

**CAROLINA MENNA BARRETO DE BARROS FALCÃO
DANIELLE MIDORY OSHIRO MARQUES DE SOUZA
JULIA ZANETTI FERREIRA
MARCELO RAPHE MATAR
RAFAEL RODRIGUES DE SOUZA**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO INVESTIMENTO E EMISSÕES DE CO₂
ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NA
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Projeto de Formatura apresentado a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo no âmbito do
curso de Engenharia Civil.

São Paulo

2013

**CAROLINA MENNA BARRETO DE BARROS FALCÃO
DANIELLE MIDORY OSHIRO MARQUES DE SOUZA
JULIA ZANETTI FERREIRA
MARCELO RAPHE MATAR
RAFAEL RODRIGUES DE SOUZA**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO INVESTIMENTO E EMISSÕES DE CO₂
ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NA
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Projeto de Formatura apresentado a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo no âmbito do
curso de Engenharia Civil.

Orientador:

Professor Dr. Sérgio Cirelli Angulo

Co-Orientador:

Professor Dr. Rogério Fonseca Santovito

São Paulo

2013

Falcão, Carolina Menna Barreto de Barros

Análise da qualidade do investimento e emissões de CO2 associadas à produção de agregados reciclados na Região Metropolitana de São Paulo / C.M.B.B. Falcão, D.M.O.M. Souza, J.Z.Ferreira, M.R. Matar, R.R. Souza. -- São Paulo, 2013. 187 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Agregados (Reciclagem) 2.Resíduos de construção I.Souza, Danielle Midory Oshiro Marques de II.Ferreira, Julia Zanetti III.Matar, Marcelo Raphe IV.Souza, Rafael Rodrigues de V.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil VI.t.

RESUMO

Empresas do setor de construção civil possuem muitas perdas durante seu processo, gerando grande quantidade de resíduos da construção e demolição. Simultaneamente, há entraves no suprimento de agregados naturais devido ao distanciamento das jazidas em relação aos centros urbanos, o que eleva o valor do transporte frente ao baixo valor agregado do produto. Surge como possível solução para essas questões a utilização de agregados reciclados, o que permite o aproveitamento dos resíduos da construção civil e a substituição parcial dos agregados naturais. O objetivo deste trabalho é avaliar a reciclagem do ponto de vista da qualidade do investimento e das emissões de CO₂ no seu processo de produção e transporte.

A análise da qualidade do investimento foi feita para a partir de um protótipo aplicado para os cenários de usinas fixa e móvel, com e sem financiamento, com uma análise probabilística de intervalo de confiança de 90%. Dentro de todos esses cenários o empreendimento se mostrou viável e rentável, apesar dos diferentes investimentos iniciais necessários em cada caso.

Na análise da qualidade do investimento também foi feita uma análise da distância usina/consumidor em comparação com a distância pedreira/consumidor para avaliar o impacto da distância no preço final para o cliente e também até que distâncias é possível trabalhar com agregados reciclados de forma competitiva com os agregados naturais.

Por sua vez, compararam-se as emissões unitárias de CO₂ relativas a usinas de reciclagem móveis, fixas e pedreiras. As menores emissões foram calculadas para a reciclagem móvel, seguida da fixa e das pedreiras. O fator mais impactante nessas emissões foi a distância de transporte.

Os resultados obtidos apontam a menor agressão da reciclagem ao meio ambiente em termos de emissões de CO₂, bem como a possibilidade de obter-se resultados satisfatórios no seu investimento.

ABSTRACT

The construction industry is one of the sectors with the highest losses during its process, generating a large amount of construction and demolition waste. Simultaneously, there are hurdles in the supply of natural aggregates due to the distance of the quarries in relation to urban centers, which increases the total value of transport opposite to the low value of the product itself. Emerges as a possible solution to these issues the use of recycled aggregates, which allows taking advantage of the construction waste and the partial replacement of natural aggregates. The target of this thesis is to evaluate the recycled aggregates from the point of view of the quality of investment and CO₂ emissions in its production process and transportation.

The analysis of the quality of the investment was made based on a cash flow prototype to which was applied different scenarios, such as, fixed and mobile plants, with and without funding. Those scenarios had their results evaluated by a probabilistic analysis with confidence interval of 90%. In all these scenarios the enterprise proved feasible and profitable, despite the different initial investments required in each case.

As a part of the analysis of the quality of investment, it has also been evaluated the plant-consumer distance and the quarry-consumer distance to measure the impact of the transportation cost in the final price paid by the customer and also to limit the distances to which recycled aggregates can be employed competitively in comparison to natural aggregates.

Meanwhile, the emissions of CO₂ per unit were compared for mobile recycling plants, fixed recycling plants and quarries. The mobile recycling has the lowest emissions, followed by fixed plants and then quarries. The most striking factor in the calculation of emissions is the transportation distance.

The results show less aggression of recycling to the environment in terms of CO₂ emissions, as well as the ability to obtain satisfactory financial results on such an investment.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Evolução da produção de agregados para a construção civil no Brasil 1988-2007. Fonte: ANEPAC – DNPM.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 - Pedreiras na RMSP. Fonte: Markus Rebmann, LMC-PCC.</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3 - Percentual de Consumo Setorial de Rocha Britada – 2007. Fonte: LA SERNA; REZENDE, 2009.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4 - Lançamentos residenciais – RMSP (2004 – 2011). Fonte: ANEPAC – DNPM apud SECOVI, 2011</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5 - Lançamentos comerciais - RMSP (2004 – 2011). Fonte: Embraesp apud SECOVI, 2011.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6 - Consumo per capita de agregados – Estados (2006). Fonte: IBRAM, 2007.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7 – Usinas de reciclagem de RCD classe A inauguradas entre 1991 e 2008. Fonte: MIRANDA et al, 2008.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8 - Usinas fixa visitada, 2013. Fonte: acervo próprio.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9 - Usina móvel da empresa visitada. Fonte: Recinert Ambientale.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10 - atividade de reciclagem fixa com sistema de aspersão de água para controle de pó. Imagem: acervo próprio.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 11- Disposição da planilha do modelo de análise.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 12 – Fronteira do sistema da ACV de mineração de rocha.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 13 - Fronteira do sistema da ACV de reciclagem fixa.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14 - Fronteira do sistema da ACV de reciclagem móvel.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 15 - Modelo de cálculo das emissões de CO₂.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16 - Macroprocessos escolhidos.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 17 - Ábaco para definição de equipamento Fonte: Caterpillar Performace Handbook Edition 29, pag. 625.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 18 - Tabela de consumo médio de diesel de escavadeiras hidráulicas conforme o modelo e intensidade de utilização.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 19 - Tabela de consumo médio de diesel de pá carregadeira hidráulicas de pneus conforme o modelo e intensidade de utilização.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 20 - Perímetro de Busca Visual.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 21 - Pedreiras e seu entorno</i>	<i>61</i>
<i>Figura 22 - Portos de areia e seu entorno</i>	<i>62</i>

<i>Figura 23 - Cor da água e equipamentos de britagem.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 24 - Escavação em rocha.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 25 - Tipologias de Extração de Areia.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 26 - Extração de calcário (Mineradora Pagliato), à esquerda; e de areia (Itaquareia), à direita.Imagem: Google Earth.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 27 – Área urbanizada da RMSP, com os pontos representativos estudados: Sé, CG MSP, CG RMSP e um ponto na Marginal Tietê.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 28 - Distância das pedreiras até CG RMSP.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 29 - Distância da usinas fixas até CG RMSP.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 30 - Diagramação da distância euclidiana e distância em rede, ajustada pelo fator de circuito FC. Fonte: NETO, 2010.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 31- Gráfico de dispersão da TIR para variação de preço.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 32-Gráfico de dispersão da TIR para variação da demanda.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 33- Gráfico de dispersão da TIR para variação da demanda e do preço.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 34- Gráfico de dispersão da TIR para variação do preço e da demanda.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 35- Gráfico de dispersão da TIR para variação preço.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 36- Gráfico de dispersão da TIR para variação da demanda.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 37- Gráfico de dispersão da TIR para variação do preço e da demanda.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 38- Gráfico de dispersão da TIR para variação do preço e da demanda.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 39 – Gráfico das distâncias praticáveis considerando o limite de preço de agregado reciclado.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 40- Gráfico de dispersão da TIR para variação da distância.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 41- Gráfico de dispersão da TIR para variação da distância.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 42 - Esquema de britagem de Intercement.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 43 - Esquema de funcionamento da Lafarge.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 44 - Emissões da Pedreira Lafarge em Cajamar em % do total de emissões.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 45 - Fluxograma de britagem Eco-X.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 46 - Fluxograma de britagem Recinert Ambientale.....</i>	<i>111</i>

<i>Figura 47 - Gráfico comparativo entre as plantas e as diversas fontes de emissão.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 48 - Participação de cada fonte de emissão na emissão total de cada planta.</i>	<i>125</i>
<i>Figura 49 - Pedreiras na RMSP em relação ao ponto CG RMSP.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 50 - Distanciamento médio das pedreiras até CG RMSP.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 51 - Distanciamento médio, em rede, das pedreiras até CG RMSP..</i>	<i>128</i>
<i>Figura 52 – Usinas fixas na RMSP em relação ao ponto CG RMSP.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 53 - Distanciamento médio das usinas fixas até CG RMSP.</i>	<i>129</i>
<i>Figura 54 - Distanciamento médio das usinas fixas até CG RMSP.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 55 - Comparação de Dados de Distância Coletados e Mapeados. ...</i>	<i>131</i>
<i>Figura 56 - Imagens da pedreira Lafarge.....</i>	<i>iv</i>
<i>Figura 57 - Imagens da usina CRCD.....</i>	<i>ix</i>
<i>Figura 58 - Usinas móveis da Recinert Ambientale. Fonte: Recinert Ambientale, 2012</i>	<i>xix</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Percentual de Consumo Setorial de Areia - 2009.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2 - Consumo per capita de agregados – países (2006).....</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 3 - Mineração Rocha e Areia - Principais Impactos:.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 4 - Levantamento de usinas no Brasil e em São Paulo</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 5- Comparação das propriedades dos agregados reciclados com agregados naturais.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 6 - Usina Fixa e Móvel - Principais Impactos:</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 7 – Impactos Indiretos da Reciclagem</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 8 – Informações sobre o terreno</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 9 – Informações sobre a planta industrial</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 10 – Informações sobre obras civis</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 11 – Despesas operacionais.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 12 – Valores de frete e receitas obtidos.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 13 – Índices utilizados.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 14 – Projeção da demanda paulista total de agregados</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 15 – Produção de agregados em função da demanda</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 16 - Estabelecimento do consumo médio</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 17 - Consumo de diesel de veículos de 30 toneladas 8x4 (Coyle, 2007)</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 18- Resumo dos dados da usina fixa.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 19 – Continuação, dados da usina fixa.</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 20 – Resumo de dados da usina móvel.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 21 – Continuação, Resumo de dados da usina móvel.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 22 – Resultados de TIR para variação de preço com terreno comprado.</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 23- Resultados de TIR para variação de preço com terreno alugado.</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 24 – Resultados de TIR para variação da demanda com terreno comprado.</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 25 – Resultados de TIR para variação da demanda com terreno alugado.</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 26 – Resultados para variação do preço.</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 27- Resultados para variação da demanda.</i>	<i>77</i>

