixo em relação às mesmas opções com financiamento. A tabela 40 apresenta os resultados da análise econômica das opções viáveis com o preço de venda reduzido.

Tabela 38: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 t/h para empresa pública

Item	com		com		sem	
Financiamento	com	com	com	com	sem	sem
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Pavimentação	Pavimentação	Pavimentação	Pavimentação
Terreno	Compra	Compra	Aluguel	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Pay Back (anos)	12	2	10	1	12	6
VPL (R\$)	68381	245.769	33.338	210.726	176.686	181.040
TIR (%)	20,16	50,00	31,10	100,36	15,57	21,39
PE – 1º Ano	0,79	0,87	0,83	0,90	0,74	0,84
PE – Médio	0,68	0,82	0,76	0,88	0,74	0,84
Índice Benefício Custo	1,191	2,426	1,112	2,911	1,229	1,492

ITEM	DESCRIÇÃO	ANO 1	ANO 20
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	1.078.110	1.078.110
1.1	Venda de agregado reciclado	1.078.110	1.078.110
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	0	0
2.1	PIS/COFINS	0	0
2.2	IPI	0	0
2.3	ICMS	0	0
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	1.078.110	1.078.110
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	836.634	836.634
4.1	Custos de Operação	699.160	699.160
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra	152.406	152.406
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados	243.936	243.936
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios	0	0
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica	252.418	252.418
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno	50.400	50.400
4.2	Custos de Manutenção	137.474	137.474
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste	34.920	34.920
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem	30.000	30.000
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva	13.104	13.104
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos	57.843	57.843
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções	1.607	1.607
5	RESULTADO BRUTO	241.476	241.476
6	DESPESAS INDIRETAS	98.653	98.653
6.1	Despesas Indiretas de Operação	93.922	93.922
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa	22.018	22.018
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)	6.876	6.876
6.1.3	Vigilância	65.028	65.028
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)	0	0
6.1.5	Outras Despesas Administrativas	0	0
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	4.731	4.731
6.1.1	Manutenção de obras civis	581	581
6.1.2	Depreciação de obras civis	4.150	4.150
7	RAJeR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	142.822	142.822
8	JUROS DE FINANCIAMENTO	69.156	0
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	73.666	142.822
10	IMPOSTOS E TAXAS	0	0
10.1	Imposto de Renda	0	0
10.2	Contribuição Social	0	0
11	LUCRO LÍQUIDO	73.666	142.822

Quadro 23: tela “demonstrativo resultados”, cap. 50 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para concreto, terreno, máquinas e veículos alugados

Tabela 39: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa pública

Item				
Financiamento	com	com	sem	sem
Finalidade do Agregado	Concreto	Concreto	Concreto	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	16,50	16,50	16,50	16,50
Pay Back (anos)	3	1	19	16
VPL (R\$)	168.189	133.146	53.970	58.324
TIR (%)	34,43	52,06	12,71	13,28
PE – 1º Ano	0,85	0,88	0,67	0,76
PE – Médio	0,79	0,83	0,67	0,76
Índice Benefício Custo	1,440	1,416	1,039	1,060

Tabela 40: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa pública, com valor reduzido

Item			
Financiamento	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	11,60	11,60	16,20
Pay Back (anos)	15	9	13
VPL (R\$)	50.548	15.505	21.773
TIR (%)	18,28	28,68	14,18
PE – 1º Ano	0,92	0,95	0,88
PE – Médio	0,87	0,93	0,81
Índice Benefício Custo	1,280	1,131	1,056

Os valores médios máximos e mínimos dos custos de produção e demais despesas analisadas estão apresentados na tabela 41. Dentre os custos de operação destacam-se os custos de aluguel de máquinas e veículos (aproximadamente 35% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 26% para produção de agregado para concreto). Quando as máquinas e veículos são adquiridos ao invés de serem alugados, o seu custo de operação representa 20% do custo total. Destacam-se também os custos de mão-de-obra (aproximadamente 22% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 16% para produção de agregado para concreto) e os custos de água e energia elétrica (aproximadamente 14% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 27% para produção de agregado para concreto). Os custos de manutenção representam 9% dos custos totais para as opções de agregado para pavimentação com máquinas e veículos

alugados e 19% dos custos totais para as opções com máquinas e veículos próprios. Para as opções de agregado para produção de concreto o custo de manutenção representa 14% do custo total. Os custos com vigilância representam entre 6% e 10% dos custos totais enquanto que os juros de financiamento situaram-se entre 2% e 10%, aproximadamente.

Os custos de implantação variam de R\$ 316.587,00 até R\$ 1.156.587,00 para a opção de produção de agregados para pavimentação e de R\$ 797.862,00 até R\$ 1.217.862,00 para a opção de produção de agregado para concreto, de acordo com a opção de aquisição de terreno, máquinas e veículos.

Tabela 41: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 50 ton/h para empresa pública

Item	Percentual Mínimo (%)	Percentual Máximo (%)
Custos de Operação	57,20	76,65
Custos de Manutenção	8,99	18,83
Despesas Indiretas	10,07	15,01
Juros de Financiamento	2,41	9,43

A análise de sensibilidade foi efetuada nas quatro opções que apresentaram melhor rentabilidade, quais sejam, as opções com financiamento, terreno alugado ou comprado e máquinas e veículos alugados, tanto para agregados para pavimentação como para agregados para produção de concreto. Escolheram-se os itens de maior participação percentual nos custos de implantação e nos custos de operação, quais sejam, custo de aquisição de equipamentos, custo de aquisição do terreno, aluguel de máquinas e veículos, custo de mão-de-obra e custo de água e energia elétrica. Com a variação percentual de 10% para menos de cada um dos itens avaliados, excetuando-se o item mão-de-obra, houve uma redução de 8,2% no preço de venda dos agregados para produção de concreto e de 9% no preço de venda dos agregados para pavimentação. Os resultados estão apresentados na tabela 42. Com a variação percentual de 10% para mais de cada um dos itens avaliados (para mão-de-obra foi considerado o acréscimo de um operário) houve um aumento de 5,8% no preço de venda dos agregados para agregados para produção de concreto e de 5% no preço de venda dos agregados para pavimentação. Em todos os casos o preço de venda estaria abaixo do limite superior fixado, mesmo com o aumento de 10% nos itens mencionados. Os resultados estão apresentados na tabela 43.

Tabela 42: análise de sensibilidade – redução de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, água e energia elétrica

Item				
Financiamento	com	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	11,00	11,00	15,25	15,25
Custo de Implantação	673.082	295.082	1.115.200	737.200
Pay Back (anos)	5	9	12	12
VPL (R\$)	R\$85.384	R\$16.122	R\$71.868	R\$2.716
TIR (%)	25,28%	28,93%	21,66%	13,31%
PE - 1º Ano	0,91	0,95	0,87	0,90
PE - Médio	0,86	0,93	0,81	0,86
Índice Benefício Custo	1,522	1,146	1,203	1,009

Tabela 43: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, mão-de-obra e água e energia elétrica

Item				
Financiamento	com	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	847.150	385.150	1.320.525	858.525
Custo de Implantação	12,60	12,60	17,45	17,45
Pay Back (anos)	16	10	14	12
VPL (R\$)	R\$18.589	R\$17.654	R\$9.881	R\$8.946
TIR (%)	13,85%	28,77%	12,86%	16,72%
PE - 1º Ano	0,92	0,94	0,88	0,90
PE - Médio	0,87	0,92	0,82	0,86
Índice Benefício Custo	1,085	1,119	1,023	1,025

7.3.2 Empresa Privada

Respeitando-se o valor e máximo de venda determinado para agregados com finalidade de pavimentação (R\$ 15,00/m³), obteve-se viabilidade nas opções apresentadas no quadro 24. Os custos de implantação foram de R\$ 316.587,00 para opção com terreno alugado e de R\$ 736.587,00 para terreno comprado. Já para agregados para produção de concreto, respeitando-se o valor máximo de venda determinado (R\$ 20,00/m³), obteve-se viabilidade modificando-se o parâmetro de aluguel de máquina (ao invés da pá-carregadeira, previu-se o aluguel de retro-escavadeira com acréscimo de 50% no seu custo mensal). As opções viáveis também

estão apresentadas no quadro 24. Os custos de implantação foram de R\$ 797.862,00 para opção com terreno alugado e de R\$ 1.217.862,00 para opção com terreno comprado.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
Finalidade Agregado	Pavimentação				Concreto*				Pavimentação				Concreto*			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	I	V	I	V	I	V	I	V	I	I	I	V	I	I	I	I
Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável), * (com as modificações descritas)																

Quadro 24: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 50 t/h

O demonstrativo de resultado (ano 1 e ano 20) da opção de agregado para pavimentação, com financiamento e com terreno, máquinas e veículos alugados está apresentado no quadro 25. Os resultados da análise econômica das opções viáveis estão apresentados na tabela 44. Os valores percentuais médios são os que seguem: custos de impostos – 24%, custos de operação – 58%, sendo custos de mão-de-obra – 16%, custos de máquinas e veículos alugados – 26%, água e energia elétrica – 11% e custos de manutenção – 7%, despesas indiretas – 11% e juros de financiamento – 4%. Alterando-se o valor de venda para R\$ 14,75/m³, a opção sem financiamento não é mais viável. Os resultados estão apresentados na tabela 45.

Tabela 44: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa privada

Item	com		sem	
Financiamento	com		sem	
Finalidade do Agregado	Pavimentação		Pavimentação	
Terreno	Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	Aluguel		Aluguel	
Valor de Venda	15,00	15,00	15,00	15,00
Pay Back (anos)	6	1	19	19
VPL (R\$)	76.143	77.870	7.812	7.812
TIR (%)	24,08	61,18	12,43	12,43
PE – 1º Ano	0,88	0,91	0,85	0,85
PE – Médio	0,83	0,89	0,85	0,85
Índice Benefício Custo	1,423	1,670	1,021	1,021

ITEM	DESCRIÇÃO	ANO 1	ANO 20
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	980.100	980.100
1.1	Venda de agregado reciclado	980.100	980.100
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	202.391	202.391
2.1	PIS/COFINS	35.774	35.774
2.2	IPI	0	0
2.3	ICMS	166.617	166.617
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	777.709	777.709
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	608.969	608.969
4.1	Custos de Operação	543.808	543.808
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra	152.406	152.406
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados	243.936	243.936
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios	0	0
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica	97.066	97.066
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno	50.400	50.400
4.2	Custos de Manutenção	65.161	65.161
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste	16.468	16.468
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem	14.850	14.850
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva	13.104	13.104
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos	20.178	20.178
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções	561	561
5	RESULTADO BRUTO	168.741	168.741
6	DESPESAS INDIRETAS	98.653	98.653
6.1	Despesas Indiretas de Operação	93.922	93.922
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa	22.018	22.018
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)	6.876	6.876
6.1.3	Vigilância	65.028	65.028
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)	0	0
6.1.5	Outras Despesas Administrativas	0	0
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	4.731	4.731
6.1.1	Manutenção de obras civis	581	581
6.1.2	Depreciação de obras civis	4.150	4.150
7	RAJeIR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	70.087	70.087
8	JUROS DE FINANCIAMENTO	27.438	0
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	42.649	70.087
10	IMPOSTOS E TAXAS	10.236	16.821
10.1	Imposto de Renda	6.397	10.513
10.2	Contribuição Social	3.838	6.308
11	LUCRO LÍQUIDO	32.414	53.266

Quadro 25: tela “demonstrativo resultados”, cap. 50 t/h, empresa privada, opção com financiamento, agregado para pavimentação, terreno, máquinas e veículos alugados

Tabela 45: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 50 ton/h para empresa privada, com preço reduzido

Item		
Financiamento	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação
Terreno	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	14,75	14,75
Pay Back (anos)	17	12
VPL (R\$)	2.562	4.289
TIR (%)	12,31	21,23
PE – 1º Ano	0,91	0,94
PE – Médio	0,86	0,92
Índice Benefício Custo	1,014	1,036

7.4 USINA DE CAPACIDADE DE 75 t/h

7.4.1 Empresa Pública

Para uma usina com capacidade de produção de 75 t/h, operada por empresa pública, os valores de venda dos agregados reciclados foram calculados, conforme a planilha desenvolvida, em R\$ 13,00/m³ para agregados para produção de concreto e R\$ 9,50/m³ para agregados para pavimentação. Estes preços correspondem a aproximadamente 65% dos preços máximos de venda estabelecidos. As opções viáveis para agregados para pavimentação e para produção de concreto estão apresentadas no quadro 26.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
	Pavimentação				Concreto				Pavimentação				Concreto			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	I

Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável).

Quadro 26: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa pública, capacidade de produção de 75 t/h

Com estes valores de venda, as Taxas Internas de Retorno (TIR) foram superiores a 39%, para as opções para produção de agregados para pavimentação, e superiores a 33% para as opções para agregados para produção de concreto, nas opções com financiamento. Para estas quatro opções com financiamento, o período de retorno calculado foi inferior a 6 anos. As opções sem financiamento apresentaram TIR até 14%.

O demonstrativo de resultado (ano 1 e ano 20) para a opção com financiamento e com terreno, máquinas e veículos alugados para agregados para produção de concreto está apresentado no quadro 27. Os resultados da análise econômica das opções viáveis estão apresentados na tabela 46 para agregados para pavimentação e na tabela 47 para agregados para produção de concreto. A tabela 48 apresenta os resultados da análise econômica das opções viáveis com o preço de venda reduzido.

Tabela 46: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa pública, agregado para pavimentação

Item	com		sem	
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Pavimentação	Pavimentação
Terreno	Compra	Aluguel	Compra	Aluguel
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	9,50	9,50	9,50	9,50
Pay Back (anos)	2	1	16	15
VPL (R\$)	201.489	89.733	117.729	50.998
TIR (%)	39,02	56,23	13,99	14,14
PE – 1º Ano	0,87	0,92	0,72	0,85
PE – Médio	0,82	0,90	0,72	0,85
Índice Benefício Custo	1,897	1,572	1,124	1,103

A redução dos preços de venda para R\$ 9,25/m³ (aproximadamente 2,5%) do agregado reciclado para pavimentação e para R\$ 12,75/m³ (inferior a 2%) do agregado reciclado para produção de concreto implica que somente a opção com financiamento, terreno comprado e com máquinas e veículos alugados permaneça viável em ambos os casos. Já analisando-se o aumento do preço de venda para R\$ 9,80/m³ (aproximadamente 3,0%) do agregado reciclado para pavimentação, conclui-se que todas as opções tornam-se viáveis, sendo que as opções originalmente viáveis apresentam TIR excepcionais, superiores à 65%. Para o agregado reciclado para produção de concreto o aumento do preço de venda para R\$ 13,25/m³ (inferior a 2%) implica que somente as opções sem financiamento e com máquinas e veículos

comprados não se tornem viáveis, sendo que as opções originalmente viáveis apresentam TIR excepcionais, superiores à 50%. Conclui-se que a variação do preço de venda do agregado, por menor que seja (inferior a 3%, para mais ou para menos), tem alta influência na determinação da viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem de RCD com estas características.