<i>Tabela 28- Resultados para variação do preço e da demanda.</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 29- Resultados para variação do preço e da demanda.</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 30- Resultados para variação do preço.</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 31- Resultados para variação da demanda.</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 32- Resultados para variação do preço e da demanda.</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 33- Resultados para variação do preço e da demanda.</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 34- Distância viável de entrega do agregado reciclado em função do preço.</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 35- Distância viável de entrega do agregado reciclado em função do preço.</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 36- Resultados de TIR em função da distância praticada.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 37- Resultados para variação da distância.</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 38- Resultados para variação da distância.</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 39 - Dados de entrada: produção de agregados</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 40 - Dados de entrada: distância média de transporte</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 41 - Consumo do conjunto britador da Intercement.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 42 - Emissões unitárias na produção, por produto.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 43 - Consumo escavadeira - CAT 345.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 44 - Consumo Pá carregadeira CAT 928 G</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 45 - Consumo energético estimado pelos equipamentos</i>	<i>97</i>
<i>Tabela 46 – Emissões unitárias com base nos consumos energéticos fornecidos.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabela 47 - Consumo Escavadeira - CAT 322</i>	<i>100</i>
<i>Tabela 48 - Consumo Pá carregadeira CAT 938 G</i>	<i>100</i>
<i>Tabela 49 - Emissões da Pedreira Lafarge em Cajamar em kgCO₂/t.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 50 - Consumo energético estimado pelos equipamentos</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 51 – Emissões unitárias com base nos consumos energéticos.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 52 - Consumo energético do conjunto britador da URBEM</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 53 - Comparação entre valores fornecidos e estimados de consumo energético.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 54 - Consumo Pá carregadeira - New Holland 12B.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 55 - Consumo energético estimado pelos equipamentos</i>	<i>105</i>
<i>Tabela 56 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabela 57 - Consumo energético calculado do conjunto britador da Eco-x..</i>	<i>106</i>

<i>Tabela 58 - Comparação entre valores fornecidos e estimados de consumo energético.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabela 59 – Consumo Escavadeira - New Holland E215B.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabela 60 - Consumo energético estimado pelos equipamentos</i>	<i>109</i>
<i>Tabela 61 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabela 62 – Consumo Escavadeira - CASE - CX210B.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabela 63 - Consumo energético estimado pelos equipamentos</i>	<i>112</i>
<i>Tabela 64 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabela 65 – Consumo Escavadeira - CASE - CX210B.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabela 66 - Consumo energético estimado pelos equipamentos</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 67 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 68 - Distância média de distribuição de agregados</i>	<i>115</i>
<i>Tabela 69 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabela 70 - Emissões unitárias com base no consumo estimado</i>	<i>116</i>
<i>Tabela 71 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 72 - Emissões unitárias com base no consumo estimado</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 73 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 74 - Emissões unitárias com base no consumo estimado</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 75 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabela 76 - Emissões unitárias com base no consumo estimado</i>	<i>119</i>
<i>Tabela 77 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 78 - Emissões unitárias com base no consumo estimado</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 79 - Tabela comparativa entre as plantas e as diversas fontes de emissão.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabela 80 - Produtos comuns das plantas estudadas</i>	<i>124</i>
<i>Tabela 81 - Estudo das distâncias das pedreiras em relação a CG RMSP..</i>	<i>127</i>
<i>Tabela 82 - Estudo das distâncias das usinas fixas em relação a CG RMSP</i>	<i>128</i>
<i>Tabela 83 - Comparação de Dados de Distância Coletados e Mapeados....</i>	<i>131</i>
<i>Tabela 84 - Dados obtidos na pedreira Lafarge.....</i>	<i>iii</i>

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	1
1.2.	OBJETIVO	3
2.	AGREGADOS NATURAIS	4
2.1.	OFERTA.....	4
2.2.	DEMANDA	7
2.3.	CUSTO E PREÇO	11
2.4.	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	12
3.	AGREGADOS RECICLADOS	16
3.1.	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	16
3.1.1.	DISPONIBILIDADE	16
3.1.2.	DISPOSIÇÃO.....	16
3.2.	RECICLAGEM	18
3.2.1.	OFERTA DE USINAS	19
3.2.2.	TIPOS DE USINAS DE RECICLAGEM	20
3.2.3.	TIPOS DE AGREGADOS RECICLADOS	22
3.2.4.	DEMANDA	24
3.3.	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	25
4.	METODOLOGIA.....	29
4.1.	LEVANTAMENTO DE DADOS	29
4.2.	ANÁLISE DE QUALIDADE DO INVESTIMENTO	31
4.2.1.	PROTÓTIPO	31
4.2.2.	DADOS DE ENTRADA	35
4.3.	CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO ₂	44
4.3.1.	DELIMITAÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA	45

4.3.2.	DETERMINAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO.....	47
4.4.	DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE	59
5.	RESULTADOS	69
5.1.	ANÁLISE DE QUALIDADE DO INVESTIMENTO	69
5.1.1.	RESUMO DOS DADOS	69
5.1.2.	ANÁLISES PRELIMINARES DETERMINÍSTICAS	73
5.1.3.	ANÁLISES PROBABILÍSTICAS.....	75
5.1.4.	FRETE	85
5.1.5.	USINA MÓVEL.....	88
5.2.	ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CO ₂	92
5.2.1.	EMISSÕES NA PRODUÇÃO.....	93
5.2.2.	EMISSÕES NO TRANSPORTE.....	115
5.2.3.	RESULTADOS FINAIS	121
5.2.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	122
5.2.5.	ANÁLISE DAS DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE.....	126
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133
	ANEXOS.....	144
	ANEXO I: Roteiro de entrevistas	144
	ANEXO II: Estudos de Casos	144
	ANEXO III: Cotação de preço de agregados	144
	ANEXO IV: Cotação de preço de terrenos.....	144

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

Com cerca de 19,7 milhões de habitantes, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) representa aproximadamente 10% da população brasileira ¹, concentrando ainda 33,1 % do Produto Interno Bruto (PIB) nacional ². A RMSP passou por intenso processo de urbanização e expansão entre as décadas de 40 e 70 e um fator contribuinte dessa expansão pode ter sido as características geológicas da RMSP, que é rica em minerais da construção civil como areia, brita, cimento, argila e cascalho. Segundo Bitar (1997) essa disponibilidade de matéria-prima em abundância, com relativa proximidade dos centros consumidores e a baixo custo financeiro propiciou a construção da extensa quantidade de edificações, obras públicas, industriais e de infraestrutura presentes na metrópole.

A mineração de agregados para a construção civil é caracterizada por situar-se marginalmente à malha urbana, com proximidade suficiente dos pontos de consumo, mas onde o preço da terra é menor. Com a expansão da mancha urbana da RMSP para áreas cada vez mais periféricas, a atividade de mineração passa a sofrer cada vez mais restrição devido a conflitos de uso do solo, impactos ambientais e rejeição da população por esse tipo de indústria. Resta às mineradoras exercer suas atividades cada vez mais distante dos centros consumidores.

Conforme aumenta a distância entre pontos de produção e consumo de agregados, sobe também o custo de transporte da mercadoria. Ao se tratar de areia e brita, cujo valor agregado por massa do produto é baixo, o frete torna-se muito impactante na composição do preço. Esse distanciamento também deve considerar o impacto gerado ao tráfego urbano, já que os volumes produzidos na RMSP são da ordem de milhões de toneladas ao ano e o transporte ocorre por via rodoviária.

Da mesma forma que o setor de mineração enfrenta impasses em regiões urbanizadas, outro tema relevante às cidades é a coleta e destinação adequada de resíduos da construção civil: Estima-se (PINTO,1999 *apud* ANGULO, 2000) que a

¹ A população brasileira está em quase 191 milhões de habitantes (CENSO 2010 - IBGE, 2013).

² Fonte: SEADE. Disponível em: http://www.seade.gov.br/produtos/pib/pdfs/pib_analise_2010.pdf; acesso em 24/11/2012.

quantidade resíduos da construção e demolição (RCD) gerada em cidades brasileiras é de 0,5 tonelada/habitante x ano, o que, para a RMSP, equivale a 9 milhões de toneladas/ano de RCD. Esse montante representa mais de 60% em massa de todos os resíduos sólidos gerados (PINTO, GONZÁLEZ, 2005).

Se a geração de RCD é alta, por sua vez, a situação dos aterros e locais de disposição adequados no município de São Paulo é ruim, com crescente escassez de locais próprios para aterros de inertes e os em operação se localizam fora do perímetro da RMSP. Assim, a distância de transporte de RCD também se torna significativa no seu custo de disposição.

O setor da construção civil na RMSP se depara, portanto, com duas questões: uma indústria de agregados que encontra cada vez mais obstáculos para sua operação sustentável; e uma grande geração de resíduos que necessita de uma solução planejada, visando sua redução, reutilização e reciclagem.

Os agregados provenientes de resíduos de construção reciclados podem fazer com que o setor seja menos dependente da extração de minério natural. A possibilidade de produzi-los dentro dos centros urbanos, minimiza a problemática de transporte e as implicações socioambientais por ele causadas. A reciclagem, ao consumir o resíduo proveniente da construção e demolição, promove sua destinação adequada (CONAMA 307/2002). Assim, além de contribuir para a menor utilização dos recursos naturais e para a diminuição dos impactos urbanos, contribui também para a diminuição e correta destinação dos resíduos gerados.

Apesar das vantagens apontadas sobre a reciclagem, observam-se barreiras a sua utilização, como a falta de um mercado consolidado para estes produtos. Mesmo que ela seja uma solução tecnicamente viável e necessária, ainda há poucos estudos práticos e financeiros consolidados que avaliem sua atratividade enquanto investimento, o que poderia estimular a iniciativa privada. Adicionalmente, faz-se necessária uma avaliação ambiental provando a real sustentabilidade mistificada da reciclagem e as possíveis soluções para aprimorá-la. Por fim ainda não se tem um planejamento público consolidado que molde o desenvolvimento do setor de reciclagem de RCD, para que esta ocorra de modo otimizado e benéfico a todas as partes envolvidas.

1.2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho consiste em analisar a reciclagem de RCD no contexto da RMSP sob dois pontos de vista:

- da qualidade do investimento, comparando os modelos de negócios de usinas fixas e móveis;
- das emissões de CO₂ diretas e indiretas da mineração, das usinas fixas e móveis.

Busca-se elucidar os fatores mais significativos para a melhoria da reciclagem sob esses enfoques.

2. AGREGADOS NATURAIS

2.1. OFERTA

Os agregados naturais – areia e brita – são de grande relevância para a sociedade. São os minerais mais consumidos no mundo e, no Brasil, este segmento da indústria mineral é o que comporta o maior número de empresas e de trabalhadores, além de ser o único a existir em todos os estados brasileiros (LA SERNA; REZENDE, 2009).

O setor de agregados tem importância significativa para a cadeia da construção civil: a oferta de agregados representou, em 2007, 18% do valor da produção mineral brasileira (LA SERNA; REZENDE, 2009), evidenciando a grande quantidade produzida, já que areia e brita tem baixo valor unitário. Estima-se que foram produzidos em 2007, 279 milhões de toneladas de areia e 217 milhões de toneladas de brita (LA SERNA; REZENDE, 2009). Ainda, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral³ (DNPM), os volumes produzidos aumentam a cada ano.