Tabela 47: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa pública, agregado para produção de concreto

Item			
Financiamento	com	Com	sem
Finalidade do Agregado	Concreto	Concreto	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	13,00	13,00	13,00
Pay Back (anos)	4	6	19
VPL (R\$)	189.429	77.673	53.139
TIR (%)	99,95	39,58	12,59
PE – 1º Ano	0,84	0,88	0,64
PE – Médio	0,77	0,83	0,64
Índice Benefício Custo	1,407	1,195	1,032

Tabela 48: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa pública, com preço reduzido

Item		
Financiamento	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Concreto
Terreno	Compra	Compra
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	9,25	12,75
Pay Back (anos)	16	13
VPL (R\$)	18.469	6.409
TIR (%)	13,77	12,52
PE – 1º Ano	0,92	0,87
PE – Médio	0,86	0,80
Índice Benefício Custo	1,079	1,014

Os custos de implantação variam de R\$ 413.059,00 até R\$ 893.059,00 para a opção de produção de agregados para pavimentação e de R\$ 973.396,00 até 1.453.396,00 para a opção de produção de agregado para concreto, de acordo com a opção de aquisição ou aluguel do terreno.

ITEM	DESCRIÇÃO	ANO 1	ANO 20
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	1.274.130	1.274.130
1.1	Venda de agregado reciclado	1.274.130	1.274.130
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	0	0
2.1	PIS/COFINS	0	0
2.2	IPI	0	0
2.3	ICMS	0	0
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	1.274.130	1.274.130
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	1.012.089	1.012.089
4.1	Custos de Operação	843.044	843.044
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra	207.124	207.124
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados	243.936	243.936
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios	0	0
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica	324.785	324.785
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno	67.200	67.200
4.2	Custos de Manutenção	169.045	169.045
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste	52.381	52.381
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem	30.000	30.000
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva	13.104	13.104
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos	71.573	71.573
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções	1.988	1.988
5	RESULTADO BRUTO	262.041	262.041
6	DESPESAS INDIRETAS	98.653	98.653
6.1	Despesas Indiretas de Operação	93.922	93.922
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa	22.018	22.018
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)	6.876	6.876
6.1.3	Vigilância	65.028	65.028
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)	0	0
6.1.5	Outras Despesas Administrativas	0	0
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	4.731	4.731
6.1.1	Manutenção de obras civis	581	581
6.1.2	Depreciação de obras civis	4.150	4.150
7	RAJeIR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	163.387	163.387
8	JUROS DE FINANCIAMENTO	84.354	0
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	79.033	163.387
10	IMPOSTOS E TAXAS	0	0
10.1	Imposto de Renda	0	0
10.2	Contribuição Social	0	0
11	LUCRO LÍQUIDO	79.033	163.387

Quadro 27: tela “demonstrativo resultados”, cap. 75 t/h, empresa pública, opção com financiamento, agregado para concreto, terreno, máquinas e veículos alugados

Os valores médios máximos e mínimos dos custos de produção e demais despesas analisadas estão apresentados na tabela 49. Dentre os custos de operação destacam-se os custos de aluguel de máquinas e veículos (aproximadamente 29% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 22% para produção de agregado para concreto). Destacam-se também os custos de mão-de-obra (aproximadamente 25% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 18% para produção de agregado para concreto) e os custos de água e energia elétrica (aproximadamente 19% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 29% para produção de agregado para concreto). Os custos de manutenção representam 10% dos custos totais para as opções de agregado para pavimentação e para as opções de agregado para produção de concreto o custo de manutenção representa 15% do custo total. Os custos com vigilância representam entre 6% e 8% dos custos totais.

Tabela 49: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 50 ton/h para empresa pública

Item	Percentual Mínimo (%)	Percentual Máximo (%)
Custos de Operação	69,03	78,98
Custos de Manutenção	9,24	16,20
Despesas Indiretas	8,47	12,52
Juros de Financiamento	2,60	7,15

7.4.2 Empresa Privada

Para uma usina com capacidade de produção de 75 t/h, operada por empresa privada, os valores de venda dos agregados reciclados foram calculados pela planilha desenvolvida em R\$ 16,50/m³ para agregados para produção de concreto e R\$ 12,00/m³ para agregados para pavimentação. Estes preços correspondem a aproximadamente 80% dos preços máximos de venda estabelecidos. As opções viáveis estão apresentadas no quadro 28.

Com este valor de venda, as opções viáveis apresentaram Taxa Interna de Retorno (TIR) superior a 21% para produção de agregados para pavimentação e superior a 13% para agregados para produção de concreto. Para estas três opções viáveis, o período de retorno calculado foi entre 9 e 13 anos.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
Finalidade Agregado	Pavimentação				Concreto				Pavimentação				Concreto			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	I	V	I	V	I	V	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável).																

Quadro 28: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 75 t/h

O aumento do preço de venda para R\$ 12,40/m³ (em torno de 3%) do agregado reciclado para pavimentação e para R\$ 17,05/m³ (em torno de 3%) do agregado reciclado para concreto implica que outras opções tornem-se viáveis, conforme apresentado no quadro 29. Com estes preços de venda, as opções originalmente viáveis apresentam TIR muito boas, superiores à 43%. Novamente conclui-se que a variação do preço de venda do agregado, por menor que seja, tem alta influência na determinação da viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem de RCD com estas características. Para que as demais opções para produção de agregados para pavimentação se tornassem viáveis seria necessário aumentar o preço de venda até R\$ 13,05/m³, e para que as demais opções para produção de agregados para concreto se tornassem viáveis seria necessário aumentar o preço de venda até R\$ 18,00/m³.

Financiamento	Com Financiamento								Sem Financiamento							
Finalidade Agregado	Pavimentação				Concreto				Pavimentação				Concreto			
Terreno	Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel		Compra		Aluguel	
Máquinas e Veículos	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A
Viabilidade	V	V	I	V	V	V	I	V	I	V	I	V	I	I	I	I
Legenda: C (compra), A (aluguel), I (inviável), V (viável).																

Quadro 29: opções viáveis para usina de reciclagem, empresa privada, capacidade de produção de 75 t/h, com preço de venda alterado.

O demonstrativo de resultado (ano 1 e ano 20) para a opção com financiamento, com terreno comprado e com máquinas e veículos alugados para agregados para produção de concreto está apresentado no quadro 30.