Como é possível ver pela *Figura 1* a produção desses agregados tem sido crescente e, no ano de 2007, o aumento foi em torno de 14% em relação ao ano anterior.

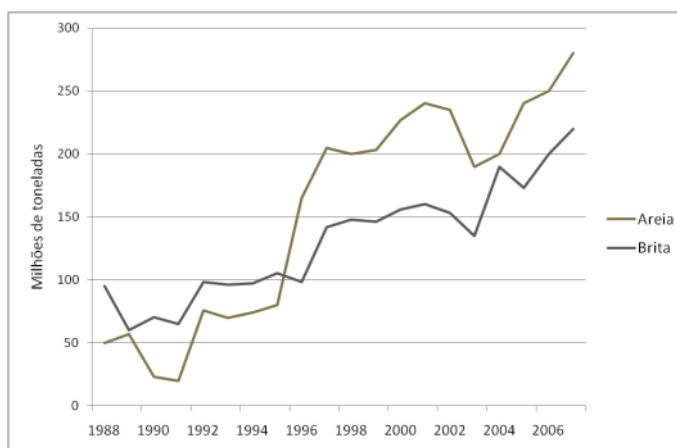


Figura 1 - Evolução da produção de agregados para a construção civil no Brasil 1988-2007. Fonte: ANEPAC – DNPM.

³ DNPM, 2011. Disponível em:
<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=99&IDPagina=72&IDNoticiaNoticia=520>;
<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=99&IDPagina=72&IDNoticiaNoticia=520>;
acesso em 24/11/2012.

O setor de agregados é caracterizado por algumas grandes empresas no fornecimento de brita, e por várias pequenas indústrias no fornecimento de areia. Há diversas empresas que trabalham na clandestinidade, principalmente na extração de areia (FARINA ET AL, 1997). Ressalta-se ainda a falta de estatísticas confiáveis que a quantifiquem a produção (LA SERNA; REZENDE, 2009).

Em relação à economia do setor, os agregados para a construção civil aproximam-se do conceito de bens homogêneos, no qual inexistente a diferenciação do produto como estratégia relevante de concorrência (LA SERNA; REZENDE, 2009). Nesse tipo de mercado o padrão de concorrência é dado pela eficiência nos custos, que buscam principalmente: redução nos custos de transporte, localização próxima ao mercado consumidor, eficiência na operação e movimentação dos materiais dentro da planta, além do aperfeiçoamento de processos, que leva à verticalização⁴ da produção.

No caso específico da brita, existem cerca de 600 empresas produtoras no Brasil, sendo grande parte delas de controle familiar (MME, 2009a). Observa-se na última década, entretanto, que a estrutura tradicional da produção de brita tem sido alterada pela verticalização da cadeia produtiva do concreto usinado. Nesse sentido, grandes empresas que se verticalizam conseguem produzir concreto com um preço final inferior ao da concorrência, adquirindo grande vantagem competitiva. A verticalização culmina no fechamento ou venda das empresas menores independentes.

No caso da produção de areia, a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC) estima que existam cerca de 2.000 empresas no país, sendo grande parte delas de pequeno porte (MME, 2009b). O mercado é formado por pequenas empresas que possuem, em média de três a quatro portos de areia, empregam poucos trabalhadores e baixa tecnologia.

A cadeia de produção da areia é pouco verticalizada e extremamente pulverizada, havendo pouca integração entre extração, distribuição e consumo. Verifica-se nesse mercado, no entanto, empresas que em épocas de retração

⁴ Verticalização: Refere à estratégia da empresa de produzir os produtos que seriam usados para a fabricação do seu produto final. Por exemplo: uma grande cimenteira que passa a produzir agregados e posteriormente o concreto como um de seus produtos finais. Essa tática é comumente utilizada em muitos ramos industriais, pois dentre suas principais vantagens estão a independência de terceiros, como fornecedores, maior autonomia e, principalmente, maiores resultados operacionais disponíveis.

econômica cessam suas atividades e após a recuperação da economia, as retomam (FARINA ET AL, 1997). Esse comportamento é típico de empresas não formalizadas, ou seja, que exercem a mineração de forma clandestina.

Em relação à produção que abastece a RMSP, no caso da brita, as pedreiras encontram-se em sua zona periférica, em municípios como Osasco e Barueri, a oeste; Cajamar, Caieiras e Guarulhos, a norte; Arujá e Santa Isabel, a nordeste; e Embu das Artes e Itapeverica da Serra, a sul, conforme *Figura 2*. Ainda conforme a mesma figura, verifica-se que as pedreiras encontram-se todas em zonas periféricas da RMSP.

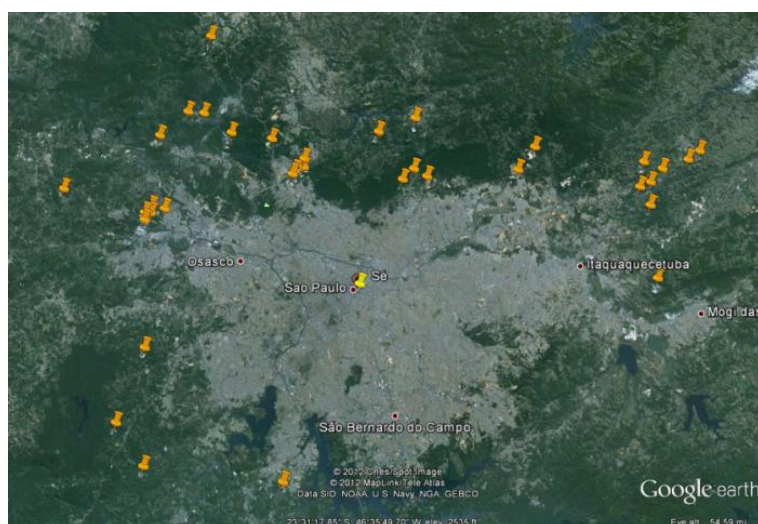


Figura 2 - Pedreiras na RMSP. Fonte: Markus Rebmann, LMC-PCC.

Já a areia que abastece a RMSP provém de três regiões: da própria RMSP, da região de Santos/ Registro e, principalmente, do Vale do Paraíba. O Vale do Ribeira também é importante produtor, porém a região não tem boa ligação⁵ com São Paulo, inviabilizando o comércio.

Conforme FARINA ET AL (1997), estima-se que o Vale do Paraíba seja responsável pelo fornecimento 60% da areia consumida na RMSP. Os principais municípios fornecedores são: São José dos Campos, Jacareí, Caçapava, Taubaté, Roseira, Lorena e Pindamonhangaba, que distam entre 80 a 200 km de São Paulo. Já a própria RMSP atende 38,5% de sua demanda através dos municípios de

⁵ A ligação entre Vale do Ribeira e RMSP ocorre pela Rodovia Régis Bittencourt, a qual não é totalmente duplicada, tem topografia acidentada e alto tráfego de veículos, ou seja, é uma ligação precária.

Itaquaquecetuba, Santa Isabel, Arujá, Jandira, Carapicuíba, Mauá, Mogi das Cruzes, Barueri, Guarulhos, entre outros. Na região de Registro os principais produtores são os municípios de Registro, Juquiá e Miracatu, sendo esses responsáveis por 1,5% da oferta.

Assim como no cenário nacional, o mercado de areia na RMSP é formado por diversos pequenos produtores, porém ressalta-se a existência de algumas empresas maiores: Itaquareia Indústria Extrativa de Minérios (Itaquaquecetuba), Mineração Paraíba do Sul (Taubaté), Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda (Registro), e Viterbo Machado Luz (no distrito de Parelheiros, em São Paulo).

Bem como os produtores, a maior parte das distribuidoras de areia são de pequeno porte, e não possuem depósitos na RMSP. Dessa forma, sua comercialização ocorre com grandes clientes: concreteiras e grandes empreendimentos. Apenas as distribuidoras que possuem depósito conseguem atender também ao consumidor varejista.

2.2. DEMANDA

A construção de edificações, juntamente com o segmento de construções pesadas corresponde a parcela significativa da demanda por agregados. Segundo dados do DNPM, em 2005, 70% da produção de agregados foi destinada à mistura com cimento.

A rocha britada é demandada majoritariamente para a construção civil (66%), mas também para a construção e manutenção de estradas, para pavimentação asfáltica e para artefatos de cimento, conforme se pode ver na Figura 3.

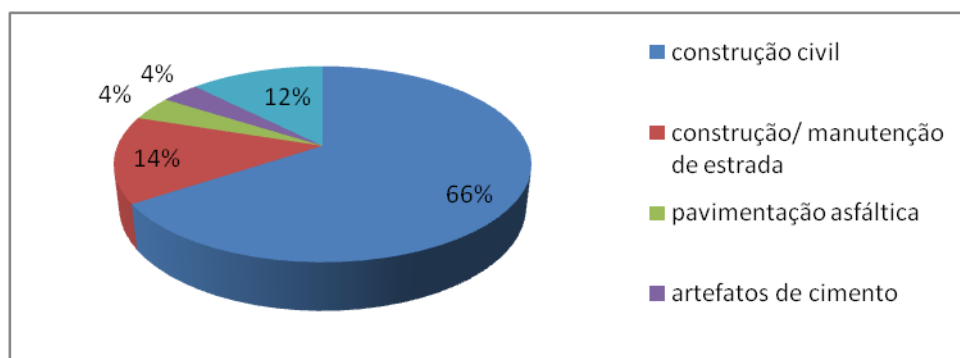


Figura 3 - Percentual de Consumo Setorial de Rocha Britada – 2007. Fonte: LA SERNA; REZENDE, 2009

Por sua vez, os principais consumidores de areia são as concreteiras (20%), seguidos pelas construtoras (15%), pré-fabricação (10%) e revendedoras (10%) que atendem à autoconstrução, conforme dados oficiais da ANEPAC, em *Tabela 1*.

Tabela 1 - Percentual de Consumo Setorial de Areia - 2009

Segmento	Participação (%)
Concreteira	20
Construtora	15
Pré-fabricados	10
Revendedor	10
Usina de Asfalto	5
Argamassas	35
Outros	5

Fonte: ANEPAC apud MME, 2009b

Ressalta-se ainda, no mercado de areia, a existência da areia artificial, gerada a partir dos finos no processo de britagem. Por ser proveniente de pedreiras, que tem uma distância média bem inferior às areias naturais, apesar de terem maior custo de produção, tem tornado-as competitivas. Atualmente, representam 9% do mercado que abastece a RMSP⁶.

Em relação às demandas futuras por agregados, a Fundação João Pinheiro ⁷, estima que o déficit habitacional no Brasil era de 5,5 milhões de moradias em 2008; segundo Wisconsin School of Business apud SECOVI (2011), o Brasil é também o segundo país que oferece a melhor remuneração de capital imobiliário; verifica-se expressivo número de lançamentos residenciais e comerciais na RMSP, já que em menos de uma década (2004-2011) a quantidade de imóveis residenciais lançados mais que dobrou e a quantidade de imóveis comerciais quadruplicou, conforme se pode ver na *Figura 4* e na *Figura 5*.

⁶ SINDIPEDRAS apud Revista M&T. Disponível em: http://www.revistamt.com.br/index.php?option=com_contenido&task=viewMateria&id=975; acesso em 25/11/2012.

⁷ Disponível em: <http://www.fjp.gov.br/index.php/indicadores-sociais/deficit-habitacional-no-brasil>;

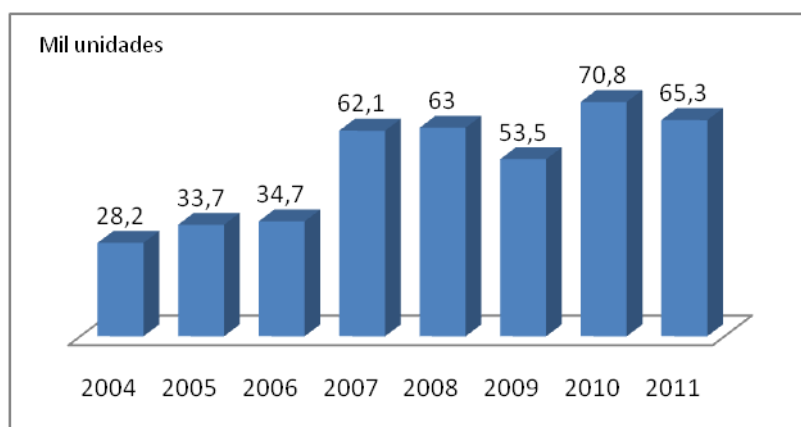


Figura 4 - Lançamentos residenciais – RMSP (2004 - 2011). Fonte: ANEPAC – DNPM apud SECOVI, 2011

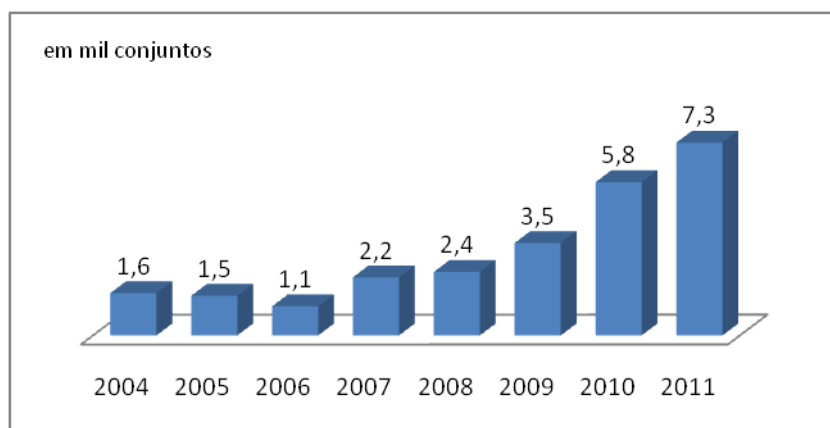


Figura 5 - Lançamentos comerciais - RMSP (2004 - 2011). Fonte: Embraesp apud SECOVI, 2011

Corroborando para o cenário positivo da construção civil, há ainda iniciativas públicas como o Programa Minha Casa Minha Vida no âmbito habitacional e também o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, voltado à infraestrutura. Ressalta-se que em casos de expansão urbana, a produção de novas unidades habitacionais relaciona-se com a necessidade de investimentos maciços em infraestrutura e, no caso de cenários urbanos consolidados, a investimentos de manutenção. Observa-se ainda crescimento dos investimentos em infraestruturas atrelados a épocas eleitorais (KULAIF, 2001).

Os dados expostos permitem que se suponha um cenário positivo para o setor da construção civil como um todo, o que demandará uma crescente necessidade de matérias primas, dentre elas os agregados como brita e areia.

Observa-se ainda que o consumo per capita de agregados varia conforme o nível de qualidade de vida do local⁸, e está relacionado a indicadores como o PIB per capita e o IDH. Essa relação é direta, ou seja, quanto mais alto o nível de desenvolvimento de um país/ estado, maior o seu consumo per capita de agregados. Essa informação pode ser evidenciada pelos consumos entre países da *Tabela 2*, que compara o Brasil em relação aos Estados Unidos e Europa, e pela

Figura 6, que compara o consumo entre estados brasileiros.

Tabela 2 - Consumo per capita de agregados – países (2006)

Ano 2006	USA	EU	Brasil
Consumo 10 ⁶ t	2950	3200	397
Per Capita	10,0	7,8	2,2

Fonte: Minerals Commodities Summaries; UNPG apud IBRAM, 2007

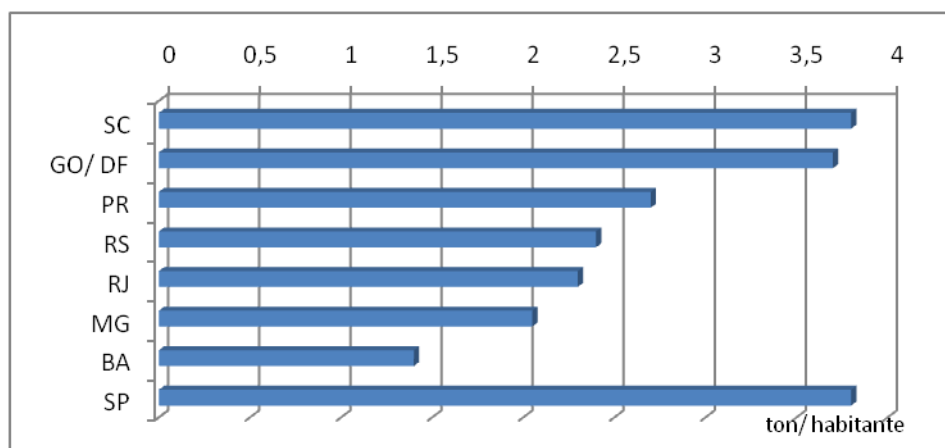


Figura 6 - Consumo per capita de agregados – Estados (2006). Fonte: IBRAM, 2007

Dessa forma, uma conjuntura econômica positiva impacta o consumo de agregados duplamente: tanto pelo aquecimento do setor da construção civil, quanto pelo aumento do consumo per capita atrelado a indicadores de desenvolvimento.

⁸ IBRAM, 2007. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/700/784/00000945.pdf>; acesso em 25/11/2012.

2.3. CUSTO E PREÇO

Como dito anteriormente, o custo do agregado é composto por três fatores principais: custos de produção, arrendamento da terra e custo de transporte. O custo de produção pode ser considerado fixo, pois não há como diminuir significativamente o custo de operação das máquinas e produção do agregado, ao passo que os custos com arrendamento de terra e transporte variam com a localidade e estão, de certa forma, conectados. Se a jazida mineral estiver muito próxima da RMSP, o preço da terra pode aumentar substancialmente os custos totais, inviabilizando a atividade. Da mesma forma, se a mina estiver muito distante, arcará com alto custo de transporte, também aumentando seus custos totais e diminuindo a margem de ganho até o momento em que se torne inviável operar.

Como resultado das restrições ambientais, leis de zoneamento municipal e regras para licenciamento dessas atividades, ocorre um processo de descentralização das jazidas em relação aos centros consumidores. Como os agregados são um produto de baixo valor unitário e que se viabilizam pelos grandes volumes produzidos, essa descentralização impacta fortemente no custo de transporte, fazendo com que nem todas as reservas sejam financeiramente viáveis.

Verifica-se que, especificamente para areia, a variação entre o preço na origem e o preço final a que chega a São Paulo varia de 100% a 300%, dependendo da distância. Essa variação é exclusivamente devida aos custos com transporte (FARINA et al, 1997). Na areia comercializada no varejo, além do frete somam-se os custos com distribuição e armazenagem, de forma que a variação do preço na mina até o consumidor final chega a 500%. Estima-se que o custo de distribuição equivale a 50% do valor final, pois essa é a diferença de preço entre a areia no varejo e a distribuída para grandes consumidores (grandes obras) no caso de São Paulo.

Para brita, o raciocínio da variação de preço é similar, porém não chega a valores tão discrepantes, já que as pedreiras encontram-se a menores distâncias da RMSP, em comparação com os portos de areia⁹. No caso das pequenas empresas de brita, o frete chega a representar 40% do preço final. No caso da areia, o custo

⁹ Ver mapas com distâncias gerados no capítulo de Resultados .

com transporte é ainda mais impactante, respondendo por cerca de 2/3 do preço final do produto, conforme MME (2009b).

Dessa forma, o transporte limita a abrangência de comercialização das jazidas aos centros consumidores mais próximos, e induz a localização das atividades mineradoras nas regiões limítrofes das grandes cidades, podendo ocasionar, com a expansão urbana, conflitos com a comunidade em seu entorno.

2.4. IMPACTOS AMBIENTAIS

A extração mineral é uma atividade que tem possibilidade de geração de uma diversa gama de impactos, principalmente pelo seu porte e intensa modificação do meio, dificilmente reversíveis. As pedreiras em especial, localizadas próximas às grandes cidades, possuem um impacto antrópico muito representativo pela fragilidade do ambiente em que a atividade está inserida.

Determinados impactos causados por atividades de extração de brita e areia estão relacionados com a localização restrita típica de atividades de mineração, que ocorre somente onde há condições geológicas favoráveis. Especificamente na RMSP, grande parte das minerações encontram-se em áreas comprometidas pela urbanização (SÃO PAULO, 1993), potencializando impactos específicos sobre o meio antrópico, em especial com a população de seu entorno.

Cada atividade da mineração, que contempla as fases de projeto, implantação, operação e desativação, causa impactos ambientais específicos, os quais se subdividem em bióticos, físicos e antrópicos (SÁNCHEZ, 2006). A relevância de cada impacto é muito subjetiva, no entanto existem critérios de ponderação que os escalam em determinados atributos como reversibilidade, abrangência, frequência, severidade, entre outros.

SÁNCHEZ (2006) identificou os principais impactos gerados por atividades de mineração durante todo o ciclo de vida do empreendimento. Restringindo-se a atividades de mineração para a construção civil na RMSP, é possível determinar os principais impactos sendo eles apresentados na *Tabela 3*.

Tabela 3 - Mineração Rocha e Areia - Principais Impactos:

Físicos
Alteração da qualidade das águas
Alteração da qualidade do ar
Alteração da qualidade do solo
Alteração das condições climáticas
Esgotamento de recursos naturais
Bióticos
Alteração ou destruição de habitats terrestres
Diminuição da produtividade dos ecossistemas
Deslocamento da fauna
Perda de espécimes de fauna
Proliferação de vetores
Antrópicos
Impacto visual
Desconforto ambiental
Incremento da atividade comercial
Sobrecarga da infraestrutura de serviços
Perda de referências espaciais à memória e à cultura popular
Limitação das opções de uso do solo
Aumento da arrecadação tributária
Qualificação profissional da mão de obra
Aumento do número de empregos

Fonte: SÁNCHEZ (2006), modificado.

Um impacto determinante das atividades de mineração de rocha, devido ao ambiente habitado ao seu redor, é o desconforto ambiental causado pelas diversas poluições emitidas, principalmente sonora e do ar, além dos riscos à saúde e segurança.

A poluição sonora e vibração são provenientes principalmente dos equipamentos pesados e das detonações necessárias para escavação em rocha. A movimentação da rocha detonada e sua britagem geram emissão de material particulado na atmosfera, causando danos à saúde do trabalhador e de moradores próximos.

A extração de areia, por sua vez, tem como aspectos ambientais característicos a grande utilização de água no processo e a consequente geração de efluentes com material particulado. Uma extração ilegal predatória pode alterar a

dinâmica de transporte sedimentar no ambiente e causar danos irreversíveis à região.