ITEM	DESCRIÇÃO	ANO 1	ANO 20
1	RECEITA OPERACIONAL BRUTA	1.617.165	1.617.165
1.1	Venda de agregado reciclado	1.617.165	1.617.165
2	IMPOSTOS SOBRE RECEITA	333.945	333.945
2.1	PIS/COFINS	59.027	59.027
2.2	IPI	0	0
2.3	ICMS	274.918	274.918
3	RECEITA OPERACIONAL LÍQUIDA	1.283.220	1.283.220
4	CUSTOS DE PRODUÇÃO	944.889	944.889
4.1	Custos de Operação	775.844	775.844
4.1.1	Custo de Mão-de-Obra	207.124	207.124
4.1.2	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Alugados	243.936	243.936
4.1.3	Custo de Veículos, Máquinas e Equipamentos Próprios	0	0
4.1.4	Custo de Água e Energia Elétrica	324.785	324.785
4.1.5	Custo de Aluguel do Terreno	0	0
4.2	Custos de Manutenção	169.045	169.045
4.2.1	Custo de Troca de Peças de Desgaste	52.381	52.381
4.2.2	Custo de Manutenção Preventiva dos Equipamentos de Britagem	30.000	30.000
4.2.3	Custo de Manutenção Preventiva de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.4	Custo de Manutenção Corretiva	13.104	13.104
4.2.5	Custo de Depreciação de Equipamentos	71.573	71.573
4.2.6	Custo de Depreciação de Máquinas e Veículos Próprios	0	0
4.2.7	Custo de Manutenção de Terraplenagem e contenções	1.988	1.988
5	RESULTADO BRUTO	338.331	338.331
6	DESPESAS INDIRETAS	98.653	98.653
6.1	Despesas Indiretas de Operação	93.922	93.922
6.1.1	Mão-de-Obra Administrativa	22.018	22.018
6.1.2	Despesas Administrativas (telefone e material de consumo)	6.876	6.876
6.1.3	Vigilância	65.028	65.028
6.1.4	Outras Despesas c/ Impostos (ISSQN)	0	0
6.1.5	Outras Despesas Administrativas	0	0
6.2	Despesas Indiretas de Manutenção	4.731	4.731
6.1.1	Manutenção de obras civis	581	581
6.1.2	Depreciação de obras civis	4.150	4.150
7	RAJeIR (Resultado Antes de Juros e Imposto de Renda)	239.678	239.678
8	JUROS DE FINANCIAMENTO	125.970	0
9	LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda)	113.708	239.678
10	IMPOSTOS E TAXAS	27.290	57.523
10.1	Imposto de Renda	17.056	35.952
10.2	Contribuição Social	10.234	21.571
11	LUCRO LÍQUIDO	86.418	182.155

Quadro 30: tela “demonstrativo resultados”, cap. 75 t/h, empresa privada, opção com financiamento, agregado para concreto, terreno comprado e máquinas e veículos alugados

Os resultados da análise econômica das opções viáveis para agregados para concreto (R\$ 16,50/m³) e para agregados para pavimentação (R\$ 12,00/m³) são apresentados na tabela 50.

Tabela 50: Resultados da análise econômica, usina com capacidade de 75 ton/h para empresa privada

Item			
Financiamento	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	12,00	12,00	16,50
Pay Back (anos)	12	9	13
VPL (R\$)	71.759	19.055	13.022
TIR (%)	21,67	34,28	13,39
PE – 1º Ano	0,87	0,92	0,83
PE – Médio	0,81	0,89	0,76
Índice Benefício Custo	1,31	1,119	1,027

Os valores médios máximos e mínimos dos custos de produção e demais despesas analisadas estão apresentados na tabela 51. Dentre os custos de operação destacam-se os custos de aluguel de máquinas e veículos (aproximadamente 22% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 16% para produção de agregado para concreto). Destacam-se também os custos de mão-de-obra (aproximadamente 18,5% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 13% para produção de agregado para concreto) e os custos de água e energia elétrica (aproximadamente 14% dos custos totais para produção de agregado para pavimentação e 22% para produção de agregado para concreto). Os custos de manutenção representam 7% dos custos totais para as opções de agregado para pavimentação e para as opções de agregado para produção de concreto o custo de manutenção representa 11% do custo total. Os custos com vigilância representam entre 4% e 6% dos custos totais.

Tabela 51: percentuais médios máximos e mínimos dos custos de usina de reciclagem com capacidade de produção de 50 t/h para empresa privada

Item	Percentual Mínimo (%)	Percentual Máximo (%)
Impostos	22,57	24,88
Custos de Operação	62,50	66,72
Custos de Manutenção	7,15	11,30
Despesas Indiretas	6,59	8,94
Juros de Financiamento	2,01	5,37

Os custos de implantação variam de R\$ 413.059,00 até R\$ 893.059,00 para a opção de produção de agregados para pavimentação de acordo com a opção de aquisição ou aluguel do terreno. Já para a opção de produção de agregado para concreto o custo de implantação foi de R\$ 1.453.396,00.

A análise de sensibilidade foi efetuada nas três opções que apresentaram viabilidade, quais sejam, as opções com financiamento, terreno alugado ou comprado e máquinas e veículos alugados para agregados para pavimentação e a opção com financiamento, terreno comprado e máquinas e veículos alugados para agregados para produção de concreto. Escolheram-se os itens de maior participação percentual nos custos de implantação e nos custos de operação, quais sejam, custo de aquisição de equipamentos, custo de aquisição do terreno, aluguel de máquinas e veículos, custo de mão-de-obra e custo de água e energia elétrica. Estudou-se somente a variação percentual de 10% para mais de cada um dos itens avaliados (para mão-de-obra foi considerado o acréscimo de um operário). Para agregados para produção de concreto houve aumento de 7,6% no preço de venda e para agregados para pavimentação o aumento foi de 6,7% no preço de venda. Os resultados estão apresentados na tabela 52.

Tabela 52: análise de sensibilidade – aumento de 10% nos itens equipamentos, terreno, máquinas e veículos alugados, mão-de-obra e água e energia elétrica

Item			
Financiamento	com	com	com
Finalidade do Agregado	Pavimentação	Pavimentação	Concreto
Terreno	Compra	Aluguel	Compra
Máquinas e Veículos	Aluguel	Aluguel	Aluguel
Valor de Venda	12,80	12,80	17,75
Custo de Implantação	970.959	442.959	1.577.239
Pay Back (anos)	14	11	13
VPL (R\$)	36.242	16.562	11.475
TIR (%)	15,93	32,18	13,10
PE - 1º Ano	0,88	0,92	0,83
PE - Médio	0,82	0,89	0,76
Índice Benefício Custo	1,144	1,096	1,022

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tabela 53 reúne dados de custos de reciclagem de RCD de diversos autores. Já a tabela 54 apresenta um resumo dos valores de venda de agregados reciclados calculados no presente trabalho através da planilha desenvolvida e a tabela 55 apresenta os valores de investimento para os diversos tipos de usinas estudadas. Nesta tabela, as variações dos valores de investimento se dá pela opção de aluguel ou compra das máquinas, dos veículos e do terreno.