Uma das questões ambientais mais relevantes no caso de ambas atividades é, no entanto, sua significativa interferência com as Áreas de Preservação Permanentes (APPs). No caso da extração de brita ou areia por desmonte, as interferências ocorrem em topo de morros e encostas com declividade maior que 45°. No caso de extração em leitos, margens de rios ou outras áreas molhadas, como cavas submersas, a atividade ocorre em importantes reservas situadas em margem de rios, APPs de restingas e dunas litorâneas (MME, 2009b).

A Resolução CONAMA 369/2006, dispõe em seu artigo nº 2 que a vegetação de APPs pode ser suprimida no caso da extração de areia e de brita, por estas serem consideradas de interesse social e de utilidade pública, respectivamente. Essa supressão pode ocorrer, no entanto, apenas com autorização do DNPM.

Aos impactos diretos, acima mencionados, somam-se os impactos indiretos relativos à atividade de mineração. Exemplos de impactos indiretos são, nestes casos, alteração dos processos erosivos e suas diversas consequências, além dos impactos causados pelo tráfego de veículos pesados utilizados no transporte de agregados na infraestrutura viária.

O transporte de agregados movimenta um fluxo estimado em cerca de 140.000 toneladas diárias de agregados na RMSP¹⁰. Dado que o transporte é majoritariamente rodoviário, isso equivale a 22.000 caminhões por dia em circulação para atender o mercado de agregados. Especificamente sobre a areia, o principal fluxo que abastece a RMSP tem origem no Vale do Paraíba e estima-se que as distâncias percorridas nesse caso variem entre 80 a 200 km (FARINA et al, 1997). Os efeitos do tráfego são cumulativos uma vez que geram congestionamentos, que causam, por sua vez impactos independentes severos e o consumo de diesel em 40 milhões de litros por ano¹¹.

Um dos impactos mais importantes observados na cadeia da atividade de mineração é a alteração das condições climáticas devido à emissão de gases do efeito estufa (GEE). Este impacto ganha importância quando se contabiliza não só

¹⁰ ANEPAC; Revista Areia & Brita. Nº 52.

¹¹ ANEPAC; Revista Areia & Brita. Nº 52.

os equipamentos de mineração, como o britador, escavadeiras, mas principalmente o transporte do produto até o consumidor.

Apesar de a mineração acarretar diversos impactos adversos para seu entorno, também gera impactos positivos como incremento da atividade econômica, além do fornecimento de matérias primas para a construção civil. Para lidar com os impactos adversos, medidas mitigatórias devem ser tomadas, como um plano de controle de emissão de material particulado.

Os impactos estruturais da mineração, no entanto são inerentes à sua atividade e, mesmo com medidas mitigatórias, são dificilmente evitados. Ainda considerando-se o distanciamento dos centros consumidores em busca de minério, os impactos são aumentados devido ao transporte do produto. Portanto, neste cenário a reciclagem se insere como uma forma de reduzir a atividade de mineração necessária próxima a centros consumidores, no caso, a RMSP.

3. AGREGADOS RECICLADOS

3.1. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

3.1.1. DISPONIBILIDADE

A real geração de RCD é dificilmente quantificada, no entanto pode-se estimá-la de diversas maneiras. Segundo PINTO (1999) a quantificação do RCD gerado pode ser realizada a partir de três bases de informação:

- Estimativas de área construída, serviços executados e perdas efetivadas;
- Movimentação de cargas por coletores;
- Monitoramento de descargas nas áreas utilizadas como destino dos RCD

De acordo com PINTO, GONZÁLEZ (2005); SOUZA et al (2004); e CARELI (2008), as edificações verticais produzem de 50 a 150 kg de resíduos de construção/m² construído. Em demolições, esses indicadores são bem superiores, chegando a 600 kg/m², o que representa 60% em massa do RCD gerado (PINTO, GONZÁLEZ, 2005).

Cada tipo de estimativa possui suas peculiaridades, erros e dificuldades, no entanto, para o Brasil, pode-se estimar a geração per capita em 230 a 760 kg/hab.ano, representando 61% da massa de resíduo urbano total (PINTO, GONZÁLEZ, 2005). Adotando-se uma mediana de 500 kg/hab.ano, estima-se que a RMSP gere aproximadamente 9 milhões de toneladas de RCD por ano¹².

Ainda, pelas características do RCD brasileiro, formado por 90% de frações minerais (ANGULO et al, 2003), pode-se afirmar que parcela considerável dele seja reciclável.

3.1.2. DISPOSIÇÃO

Recentes esforços públicos foram feitos para que essa parcela de RCD reciclável seja de fato reciclada. Os principais são a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Resolução CONAMA 307/2002, que define os resíduos de construção e os classifica, incentiva sua redução e determina os locais corretos para sua disposição, ao qual a reciclagem é uma alternativa incentivada.

¹² 0,5 t/hab.ano x 18 milhões de habitantes

Apesar de a reciclagem ser incentivada, ainda verifica-se uma situação de disposição ilegal de RCD bastante representativa, conforme PINTO, GONZÁLEZ (2005). Na cidade de São Paulo, cerca de 20% dos resíduos são dispostos em locais irregulares, como aterros clandestinos, terrenos particulares, passeios, vias, praças, gerando um custo de 45 milhões de reais por ano para coleta e destinação a aterros (SCHNEIDER, 2003).

Estas atividades irregulares degradam o entorno e trazem grandes transtornos à população, podem contaminar o solo e o lençol freático, colaboram para enchentes, poluição de rios, escorregamentos de solo, entre outros (SCHNEIDER, 2003). As disposições irregulares podem ainda diminuir a capacidade de tráfego da infraestrutura viária e possibilitar a multiplicação de vetores epidêmicos. Além disso, geram um custo de “retrabalho” para a prefeitura, que recolhe esses resíduos dispostos incorretamente.

Observa-se ainda que a disponibilidade de áreas para a disposição de RCD tem se tornado cada vez menor, sobretudo nos centros urbanos, obrigando a locação de novos aterros de inertes em áreas mais distantes. Desta forma, o dispêndio com transporte aumenta o custo total da disposição, incentivando o descarte irregular, que é mais barato para o gerador.

Assim, com uma cidade que gera cada vez mais resíduos e possui menor área livre para sua destinação, a problemática que envolve o RCD torna-se um desafio contemporâneo. Somados à ausência, até pouco tempo atrás, de uma política pública voltada para a gestão do RCD, à grande participação da construção informal na geração de resíduos e ainda com o grande número de empresas ilegais de coleta e destinação, as questões relacionadas ao RCD tornam-se ainda mais relevantes.

Dado a relevância dos problemas atrelados ao RCD para a cidade, a reciclagem pode configurar-se como solução que diminui os impactos negativos do ciclo dos resíduos, além de promover sua destinação adequada, transformando-o novamente em produto.

3.2. RECICLAGEM

A reciclagem é uma grande oportunidade de transformar um rejeito sem valor intrínseco novamente em matéria prima. No caso da reciclagem de RCD, a vantagem mais importante é a preservação dos recursos naturais, que prolonga a vida útil das reservas e reduz a destruição da paisagem, fauna e flora (JOHN, 2000). A reciclagem também reduz os volumes levados a aterros, aumentando sua vida útil, e é capaz de absorver parte da mão de obra não qualificada, parcela tão significativa no País.

A iniciativa de reciclagem de RCD não é recente. Na década de 50, o reaproveitamento de material de demolição já era aplicado na Europa para a reconstrução dos edifícios destruídos durante a segunda guerra mundial (JADOVSKI, 2005). Atualmente, a taxa de reciclagem média de RCD dos países integrantes da união Europeia é de 53% com meta de chegar a 70% em 2020 (ULSEN, 2011). Em países desenvolvidos como Austrália e Japão, boa parte dos RCD são reciclados a uma taxa próxima à europeia.

Países de grande crescimento, principalmente os asiáticos, enfrentam um problema real de incremento na geração de RCD e, conseqüentemente, com sua disposição. Nesses países, entretanto, apesar da alta geração de resíduos, verifica-se alto índice de reaproveitamento. Em 2004, por exemplo, Hong Kong utilizou 88% dos resíduos da construção civil para recuperação de áreas degradadas (ULSEN, 2011 *apud* POON, 2007).

Dessa forma, observa-se que a reciclagem de RCD é favorecida quando há escassez de matérias-primas naturais ou a inviabilização econômica de sua extração, principalmente em países de área restrita como os europeus e o Japão. A reciclagem também se vê mais presente em países desenvolvidos.

No caso do Brasil, essa ainda se encontra em um estágio inicial, tanto em relação ao processo de coleta de RCD quanto à reciclagem em si. Apenas pequena

parcela de RCD potencialmente reciclável é de fato é reaproveitada. Estima-se que o índice de reciclagem praticada seja inferior a 10%¹³.

3.2.1. OFERTA DE USINAS

Apesar das dificuldades encontradas pelo setor, observam-se indícios de seu crescimento, como a criação da ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição) em 2011 e o crescimento de usinas implantadas no país, conforme *Figura 7*. Dados mais recentes revelam que na RMSP existem 23 usinas catalogadas, sendo quase sua totalidade operada pela iniciativa privada, conforme *Tabela 4*. Se o número de usinas paralisadas equivalia a dois terços do total (MIRANDA et al.,2008) em 2008, observa-se, ainda segundo *Tabela 4*, que atualmente o cenário vem se revertendo, sendo o número de usinas ativas bem maior que o de desativadas.

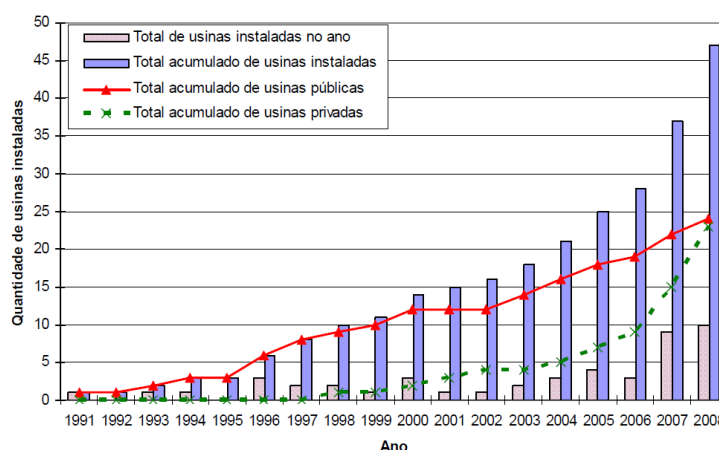


Figura 7 – Usinas de reciclagem de RCD classe A inauguradas entre 1991 e 2008. Fonte: MIRANDA et al, 2008.

Tabela 4 - Levantamento de usinas no Brasil e em São Paulo

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

Fonte: ABRECON, IPT (2012)

¹³ Gilberto Meirelles. Revista Construção Mercado, 2012. Disponível em: <http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/134/artigo266108-1.asp>; acesso em 1 de dezembro de 2012.