Tabela 53: custos de produção de reciclagem de RCD

AUTOR	CUSTOS DE RECICLAGEM (R\$/m ³) (1) ou (US\$/t) (2)			Valor de Venda da Areia
	Custo de Produção			
	Valor	Ano Base	Valor Corrigido (IPCA) (1)	
Pinto (1997, p.33)	4,00 (3)	1997	11,09	
Levy (1997, p.68)	2,80 (4)	1997		
Andrade et al. (1998, p.139)	2,5 (2)	1998	7,73	7,0 (2) 20,00 (2)
Lima e Silva (1998, p.169)	5,0 (2)	1998	15,46	11,00 (2)
Pinto (1999, p.95, 96 e 141)	5,00 (3)	1998	13,46	
Brito Filho (1999, p.65)	5,20 à 7,80 (1)	1999	8,15 à 12,22	20,00 (1)
Baptisti (1999, p.112) cap. 20 t/h	5,80 à 5,90 (3)	1999		
Baptisti (1999, p.112) cap. 50 t/h	4,30 à 4,40 (3)	1999		
Baptisti (1999, p.112) cap. 70 t/h	3,80 à 3,90 (3)	1999		
Baptisti (1999, p.112) cap. 100 t/h	3,20 à 3,40 (3)	1999		

Unidade: (1) (R\$/m³), (2) (US\$/t), (3) (R\$/t) e (4) (US\$/m³)

Tabela 54: tabela resumo dos preços de venda, base 01/01/2005

CAPACIDADE DE PRODUÇÃO (t/h)	PREÇOS DE VENDA (R\$/m ³)			
	Empresa Pública		Empresa Privada	
	Pavimentação	Concreto	Pavimentação	Concreto
30	14,25*	18,55*	I	I
40	13,80	17,95	15,00*	20,00*
50	12,00	16,50	15,00	20,00*
75	9,50	13,00	12,00	16,50

Obs. (*): situação padrão modificada, conforme descrito, para atender o preço máximo de venda

Comparando-se as tabelas 53 e 54, pode-se afirmar que os custos de reciclagem referenciados pelos autores citados situam-se próximos dos custos de usinas de reciclagem administradas por empresa pública, para produção de agregados para concreto e pavimentação, com

capacidade de produção entre 50 t/h e 75 t/h. Com base nos dados obtidos, observa-se que as capacidades de produção mínimas para se obter viabilidade econômica são de 30 t/h para empresa pública e de 40 t/h para empresa privada, não sendo possível a implantação de pequenas usinas, com capacidades de 15 t/h a 20 t/h, que favoreceriam a implantação de áreas de reciclagem descentralizadas, conforme destacado por Pinto (1999, p.122).

É importante destacar que o presente trabalho apresenta diretrizes gerais para a implantação de usinas de reciclagem. Desta forma, em casos específicos, outras usinas de menor capacidade também poderão apresentar viabilidade, bem como usinas de reciclagem de maior capacidade poderão não apresentar viabilidade. Igualmente, os valores de investimentos e dos preços de venda também são referenciais, podendo sofrer variações de acordo com o local de implantação e demais características de cada usina de reciclagem. É importante que em cada caso seja feita uma análise de mercado para que se tenha uma garantia firme da demanda do material produzido, atenuando-se o risco do empreendimento. Outro fato relevante é que a cobrança de taxas de deposição de RCD afetará positivamente as receitas do empreendimento e conseqüentemente sua viabilidade econômica.

Tabela 55: tabela resumo dos valores de investimento, base 01/01/2005

CAPACIDADE DE PRODUÇÃO (t/h)	VALORES DE INVESTIMENTO (milhares R\$)			
	Empresa Pública		Empresa Privada	
	Pavimentação	Concreto	Pavimentação	Concreto
30	245 a 565*	523 a 843*	I	I
40	279 a 629	612 a 962	279 a 539*	612 a 932*
50	316 a 1.156	797 a 1.217	316 a 736	797 a 1.217*
75	413 a 893	973 a 1.453	413 a 893	1.453

Obs. (*): situação padrão modificada, conforme descrito, para atender o preço máximo de venda

Como considerações finais dos resultados obtidos neste trabalho pode-se registrar que:

- a) o custo de reciclagem reduz com o aumento da capacidade de produção;
- b) existe a necessidade da produção de grandes quantidades de agregados para que o empreendimento apresente viabilidade;
- c) os custos de produção de agregados para produção de concreto são em torno de 35% maiores que os custos de produção de agregados para pavimentação, para usinas com mesma capacidade de produção, devido ao maior custo de aquisição dos equipamentos;

- d) os custos de produção de uma usina de reciclagem privados são em torno de 25% maior, quando comparado com uma usina de mesma capacidade administrada por empresa pública, devido aos custos dos impostos;
- e) uma usina de reciclagem administrada por empresa privada somente apresenta viabilidade a partir de 40 t/h, com alterações em relação aos parâmetros adotados, devido ao alto custo representado pelos impostos;
- f) uma usina de reciclagem administrada por empresa pública somente é viável a partir de 30 t/h, com alterações nos parâmetros adotados, ou a partir de 40 t/h, sem alterações nos parâmetros adotados;
- g) este tipo de investimento apresenta um custo de capital bastante elevado;
- h) a variação do preço de venda do agregado reciclado, por menor que seja, produz variações significativas na viabilidade econômica da usina. A indústria de agregados produz grandes volumes com valor unitário baixo, desta forma, pequenas variações nos custos de operação podem ter importante impacto no desempenho econômico das usinas. Este fato também é indicado por Wilburn e Goonan (1998, p.6).

Em função das visitas técnicas realizadas pode-se afirmar que a diferença entre o sucesso e o fracasso na implementação de uma usina de reciclagem de RCD está no planejamento e na gestão integrada do “sistema RCD” de uma forma global, envolvendo todos os atores de forma a estabelecer responsabilidades e benefícios de forma transparente para cada parte envolvida, sendo que o estado exerce importante papel na implantação e continuidade de operação destas usinas de reciclagem.

Há a necessidade de implantar-se políticas públicas de incentivo nas três esferas de governo. Neste sentido, destacam-se as seguintes ações, sendo que algumas são compartilhadas por outros autores, conforme já registrado no item 2.4:

- a) implementação de políticas públicas de gestão integrada dos RCD (Resolução Nº 307 do CONAMA) (BRASIL, 2002), fiscalização destas políticas e da correta disposição dos resíduos por parte dos geradores;
- b) incentivos fiscais com redução ou isenção de impostos, tais como PIS/COFINS (esfera federal) e ICMS (esfera estadual), aumentando desta forma a viabilidade de implantação de usinas privadas;
- c) incentivos políticos, tais como, aumento de taxas de disposição de RCD em aterros de forma a priorizar a reciclagem, responsabilização do gerador e aumento de taxas de extração de recursos naturais;

- d) articulação dos diferentes agentes envolvidos (pequenos geradores, grandes geradores, transportadores de RCD, entes públicos) nas atividades vinculadas com a indústria da construção civil para redução do seu impacto ambiental;
- e) ação indutora do setor público para utilização de materiais reciclados, exercendo o seu poder de compra e estabelecendo a obrigatoriedade de utilização de agregados reciclados em obras públicas, construindo parcerias com a iniciativa privada, com as associações de catadores e entre municípios conurbados, bem como o aproveitamento de antigas instalações de mineração desativadas.

Dentro do enfoque abordado no último item do parágrafo anterior, a Prefeitura Municipal de São Paulo divulgou uma lista de serviços para os quais aceita a oferta do uso de agregados reciclados que atendam à especificação técnica e às condições favoráveis de preço, prevendo uma estimativa de preço da ordem de R\$ 21,91/m³ (PINTO, 2004a). Também é digno de nota o trabalho realizado no município de Piracicaba em parceria com a associação de caçambeiros e associação de catadores. A articulação viabilizando este tipo de ação é fundamental para o sucesso da implantação de usinas de reciclagem de RCD.

É importante destacar que não se pretende fazer concorrência de agregados reciclados com agregados naturais, reservando-os para fins mais nobres, tais como, concreto protendido e concreto estrutural de média e alta resistência. Devido ao desconhecimento do mercado consumidor sobre os produtos reciclados e conseqüente falta de cultura de uso destes produtos faz-se necessário a implementação das seguintes medidas:

- a) campanhas de esclarecimento para o público leigo;
- b) cursos, palestras e *work-shops* para utilização de agregados reciclados para profissionais da área;
- c) treinamento de mão-de-obra da construção civil.

Como sugestão para trabalhos futuros deve-se estudar os custos referentes à integração de toda a cadeia do setor de RCD, desde a geração, passando-se pelo transporte, destinação de pequenos volumes e unidades de transbordo, pela política municipal de gestão de resíduos até a reciclagem e destinação final. Também pode-se prever a remuneração da usina de reciclagem no recebimento do material a ser reciclado, pois as receitas advindas são valores significativos e fazem parte de novas estratégias de acordo com a gestão sustentável deste tipo de resíduos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. ACI 201.2R-77: Guide to durable concrete. In: _____. ACI Manual of Concrete Practice: part 1, local: ACI Committee 201, 1991. 37p.

AGOPYAN, V. et al. Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra. In: FORMOSO, Carlos Torres; INO, Akemi (editores). Inovação, Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003. (Coletânea HABITARE, v.2)

AKHTARUZZAMAN, A. A.; HASNAT, A. Properties of concrete using crushed brick as aggregate. **Concrete International**, Detroit, MI. v.5, n.2, p.58-63, feb. 1983.

ALMEIDA, S. L. M.; CHAVES, A. P. Aproveitamento de rejeito de pedreiras de Santo Antônio de Pádua - RJ. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 69p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 6.)

ANDRADE, R. C. et al. Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 2., 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 26 a 28 de outubro de 1998.

ANDRADE, A. C. et al. Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios. In: SIMPÓSIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CT 206 – IBRACON, 2001.p.65-74.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados**. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V.M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SIMPÓSIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CT 206 – IBRACON, 2001.p.43-56.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004**. resíduos sólidos - classificação. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.112**. resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.113**. resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.114**. resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e

operação. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.115**. agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. 2004. São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.116**. agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. 2004. São Paulo, Brasil.

BANTHIA, N.; CHAN, C. Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete. **Concrete International**, Detroit, MI. v.22, n.06, p.41-45, jun. 2000.

BARRA, M. **Estudio de la Durabilidad del Hormigón de Árido Reciclado en su Aplicación como Hormigón Armado**. 1996. 222 f. Tese (Doutorado) – Universidade Politécnica de Catalunya, Barcelona, 1996.

BARRA, M.; VASQUEZ, E. Particularidades do processo de carbonatação em concretos de agregado reciclado. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4., 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1997, p.217-224.

BASE. área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil, Eng. Caio de Lucca, responsável pela operação da usina de reciclagem de RCD, São Paulo, 2004. Informação verbal.

BAZUCO, R. S. **Utilização de Agregados Reciclados de Concreto para Produção de Novos Concretos**. 1999. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Federal de Santa Catarina, 1999.

BODI, J.; BRITO FILHO, J. A.; ALMEIDA, S. Utilização de entulho de construção civil reciclado na pavimentação urbana. In: **REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO**, 29., 1995, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 1995, p.408-436.

BOSSINK, B.A.G.; BROUWERS, H. J. H. Construction waste: quantification and source evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**. Canadá, v.122, n.1, p.55-60, mar. 1996.

BRASIL. Lei nº 4502, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o imposto de consumo e reorganiza a diretoria de rendas internas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 de novembro de 1964. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4502.htm. Acesso em: 01/11/2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002. Seção 1, p. 95-96. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conoma/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 06/06/2005.

BRITO FILHO, J. A. Cidades versus entulho. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON: CT 206 – Meio Ambiente, 1999. p.56-67.

CAIRNS, R.; DI NIRO, G., DOLARA, E. The use of RAC in prefabrication. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.371-379.

CARNEIRO, A. P. et al. Características do entulho e do agregado reciclado. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção: projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA, 2001a. Cap.5, p.142-187.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção: projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA, 2001b. Cap.6, p.188-227.

CASSA, J. C. S. et al. Diagnóstico dos setores produtores de resíduos na região metropolitana de Salvador /BA. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção: projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA, 2001b. Cap.2, p.46-73.

CASTRO, M. C. A. A. et al. Caracterização física e granulométrica dos entulhos gerados na construção civil na cidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABES, 1997, p.1667-1673.

CAVALCANTI, C. Princípios para construção de uma sociedade sustentável no Brasil: uma visão na perspectiva da economia ecológica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA: desenvolvimento sustentável: compreensão e princípios de políticas, 48., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBPC, 1996. 1CD-ROM

CHEN, How-Ji; YEN, Tsong; CHEN, Kuang-Hung. Use of building rubbles as recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**. Elmsford, NY, US, n.33, n.1, p.125-132, 2003.

CINCOTTO, M. A. Utilização de sub-produtos e resíduos na indústria da construção civil. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. São Paulo, PINI/IPT, 1988, p. 71-74.

CORBIOLI, N. do caos à solução. **Construção São Paulo**, São Paulo, n.2505, p.4-7, fev. 1996.

DE BAPTISTI, E. Operação de aterro para resíduos inertes: formas alternativas para reciclagem de entulho. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, RESID'99, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1999. p.111-119.

DE PAUW, C.; LAURITZEN, E.K. (Editores) Disaster planning, structural assessment, demolition and recycling. London, E & FN Spon.1994. (**Rilem Report 9**).

DE PAUW, P. et al. Shrinkage and creep of concrete with recycled materials as coarse aggregate. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.213-225.

DEPARTAMENTO DE LIMPEZA URBANA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO – LIMPURB. Responsável Eng. Dan Moche Schneider, 2004. Informação verbal.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA DE PORTO ALEGRE – DMLU. Responsável Eng. Evandro, Porto Alegre, abr. 2004. Informação verbal.

DEVENNY, A.; KHALAF, F. M. The use of crushed brick as coarse aggregate in concrete. **Mansory International**, v.12, n.3, p.81-84, 1999.

DRAKE, B. Crush'n run: preparation, flexibility and mobility are key to successful contract crushing. **Rock Products**, Chicago, v.103, n.2, p.26-28, 2000.

ELIAS-OZKAN, S. T. Recycling rubble into aggregates: a model for local governments. **Habitat International**, Oxford, v.25, n.4, p.493-502, 2001.

EMPRESA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL DE PIRACICABA – EMDHAP, Responsável Eng. Edson, Piracicaba, abr. 2004. Informação verbal.

FÁBRICA DE AÇO PAULISTA – FAÇO. **Manual de Britagem**, 4. ed. São Paulo, 1985.

FERRAZ, G. R. et al. Estações de classificação e transbordo na cidade de São Paulo. In: SIMPÓSIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: materiais reciclados e suas aplicações, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CT 206 – IBRACON, 2001.p.75-86.

FERREIRA, G. E.; ANDRADE, J. G. Elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. p.817-846.

FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. Cominuição. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. p.113-194.