Apesar do notável crescimento da reciclagem de RCD, o número de usinas inativas não deve ser desconsiderado, de forma que as dificuldades presentes em sua implantação e estabelecimento devem ser estudadas. Verifica-se, conforme MELO (2011), que as usinas enfrentam dificuldades desde o projeto. Pode-se observar que a grande maioria das unidades fechadas são públicas (14, do total de 22 no Brasil – ver *Tabela 4*) e sugerem problemas de concepção ou operação. Segundo MELO (2011), os principais problemas apresentados são:

- Ausência de diretrizes de gestão municipal de resíduos da construção civil (GRCC);
- Problemas ambientais;
- Problemas políticos e descontinuidade de gestão (usinas públicas);
- Falta de expertise, funcionários pouco capacitados e gestão ineficiente;
- Falta ou demora de investimentos;
- Problemas de rentabilidade e grandes custos de produção.

3.2.2. TIPOS DE USINAS DE RECICLAGEM

Existem basicamente dois tipos de usinas de reciclagem. As fixas e as móveis. Existem usinas de diversas capacidades, que realizam todo o processo de beneficiamento ou apenas etapas específicas.

As usinas fixas são usualmente maiores do que as usinas móveis, possuem um estoque de matéria prima e produzem uma diversidade maior de produtos, já que existe a possibilidade de processos mais elaborados, com mais etapas e que exigem mais espaço. Apesar disto, as usinas fixas exigem um elevado investimento inicial, grande parte dele relativo ao elevado espaço físico para operação, usualmente próximo ao centro gerador de resíduos: a cidade. Um exemplo de usina fixa segue na *Figura 8*.



Figura 8 - Usinas fixa visitada, 2013. Fonte: acervo próprio.

As usinas móveis podem ser divididas em semi-fixas e as móveis em si. As semi-fixas são empregadas em empreendimentos de médio a longo prazo, que necessitam de uma produtividade relativamente grande e uma certa mobilidade, como barragens e centros de produção de lastro para pavimentação rodoviária ou ferroviária. As principais características são a facilidade de montagem e manutenção e logística mais simples pelo menor porte.

As usinas móveis são, a princípio, de menor porte e menor produtividade, ideais para obras itinerantes e de curto prazo. Podem ser adquiridas, por exemplo, por construtoras de edifícios residenciais e, conforme a etapa da obra, podem ser alocadas para determinado fim. Não necessitam de obras civis para instalação e podem ser transportadas facilmente por meio de caminhões ou por esteiras próprias. Possuem a logística de produção extremamente facilitada, pode ser posicionada em locais estratégicos, durante uma obra ou demolição. Além disso, como é alimentada manualmente é possível selecionar os materiais inseridos, melhorando a qualidade do produto reciclado. Um exemplo de usina móvel segue na *Figura 9*.



Figura 9 - Usina móvel da empresa visitada. Fonte: Recinert Ambientale.

As usinas são compostas basicamente por um alimentador, separador magnético, britador e uma possível triagem por peneiras em seguida. Conforme a sofisticação do nível tecnológico final há um aumento no número de etapas e equipamentos.

As operações unitárias são as seguintes:

- Alimentador (esteira ou pá carregadeira);
- Escalpe com grelha de separação de finos e solo do material a ser triturado;
- Britador (pode haver mais de um conforme o refinamento da etapa);
- Transportadores de correia (transporte de material beneficiado ou não);
- Peneiras para classificação do material por tamanho.

Os equipamentos também necessitam algum tipo de fornecimento de energia, alguns são elétricos outros são a diesel, ainda alguns necessitam de suprimento de água.

3.2.3. TIPOS DE AGREGADOS RECICLADOS

Já em relação aos produtos feitos de RCD, é imensa a gama de materiais e qualidade possíveis. Os principais produtos são lastro e base para pavimentação, tubos, argamassa para contrapiso e assentamento, concretos estruturais ou não, blocos de concreto para alvenaria, meio fio e pisos intertravados.

Caso a exigência mecânica requerida e regularidade do RCD sejam baixas, é possível um processo mais rápido e simples. Obviamente o investimento inicial em maquinário, mão de obra e controle de qualidade varia conforme o grau de sofisticação do processo.

De forma geral os agregados reciclados possuem grande variação de propriedades devido à variabilidade da composição do resíduo. Ele pode ser pré-selecionado em obra ou em um centro de triagem, ou reciclado como uma composição de materiais.

Alguns aspectos da produção do agregado reciclado são muito relevantes na determinação de sua qualidade. Há diversos estudos na área, como de ANGULO (2005), JADOVSKI (2005) e ULSEN (2011) que analisam os fatores que influenciam a qualidade do produto final de um agregado para a sua função. Segue, na *Tabela 5*, síntese das propriedades do agregado reciclado em comparação ao natural.

Tabela 5- Comparação das propriedades dos agregados reciclados com agregados naturais

Propriedade	Comparação com agregado natural	Causa	Consequência
Absorção de água.	Maior	Porosidade	Maior consumo de água e cimento. Redução de resistência mecânica e durabilidade.
Teor de finos.	Maior	Natureza do RCD e processo de britagem	Idem.
Forma e textura de partículas.	Mais irregulares e rugosas.	Pasta de cimento aderida e processo de britagem.	Influenciam predominantemente as propriedades do concreto no estado fresco (trabalhabilidade, quantidade da água de amassamento, entre outras).
Desgaste por abrasão.	Maior	Pasta de cimento aderida e cerâmica vermelha é mais friável.	Agregados de menor resistência mecânica.

Piores serão as propriedades físicas e mecânicas do produto final quanto mais baixa for a resistência do concreto, ou quanto maior a quantidade de pasta de cimento aderida no agregado original (ANGULO, 2000). Comparados ao agregado natural, observa-se uma maior absorção de água, além da menor resistência dos grãos que torna a substituição em determinadas aplicações mais difícil, de menor desempenhou e/ou com maior custo final (mesmo com a matéria prima mais barata).

3.2.4. DEMANDA

O mercado atual de agregados reciclados é basicamente composto por base para pavimentação viária de baixa capacidade de suporte, fundações e aterros, sendo esse uso o principal (ANGULO et al, 2002), areia para argamassas de baixa resistência (como para contrapiso) e brita para concretos não estruturais. Recentemente iniciaram-se estudos para consumo para finalidades mais nobres deste tipo de agregado, no entanto ainda não há um mercado formado. O agregado reciclado ainda sofre resistência do mercado nacional para utilização, mesmo considerando que a atual capacidade técnica de produção de agregados atinja um padrão de qualidade compatível com suas finalidades (ULSEN, 2011). Não há, também, uma produção em larga escala que substitua uma parcela significativa dos agregados naturais.

Os principais consumidores de agregados reciclados são obras de grande porte e empreiteiras de médio a grande porte, principalmente por requerer maior conhecimento técnico para a utilização do produto. Obras de pequeno porte não viabilizam a mobilização de um local específico para um material que não é utilizável em todas as partes da obra. Mesmo possuindo um preço menor que o agregado natural, o consumo é pequeno e, portanto não há uma grande vantagem financeira.

O mercado nacional de reciclagem de RCD, mesmo que incipiente, possui certos nichos de atuação relevantes que se mostraram economicamente viáveis. Uma possibilidade para a viabilização da reciclagem é a utilização de equipamentos móveis comprados ou locados para uma obra ou demolição específica, na qual se pode minorar o custo de disposição de resíduos e ainda obter-se matéria prima reciclada. Conforme a pesquisa de SILVA et al (2006), foi analisada a utilização de uma usina móvel em um edifício comercial em São José dos Campos, obtendo-se o resultado de redução drástica do gasto com caçambas e com compra de areia para argamassa, assim viabilizando seu uso. É possível também a utilização de usinas fixas ou móveis para a produção de base para pavimentação provindo possivelmente da própria escavação para a obra ou de outras obras ou demolições próximas.

Existem também usinas móveis que britam o RCD produzido em grandes demolições ou obras, cobrando pelo serviço e faturando com a venda do agregado reciclado para usos pouco nobres.

Por fim, existe a possibilidade de utilização pelo setor público. Conforme MIRANDA et al (2008), a administração pública pode obter diversas vantagens, inclusive econômicas, ao utilizar o material reciclado em suas obras. Entre as vantagens, pode citar-se a diminuição dos gastos públicos de limpeza, a redução de consumo de áreas de aterro e ainda, uma economia de cerca de 40% na compra, em comparação ao agregado natural.

Apesar desse mercado ainda ser incipiente, estudos realizados¹⁴ apontam um elevado número de usinas em implantação, chegando este a ser maior que as usinas já instaladas. Observa-se que os motivos de fechamento de algumas usinas não estão relacionados diretamente com dificuldades de viabilização financeira, e sim com a má gestão e operação inadequada. Dessa forma, o claro aumento no número de usinas sugere o interesse do setor empresarial e surgimento de compradores.

Verifica-se uma oportunidade de mercado no crescente interesse da sociedade por empreendimentos com certificações de sustentabilidade. Certificações como AQUA e LEED exigem que os empreendimentos consumam determinada porcentagem de agregados reciclados. Tanto no AQUA, quanto no LEED, por exemplo, essa porcentagem é de 20% do total de agregados para edificações habitacionais (VANZOLINI, 2010 e JOHN, 2000).

3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS

Da mesma forma que a mineração, a atividade de reciclagem também impacta no meio em que está inserida. A reciclagem é relativamente nova na área de construção civil e, portanto existem poucos estudos com relação aos impactos que esta pode gerar. No entanto, é possível, identificar determinadas atividades da reciclagem e relacioná-las com certos impactos prováveis de ocorrerem. As

¹⁴ ABRECEON; SINDUSCON-SP. Disponível em: http://www.sindusconsp.com.br/envios/2012/eventos/residuos/Abrecon_SidusconSistemaGestaoEletronica_.ppt. Acesso em 16 de outubro de 2012.

atividades são, por exemplo, a britagem de material, ou transporte, que são relacionados com a emissão de material particulado e CO₂ que por sua vez causam o impacto de perda de qualidade do ar. Esta relação entre atividade, aspecto ambiental e impacto ambiental já é utilizada para avaliar diversos novos empreendimentos e existem bibliografias que podem ser consultadas, conforme SÁNCHEZ (2006). O mapeamento dos impactos da reciclagem estão apresentados na Tabela 6 para usinas fixas e móveis.

Tabela 6 - Usina Fixa e Móvel - Principais Impactos:

Físicos
Alteração da qualidade das águas
Alteração da qualidade do ar
Alteração da qualidade do solo
Alteração das condições climáticas
Esgotamento de recursos não renováveis (água)
Antrópicos
Desconforto ambiental
Substituição de atividades econômicas
Incremento da atividade comercial
Sobrecarga da infraestrutura de serviços
Aumento da arrecadação tributária
Qualificação profissional da mão de obra
Aumento do número de empregos

Fonte: SÁNCHEZ (2006), modificado.

Em linhas gerais, observa-se que os impactos causados pela reciclagem por usina fixa e por usina móvel são os mesmos, variando apenas sua escala, já que a móvel é de porte menor que a fixa. Considerou-se também a inexistência de impactos significativos ao meio biótico, pois esse tipo de atividade ocorre normalmente em áreas urbanas degradadas, havendo pequena possibilidade de desmatamento e interferências em APPs.

Uma instalação de reciclagem fixa assemelha-se a uma instalação industrial e requer cuidados semelhantes, produzindo impactos também semelhantes. Da mesma forma que em instalações industriais que operam por longos períodos, os maiores impactos são relativos à sua operação e não na fase de instalação ou desativação. Isto ocorre de um modo mais expressivo nas usinas de reciclagem móveis, que praticamente não possuem um tempo de instalação e não utilizam área

para operação é utilizado apenas o canteiro de obras ou de demolição que contém o material e um pequeno galpão para armazenamento e manutenção da máquina.

Uma primeira observação é a dimensão muito reduzida que as instalações de reciclagem ocupam comparadas à mineração, ainda podendo utilizar áreas degradadas ou inaproveitadas. Estas áreas, no entanto são mais próximas a centros urbanos e, portanto podem causar mais impactos antrópicos.

Dados levantados em entrevistas apontam problemas sérios com material particulado disperso no ar devido à atividade de britagem e ao tráfego de veículos pesados. Os impactos são principalmente na região urbana diretamente no entorno da usina. Como medida para mitigar a dispersão de material particulado, são instalados aspersores de água e lava-rodas, assim aumentando o consumo de água da planta (Figura 10).



Figura 10 - atividade de reciclagem fixa com sistema de aspersão de água para controle de pó. *Imagem: acervo próprio.*

Dado que a reciclagem apresenta relação com a gestão de RCD e com a mineração, há geração indireta de impactos benéficos relevantes, devidos, por exemplo, à correta destinação de RCD ou à diminuição da exploração de recursos naturais. Os impactos relacionados aos RCD foram identificados com base em PINTO (1999) e PINTO; GONZALÉZ (2005), SCHNEIDER (2003) e os relacionados à mineração, com base em SÁNCHEZ (2006), conforme Tabela 7 – Impactos Indiretos da Reciclagem:

Tabela 7 – Impactos Indiretos da Reciclagem

Reciclagem - Principais impactos indiretos
Físicos
Diminuição do consumo de recursos não-renováveis
Diminuição da utilização de área de solo
Aumento da vida útil de aterros de inertes
Bióticos
Diminuição da proliferação de vetores
Diminuição da interferência em APPs
Antrópicos
Diminuição do impacto visual negativo
Incremento da atividade comercial

Por fim é possível afirmar que qualquer atividade inerente aos seres humanos trará impactos ao meio ambiente e por isso deve-se ponderar entre as alternativas disponíveis e escolher a que traz um impacto menor ao meio. No caso do trabalho a avaliação se dá entre a alternativa de mineração e de reciclagem móvel e fixa.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste na análise da qualidade do investimento e das emissões de CO₂ relativas à produção de agregados reciclados de RCD na Região Metropolitana de São Paulo.

O primeiro passo de ambas as análises foi a coleta de dados em empresas atuantes, por meio de questionários que pareassem as informações obtidas.

O estudo dos aspectos financeiros e econômicos da reciclagem foi realizado por meio de uma Análise da Qualidade do Investimento (AQI) deste tipo de negócio, considerando-se uma usina protótipo a qual foram aplicados cenários¹⁵ com características determinadas que englobassem usinas fixas e móveis. Os dados obtidos com as empresas foram inseridos em um modelo de cálculo que visou identificar as principais variáveis que afetam o resultado do negócio analisado.

A análise das emissões de CO₂ comparou a produção de agregados reciclados e naturais em sua produção e transporte ao consumidor. Após essa comparação, realizou-se estudo sobre as distâncias de transporte praticadas por ambos setores, de forma a relacioná-la com os dados obtidos.

4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

As análises de qualidade do investimento e das emissões de CO₂ foram realizadas com base em dados obtidos em entrevistas a empresas de mineração (de rocha), usinas de reciclagem fixas e móveis. Quando possível, foi realizada visita à planta produtora ou ao escritório administrativo, no entanto, para aumentar a abrangência e rapidez do estudo também foram realizadas entrevistas remotas (por e-mail). Para obtenção das informações necessárias e consistência entre as entrevistas, foi elaborado um questionário base para cada modelo de negócio, que segue apresentado no ANEXO I.

Os contatos das empresas foram obtidos por meio de um levantamento realizado por ABRECON (2012), que listou todas as empresas do ramo de reciclagem no Brasil. Ressalta-se que apesar de haver-se contatado todas as

¹⁵ Por configuração de cenários entende-se a formatação de um conjunto com determinadas características, mas que atenda a certo intervalo de situações.

empresas atuantes na RMSP, nem todas puderam colaborar para este estudo. Os relatórios das empresas entrevistadas encontram-se no ANEXO II.

Ressalta-se que as empresas entrevistadas não seguem um padrão de amostragem lógico, uma vez que a seleção foi feita conforme o sucesso no contato e liberação de dados. Certas empresas não cederam todos dados, não continham tal medição ou forneceram dados não condizentes com o porte ou com as condições do local. Uma restrição ao estudo foi o contato estrito com empresas em operação, ou seja, foram desconsideradas empresas mal sucedidas que vieram à falência. Sabe-se que esses casos constituem, de fato, um percentual relevante do total de empresas um dia abertas e, portanto, a não comutação de seus dados financeiros no modelo não torna possível identificar as suas restrições. Deve-se atentar ainda à possibilidade da não confiabilidade ou omissão de dados por parte das empresas.

Dada a falta de aleatoriedade da amostragem, há a ciência de que os dados coletados apresentam limitações e podem estar viciados. Mesmo com os fatores citados foi possível identificar padrões que validassem e provassem sua consistência. Para verificação dos dados obtidos cita-se: comparação entre empresas de porte e escopo semelhante, de gastos unitários em cada caso, padrões do mercado, produtividades e consumos dos equipamentos.

4.2. ANÁLISE DE QUALIDADE DO INVESTIMENTO

Para que seja viável financeiramente a utilização de agregados reciclados é necessário que estes sejam produzidos próximo ao seu destino final, no caso, dentro da RMSP. Escolheu-se fazer uma análise da qualidade do investimento (AQI), pois por meio desta pode-se avaliar, durante um ciclo de produção completo, o comportamento financeiro e econômico de um empreendimento (investimento, retorno e resultado operacional disponível) a fim de se tomar decisões estratégicas quanto à vantagem ou não do investimento na implantação de uma usina reciclagem de RCD.

Escolheu-se também trabalhar com um protótipo, ou seja, um modelo genérico de usina, do que se prender a estudos de casos reais. A partir de um protótipo é possível simular diversas situações, tornando o estudo mais complexo, amplo e útil. No entanto, ainda que não seja analisado um caso específico, foram feitas entrevistas com usinas já existentes para compor os dados que formam o protótipo e a AQI.

Determinado que seria objeto de estudo a AQI de uma usina de reciclagem de agregados protótipo, foi necessário escolher como trabalhar os dados para obter os resultados. O balanço financeiro de uma usina de reciclagem depende majoritariamente do preço de venda dos agregados e dos custos com aluguel ou compra de terreno e transporte. Como esses valores não são fixos, alterando-se dependendo da região e do mercado de agregados, uma análise determinística não seria suficiente, pois estaria limitando a amplitude de se trabalhar com um protótipo. Assim, trabalha-se com uma análise probabilística, que permite a análise em um intervalo de valores.

4.2.1. PROTÓTIPO

Para estudar a qualidade do investimento em usinas de reciclagem foi utilizada uma simulação probabilística do fluxo de caixa de um protótipo, gerando assim diferentes cenários a serem analisados e comparados de acordo com os indicadores de desempenho.

A primeira parte desse processo foi determinar quais seriam os dados de entrada relevantes para compor o fluxo de caixa de forma que este seja

representativo de uma situação real. Assim, a partir de entrevistas com usinas operantes chegou-se aos seguintes parâmetros: Investimento Inicial, Custos Mensais (para operação e venda) e Receita.

Foi escolhido fazer a simulação por meio de um fluxo de caixa porque este é bastante representativo da situação real pela qual passa um investidor quanto ao financiamento de um investimento e o balanço de entradas e saídas do empreendimento. Da mesma maneira, foram escolhidos como indicadores a taxa interna de retorno (TIR), payback e o resultado operacional disponível por representarem de forma simples e direta a qualidade do investimento (JUNIOR, 1993).

Ainda segundo ROCHA-LIMA (1993), tem-se os seguintes conceitos:

O payback é definido como o tempo para que os fluxos de caixa positivos sejam iguais ao investimento inicial, ou seja, em quanto tempo se recupera o investimento inicial.

T.M.A. (Taxa Mínima de Atratividade), representa a taxa mínima que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento. Representa o custo de oportunidade do investidor e quando ele acha que o risco e a perda de liquidez valem o investimento.

T.I.R. (Taxa Interna de Retorno) é a taxa que equaliza o valor presente de um ou mais pagamentos (saídas de caixa) com o valor presente de um ou mais recebimentos (entradas de caixa), indicando a taxa de ganho do investidor. É comparada com a T.M.A., e diz-se que o investimento é economicamente atrativo quando a $T.I.R. > T.M.A.$ No caso de uma $T.I.R. < T.M.A.$ o risco do investimento não compensa dada a expectativa de retorno do investidor.

Assim, por meio do software MS Excel© automatiza-se a simulação. A partir das entrevistas realizadas nas usinas bem como pesquisas com os fornecedores das máquinas e das variações de preço no mercado de agregados serão definidas faixas de valores para cada um dos fatores variáveis apresentados acima, com a utilização do método de Monte Carlo é gerada uma distribuição de valores dentro dessas faixas que são aplicados no modelo de cálculo que, por sua vez, retorna uma distribuição normal dos indicadores de desempenho permitindo uma análise dentro de intervalos de confiança.

Depois de escolhido a forma do protótipo, determinou-se o modelo de cálculo por meio do qual, a partir do fluxo de caixa, chega-se a esses indicadores de desempenho. Os cálculos serão realizados por meio de uma planilha automatizada desenvolvida com o uso do software MS Excel®. O modelo foi dividido em três frentes (*Figura 11*): entrada de dados, fluxo de caixa e os indicadores de desempenho como resultados.

Modelo de Cálculo			
P. de Negócio / Funding	Dados de Entrada	Simulação	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> Financiamento Alugar ou comprar o terreno para implantação 	Implantação <ul style="list-style-type: none"> Terreno Obras Civas Equipamentos 	Fluxo de Caixa Mensal	<ul style="list-style-type: none"> Calibração do modelo Taxa Interna de Retorno Payback
<ul style="list-style-type: none"> Porte da Usina 	Despesas Operacionais <ul style="list-style-type: none"> Recursos Humanos Insumos Manutenção de Equipamentos e Terreno 	RECEITA -DESPESAS RECEITA BRUTA -IMPOSTOS LUCRO	
<ul style="list-style-type: none"> Distância de frete Projeção de demanda 	Frete (Despesas de Venda)	Extrapolação desse mês para 20 anos por meio de índices financeiros (IGP-M, INCC).	
<ul style="list-style-type: none"> Preço do Agregado 	Receita		

Figura 11- Disposição da planilha do modelo de análise

No que diz respeito ao modelo de cálculo propriamente dito, foi escolhido trabalhar com uma análise anual por um ciclo de 20 anos. Preferiu-se trabalhar anualmente, pois os dados observados nas visitas, principalmente referente às receitas, são mais consistentes dessa forma. Há variações nos valores mensais, nos meses com muita chuva recicla-se menos, por exemplo, e as receitas são menores, nesse protótipo, foi obtido um valor médio anual, considerando a maioria dos contratemplos anuais. Também não seria consistente pensar em reajuste de preço mensal. Já o ciclo total de análise, foi determinado de 20 anos, esperando-se que dentro desse prazo possa ser observado o payback e mais um excedente para analisar o comportamento da usina e seu efeito na qualidade do investimento. Além disso, como o investimento inicial é relativamente alto, no caso de não houver um retorno satisfatório dentro de 10 anos o empreendimento não será viável.