FONSECA, J. B. B.; COSTA, J. S.; CONCIANI, W. Aproveitamento de rejeitos de cerâmica vermelha estrutural para produção de concreto de baixa resistência. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL: gerenciamento de resíduos e certificação ambiental, 2., 1998. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 1998. 2 v., p.94-98.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. Impacto de tecnologia de informação em empresas de varejo de material de construção. Relatório de Pesquisa nº 2/2002. Disponível em: <http://www.fgvsp.br/adm/arquivos_npp/P00218_1.pdf>. Acesso em: 01.10.2004.

FURLAN. Responsável Eng. Paulo Santos, Limeira, abr. 2004a. Informação verbal.

FURLAN. Manuais técnicos, 2004b.

GALESNE, A.; LAMB, R.; FENSTERSEIFER, J. **Decisões de investimentos da empresa**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1999.

GRECO, A. L.; AREND, L. R. **Contabilidade**: teoria e prática básicas. 8. ed. Porto Alegre:

Sagra Luzzatto, 1998.

HAMASSAKI, L. T. Processamento do lixo: reciclagem de entulho. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. Cap.4, Parte 7, p.178-189.

HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C. Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: **RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL WORKSHOP.**, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, PCC USP, UFSC, 1996, p.107-115.

HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. Londres: E & FN Spon, 1992.

HANSEN, T. C.; BOEGH, E. Elasticity and drying shrinkage of recycled-aggregate concrete. **Journal American Concrete Institute**, Detroit, MI, v.82, n.5, p.648-652, sep. oct. 1985.

HANSEN, T. C.; NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. **Concrete International**, Detroit, MI, v.5, n.1, p.79-83, jan. 1983.

HENDRIKS, C. F.; PIETERSEN, H. S. Concrete: durable, but also sustainable? In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.1-18.

INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL LTDA. – I & T. Manual de uso dos resíduos de construção reciclados em Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Tabela 657 - IPCA-acumulado no ano. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01.03.2005.

IRMÃOS PRETTO. Responsável Diretor João Godoy, Socorro, abr. 2004. Informação verbal.

JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar. 1998, São Paulo. PCC USP, 1998. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>. Acesso em: 30.09.2002.

JOHN, V. M. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999. p.44-55.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA, 2001. Cap.1, p.26-45.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO

RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, 2000, São Paulo. **Anais eletrônico...** São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2000. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>. Acesso em: 30.09.2002.

JUNGMANN, A.; QUINDT, J. Alljig: technology for separation of building rubble. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.45-53.

KASAI, Y.; FUJII, T. Demolition and reuse of concrete and masonry. **Concrete International**, Detroit, MI, v.11, n.3, p. 24-28. mar. 1989.

KIKUCHI, M. et al. Application of recycled aggregate concrete for structural concrete. Part 1: experimental study on the quality recycled aggregate and recycled aggregate concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.55-68.

LATTERZA, L. M.; MACHADO JR., E. F. Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição: um novo material para fabricação de painéis leves de vedação. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28. 1997, São Carlos. **Anais...** São Carlos, EESC/USP, v.5, p.1967-1975.

LAURITZEN, E. K. The global challenge of recycled concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate**. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.506-519.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos**. 1997. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 194 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL **WORKSHOP**, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, PCC USP, UFSC, 1996, p. 137-146.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Mitos e verdades sobre o efeito pozolânico dos resíduos cerâmicos e argamassas de cimento, produzidos em São Paulo. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10. 2004, São Paulo. **Anais eletrônico...** São Paulo: ANTAC. Disponível em <http://ww.infohab.br>. Acesso em: 01.03.2005.

LIMA, J. A. R.; SILVA, L. F. Utilização e normalização de resíduo de construção reciclado no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 2., 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 26 a 28 de outubro de 1998.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** 1999. 223f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MACHADO Jr., E. F.; AGNESINI, M. V. C. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos leves produzidos com argila expandida e com agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29., 2000, Punta del Este, Uruguay. **Memórias...** Punta del Este: EDITOR, 2000, 12p. 1 CD-ROM.

MACHADO Jr., E. F.; LATTERZA, L. M.; MENDES, C. L. Influência do agregado reciclado de rejeitos de construção e demolição nas propriedades do concreto fresco e endurecido. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29., 2000, Punta del Este, Uruguay. **Memórias...** Punta del Este: EDITOR, 2000, 13p. 1 CD-ROM.

MANSUR, M. A.; WEE, T. H.; CHERAN, L. S. Crushed bricks as coarse aggregate for concrete. **ACI Materials Journal**, Detroit, MI, v.96, n.4, p.478-484, July/Ago. 1999.

MAQBRT. Responsável Diretor Antônio Junqueira, São Paulo, 2004. Informação verbal.

MEHTA, P. K. Greening of the concrete industry for sustainable development. **Concrete International**, Detroit, MI, v.24, n.7, p. 23-28. July. 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994. Tradução Paulo Roberto Lago Helene (coordenador).

METSO. Responsável Sr. Alfredo Reggio. Departamento de aplicação e vendas da empresa Metso, Sorocaba, abr. 2005. Informação por e-mail.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** São Paulo, 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MONTGOMERY, D. G. Workability and compressive strength properties of concrete containing recycled concrete aggregate. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate.** London: Thomas Telford Pub, 1998, p.287-296.

MÜELLER, A.; WINKLER, A. Characteristics of processed concrete rubble. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate.** London: Thomas Telford Pub, 1998, p.109-119.

NEVES, C. M. M.; CARNEIRO, A. P.; COSTA, D. B. Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom.** Salvador: EDUFBA, 2001. Cap.7, p.228-260.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. São Paulo: PINI, 1997. Tradução Salvador E. Giammusso.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor, 1995. 240 p.

NORTEC. Responsável Diretor Sr. Artur Granato, São Paulo, abr. 2004. Informação verbal.

OLIVEIRA, M. J. E.; MATTTOS, J. T.; ASSIS, C. S. Resíduo de concreto: classe III versus classe II. In: SIMPÓSIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CT 206 – IBRACON, 2001.p.87-95.

OLIVEIRA, R. C.; ASSIS, C. S. Estudo da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 2., 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 26 a 28 de outubro de 1998.

PATIRI. Responsável diretor Sr. Rogério Patiri, Campinas, abr. 2004. Informação verbal.

PENG, C.; SCORPIO, D. E.; KILBERT, C. J. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. **Construction, Management and Economics**, London, v.15, n.1, p.49-58, 1997.

PERA, J. State of the art report – use of waste materials in construction in Western Europe. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL WORKSHOP., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, PCC USP, UFSC, 1996, p.1-20.

PIACENTINI. Responsável diretor Sr. Antônio Alves, Piracicaba, abr. 2004. Informação verbal.

PIACENTINI Manuais técnicos, 2004b.

PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios.** São Paulo, 1993. 462f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PIETERSEN, H. S.; FRAAY, A.L.A.; HENDRIKS, C. F. Application of recycled aggregates in concrete: experiences from the Netherlands. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE CEMENT AND CONCRETE INDUSTRY. Ottawa, Canada: CANMET/ACI, 1998. [S.I.:s.n.], p.131-146.

PINTO, J. R. D. Imposto de Renda, Contribuições Administradas pela Secretaria da Receita Federal e Sistema SIMPLES. 12. ed. Porto Alegre: CRCRS, 2004.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas.** 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PINTO, T. P. Reciclagem de resíduos de construção urbana no Brasil. Situação atual. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1996. **Anais...** São Paulo: ANTAC, PCC USP. p. 159-170.

PINTO, T. P. Resultados da gestão diferenciada. **Revista Técnica**, São Paulo, n.31, p.31-34, nov./dez. 1997.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 190 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. Gestão dos resíduos de construção e demolição em áreas urbanas: da ineficiência a um modelo de gestão sustentável. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom.** Salvador: EDUFBA, 2001. Cap.3, p.76-113.

PINTO, T. P. A nova legislação para resíduos da construção. **Revista Técnica**, São Paulo, n.82, p.62-64, jan. 2004a.

PINTO, T. P. Responsável Arq. Tarcísio Pinto, diretor da empresa I & T. São Paulo: I & T, abr. 2004b. Informação verbal.

PIT & QUARRY. Quarryology 101: Lesson 3: Part 1, Plant Design/Components. **Pit & Quarry.** 2002a. Disponível em: <<http://www.pitandquarry.com>>. Acesso em 28/03/2005.

PIT & QUARRY. Quarryology 101: Lesson 5: Part 1, Portable Plants/Recycling. **Pit & Quarry.** 2002b. Disponível em: <<http://www.pitandquarry.com>>. Acesso em 28/03/2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO – PMRP. Responsável Eng. Helder Barquete Carvalho da Divisão de Obras e Serviços. Ribeirão Preto, abr. 2004. Informação verbal.

PROGRAMA ENTULHO LIMPO. Grupo gestor: **Eco Atitude:** ações ambientais. Brasília: Sinduscon.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE – PNUMA. **Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2000:** panorama general. Nairobi, 1999. 20 p. Disponível em: <<http://www.unep.org/>>. Acesso em 01.03.2005.

PUCCINI, A. L. **Matemática financeira e análise de investimentos.** Rio de Janeiro: Beta, 1977.

PUCCINI, A. L. **Matemática financeira:** objetiva e aplicada. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 1998.

QUEBAUD, M. R.; BUYLE-BODIN, F. A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO

(CBC), 5., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBC, 1999. 14 p.

QUEBAUD, M. R. et al. Influência do teor em agregados proveniente da reciclagem de materiais de demolição (agregados reciclados) na permeabilidade do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 41., 1999, Salvador. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999. Arquivo: 2-1-18, 16p. 1 CD-ROM.

RASHWAN, M. S.; ABOURIZK, S. The properties of recycled concrete. **Concrete International**, Detroit, MI, v.19, n.7, p.56-60, july. 1997.

RAVINDRARAJAH, R. S.; TAM, C. T. Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. **Magazine of Concrete Research**, v.37, n.130, p.29-38, mar. 1985.

SAGOE-CRENTSIL, K. K.; BROWN, T.; TAYLOR, A. H. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, NY, US, n.31, p.707-712, 2001.

SALEM, R. M.; BURDETTE, E. G. Role of chemical and mineral admixtures on physical properties and frost-resistance of recycled aggregate concrete. **ACI Materials Journal**, Detroit, MI, v.95, n.5, p.558-563, sept./oct. 1998.

SANDVIK Manuais técnicos, 2004.

SANTANA, M. J. A.; SAMPAIO, T. S.; CARNEIRO, A. P. Uso do agregado reciclado em argamassas de revestimento. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001. Cap.8, p.262-299.

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI JR., A. Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, v.4, n.4, p.21-32, out./dez. 2004.

SHULZ, R. R.; HENDRICKS, F. Recycling of masonry rubble. In: HANSEN, T. C. (editor). **Recycling of demolished concrete and masonry**. Londres: E & FN Spon, 1992. Part 2, p.161-255.

SIMPSON, D. Recycled aggregates in concrete – a realist's perspective. **Concrete**, Detroit, MI, v.33, n.6, p.17, 1999.

Sistema Nacional de Preços e Índices da Construção Civil – SINAPI, Porto Alegre, jan. 2005.

SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE – SLU/PMBH. Responsável Eng. Iacomini, Belo Horizonte, fev. 2004. Informação verbal.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC. Relatório Anual. Disponível em: <http://www.snic.com.br/f_numeros.htm>. Acesso em: 16.03.2005.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DA PREFEITURA MUNICIPAL VINHEDO – SMA. Responsável Sr. Henrique Lopes Neto. Vinhedo, 2004. Informação verbal.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e**

seu controle. 1993. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto:** aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. 1997. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos:** fundamentos, técnicas e aplicações. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1997.

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate. **ACI Materials Journal**, Detroit, MI, v.93, n.2, p.182-190, mar./apr. 1996a.

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. Drying shrinkage behavior of recycled aggregate concrete. **Concrete International**, Detroit, MI, v.18, n.11, p.58-61, nov. 1996b.

TECTRIX. Responsável Diretor Sr. Laércio, Araraquara, abr. 2004. Informação verbal.

TOBORI, N.; HOSODA, T.; KASAMI, H. Properties of superplasticized concrete containing recycled fine aggregate. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 2, 1999, Gramado. **Proceedings...** Porto Alegre: UFRGS, 1999. 18p. Supplementary Papers. 1 CD-ROM.

TOPÇU, I. B.; GUNÇAN, N. F. Using waste concrete as aggregate. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, NY, US, v.25, n.7, p.1385-1390, oct. 1995.

TURLEY, W. Portable support: an edge for recycling arm. **Rock Products**, Chicago, v.101, n.8, p.36-38, 1998a.

TURLEY, W. Concrete crushing: creole style. **Rock Products**, Chicago, v.101, n.8, p.44-46, 1998b.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY MUNICIPAL AND INDUSTRIAL SOLID WASTE DIVISION – EPA. Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States. – EPA. PRAIRIE Village, KS: Franklin Associates, June 1998. Report nº EPA530-R-98-010.

VALVERDE, F. M. Balanço Mineral Brasileiro 2001 – Agregados para Construção Civil. 2001. 15 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/BalançoMineral2001/agregados.pdf>. Acesso em 23/03/2005.

VAN DEER WEGEN, G; HAVERKORT, R. Recycled construction and demolition wastes as a fine aggregate for concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) **Sustainable construction:** use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.333-345.

VÁZQUEZ, E. Utilización de resíduos em la C.E.E.: aspectos políticos y ambientales. Estado del arte y normalización. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA

ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC – USP, 1997, p.64-66.

VÁZQUEZ, E. Introdução. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom.** Salvador: EDUFBA, 2001, p.22-25.

WILBURN, D. R.; GOONAN, T. G. Aggregates from Natural and Recycled Sources: economic assessments for construction applications: a materials flow analysis. **U.S. Geological Survey Circular 1176.** 1998. Disponível em: <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/circulars/c1176/c1176.html>. Acesso em 01.09.2003.

XAVIER, L. P.; ROCHA, J. C. Diagnóstico do resíduo da construção civil: início do caminho para o uso potencial do entulho. In: SIMPÓSIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: materiais reciclados e suas aplicações, 4., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CT 206 – IBRACON, 2001.p.57-63.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto.** 1997, 140 f. Dissertação (Mestrado) –Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

ZORDAN, S. E.; PAULON, V. A. A utilização do entulho como agregado para o concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 27 a 30 de abril de 1998, p.923-932.