Por outro lado, para trabalhar anualmente foi preciso uniformizar todos os dados para o prazo de um ano. Assim, a partir dos custos e receitas mensais, foi feito um ano de referência, o primeiro ano, esse resultado foi extrapolado para os

demais anos por meio de um descolamento de índices de evolução de preço. Como as receitas se originam da venda de agregados, escolheu-se trabalhar com o INCC¹⁶ para a sua projeção porque este apura justamente a evolução de preços dos materiais e mão de obra na área da construção civil, dentro da qual se tem o preço de agregados. Já os custos (água, luz, funcionários, transporte) não estão relacionados com a construção civil e por isso serão extrapolados a partir do IGP-M¹⁷. Como a análise é feita na base 0, o valor que realmente importa é o descolamento entre INCC e IGP-M. É importante ressaltar que uma vez que os custos sejam extrapolados pelo IGP-M e as receitas pelo INCC, e os valores de INCC seguirem a tendência observada, se mantendo maior do que o IGP-M, haverá um descolamento que favorecerá o investimento, tornando-a menos conservadora, no entanto, os respectivos usos dos índices se justificam pelo tipo de produto analisado.

É importante notar que os custos de investimento inicial estão presentes em um tempo antes do primeiro ano de funcionamento da usina, data 0 e por simplificação foi considerado como se todo o investimento ocorre-se nesse mesmo momento, ou seja, não foi analisado o fluxo da implantação, mas sim o fluxo de operação.

Definidos os dados de entrada e o modelo de cálculo para gerar os indicadores, de forma determinística, iniciou-se de simulações probabilísticas, para as quais se utilizará o método de Monte Carlo. Este método gera aleatoriamente N sucessivos dados que são então “testados” pelo modelo de cálculo, retornando uma curva probabilística para cada um dos indicadores de desempenho (FERNANDES, 2005)

Escolheu-se o método de Monte Carlo para essa simulação, pois este não requer um modelo probabilístico pré-estabelecido, o que demandaria um estudo muito mais complexo dos dados de entrada. A partir da geração aleatória dos dados, o próprio método cria uma distribuição probabilística das variáveis de entrada para

¹⁶ INCC, Índice Nacional da Construção Civil, apura a evolução dos custos no setor da construção, um dos termômetros do nível de atividade da economia.

¹⁷ IGP, Índice Geral de Preços; registra as variações de preços de matérias-primas agropecuárias e industriais, de produtos intermediários e de bens e serviços finais. Apresenta em três versões: Índice Geral de Preços, Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M) e Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI). A diferença entre eles está no período de coleta das informações para cálculo do índice.

gerar uma distribuição probabilística dos dados de saída, que neste caso são os indicadores de desempenho.

Para o resultado do método de Monte Carlo ser confiável é preciso que as variáveis aleatórias sejam independentes. A partir dos dados de entrada apresentados no item 4.2.2, foram escolhidos para a simulação variar, a receita devido ao recebimento de RCD e a demanda anual média, mostrando a sensibilidade dos indicadores em relação à variação desses fatores. Não se pode dizer que a demanda e o preço sejam variáveis independentes uma vez que alterações no preço causam mudanças na demanda. Por exemplo, se o preço aumentar muito a demanda vai cair, até porque se trata de um mercado competitivo que vem tentando ganhar espaço frente aos agregados naturais. No entanto, como se esta trabalhando dentro de uma faixa pré-determinada de preços e demandas estabelecida através das entrevistas com usinas reais e operantes e não com situações extremas, adotar-se-á que essas variáveis sejam independentes, variando de acordo com as condições do mercado de agregado e não uma com a outra.

A distância usina-comprador é outro fator muito importante, pois quanto maior essa distância maior é o frete cobrado dos compradores e mais difícil fica a venda do agregado. Para estudar até que distância é viável a venda de agregados reciclados limita-se o preço final (agregado + frete) para o cliente, comparando o caso de uma pedreira com o caso da usina de agregados reciclados. Para chegar aos dados de base para essa comparação foram feitas cotações junto a diferentes usinas e pedreiras sempre usando o mesmo endereço de entrega.

Os principais dados de entrada necessários estão apresentados no resumo dos dados utilizados para a análise (item 4.2.2).

4.2.2. DADOS DE ENTRADA

Em relação à determinação dos dados de entrada, segmentaram-se em três grupos: investimento inicial, custos de operação e venda e receitas. Em geral, para identificar quais dados eram mais importantes e até para determinar a faixa de variação de cada parâmetro, valeu-se de visitas e entrevistas com usinas operantes.

4.2.2.1. INVESTIMENTO INICIAL

Para identificar os fatores mais relevantes quanto ao investimento inicial de uma usina fixa foram consultados o manual do SEBRAE (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) e JADOVSKI (2005), bem como os resultados das entrevistas feitas em usinas operantes (Estação Resgate, CRCD, Urbem, Eco-X). A partir desse estudo ficou claro que os fatores que alteram significativamente o volume de investimento inicial são: valor do terreno, valor dos equipamentos e serviços preliminares.

O valor do terreno é o custo mais alto desse investimento e, portanto, oscilações no seu valor alteram bastante a qualidade do investimento. Esse custo pode tanto entrar como investimento inicial, se for comprado, ou nos custos mensais, se for alugado. Comprar o terreno significa quase que outro investimento a parte, ligado a especulação imobiliária e, como o valor dos equipamentos é alto, dá mais segurança ao investidor de que sua usina não será desmobilizada. No entanto, o investimento inicial é maior e a localidade da usina pode ser prejudicada.

Alugar significa um investimento inicial menor, um menor comprometimento, no entanto, corre-se o risco de desmobilização com o fim do contrato. Esse risco pode ser minimizado fazendo-se um contrato de longo prazo. Também permite-se uma maior flexibilidade do empreendimento, uma vez que caso o mercado se esgote é possível mudar de local.

A área do terreno obedece à área mínima necessária de acordo com JADOVSKI (2005), e é similar às áreas das usinas visitadas (7000m² na Urbem e 5000m² na CRCD, por exemplo). Os preços para compra do terreno ou aluguel foram cotados tanto com as usinas visitadas quanto por pesquisa de terrenos disponíveis pela internet em sites de imóveis¹⁸.

¹⁸ Fonte: <http://www.zap.com.br/imoveis>. Acesso de fevereiro a abril de 2013.

Tabela 8 – Informações sobre o terreno

Terreno	R\$	5.000.000,00
Área Total		5.000 m ²
Custo de Aquisição (por m ²)	R\$	1.000,00 R\$/m ²
Custo de Aquisição (total)	R\$	5.000.000,00 (total)
Custo de Locação (por m ²)	R\$	8,00 R\$/m ²
Custo de Locação Mensal (total)	R\$	40.000,00 (total)

Outro valor a ser investido de grande significância para a análise é o custo do maquinário utilizado para britagem e transporte do RCD dentro da usina. Dentre os possíveis equipamentos estão alimentadores, britadores, peneiradores, correias transportadoras, lavadores, caminhões, tratores e pás-carregadeira. Como resultado das entrevistas junto às usinas operantes, Recinert Ambientale e CRCD-Osasco, a planta industrial básica para análise é composta por alimentador, britador, peneiradoras, correias transportadoras. Com as especificações das máquinas coletadas nas entrevistas, foram utilizados catálogos de fornecedores de maquinário para calcular os preços.

Tabela 9 – Informações sobre a planta industrial

Planta Industrial	R\$	1.500.000,00
Equipamentos & Maquinário (70t/h)	R\$	800.000,00
Alimentador	R\$	100.000,00
Britadores	R\$	400.000,00
Peneiradores	R\$	200.000,00
Correias transportadoras	R\$	100.000,00
Veículos	R\$	700.000,00
Pás carregadeiras (x2) New Holland 13C	R\$	700.000,00

Além dos custos iniciais de terreno e maquinário, para a implantação de usinas fixas, é necessária a execução de uma área administrativa, onde se localizam a recepção, escritórios, refeitório, banheiros, sala de reuniões, entre outras. Outros custos relacionados são a terraplanagem e preparação de fundação para as estruturas equipamentos e gastos com licenças de implantação. Além de fugir do escopo do trabalho pesquisar esses gastos detalhadamente, o valor de cada um desses itens isoladamente é muito pequeno comparado com o valor do terreno e do

maquinário. Esses custos não são diretamente proporcionais ao tamanho do terreno ou porte da usina e foram estimados de acordo com os custos da tabela PINI (MATTOS, 2006). Estimou-se a área necessária para tais instalações e aplicou-se o custo por metro quadrado da construção de obras civis classificadas como *escritório*. A área foi determinada por meio de observação e medição durante as entrevistas.

Tabela 10 – Informações sobre obras civis

Obras Civis	R\$	57.800,00
Área de Construção		100 m ²
Custo de Construção (por m ²)	R\$	578,00
Custo de Construção (total)	R\$	57.800,00

Dado o elevado valor do investimento inicial, estudou-se a opção de fazer um financiamento. O financiamento muda o fluxo de investimentos de maneira bastante significativa, uma vez que ao invés de se desembolsar uma quantidade grande no início do empreendimento, pode-se se pagar em parcelas e durante o empreendimento.

4.2.2.2. LINHA DE FINANCIAMENTO

Para esta tese, foi escolhido como base foi o programa BNDES Automático¹⁹, que trabalha com investimentos abaixo de 20 milhões, com a linha de financiamento MPME –Investimento para micro, pequenas e média empresas de qualquer setor de atuação. Essa linha de financiamento tem uma participação máxima de 90% dentro dos itens financiáveis e uma taxa de financiamento efetiva de 7%. O prazo de pagamento é negociável e escolheu-se trabalhar com um prazo de 4 anos. Dos itens de investimento presentes na implementação de uma usina de reciclagem são financiáveis: obras civis, montagens e instalações; máquinas e equipamentos; gastos com estudos e projetos de engenharia relacionados ao investimento e despesas pré-operacionais.

19

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/BNDES_Automatico/index.html. Acesso em junho de 2013.

No caso das máquinas algumas restrições são impostas. Estas devem ser nacionais e credenciadas pelo BNDES, assim admitiu-se que apenas 30% do valor das máquinas poderia ser financiado.

É importante notar que o financiamento não cobre nenhuma porcentagem do valor do terreno.

4.2.2.3. CUSTOS DE OPERAÇÃO E VENDA

Os gastos mensais envolvidos na operação da usina fixa dizem respeito às despesas de energia elétrica, água, gastos com funcionários, transporte dos agregados e etc. e estão apresentados na Tabela 11.

O consumo de energia foi estimado tendo-se como base os consumos verdadeiros, levantados junto às usinas visitadas. Correlacionando-se os gastos das usinas visitadas com sua capacidade de produção, obteve-se um consumo baseado no porte da usina analisada e na capacidade do equipamento de britagem, levando-se em consideração que são alimentados por energia elétrica.

Para o consumo de água, foi considerada, além do consumo do escritório e dos funcionários, a água para produção utilizada no processo, como para a lavagem dos agregados e para lavagem de veículos e aspersão para controle ambiental de material pulverulento.

Dentro dos gastos mensais há ainda frações referentes às despesas administrativas e impostos.

Outro gasto que deve ser considerado é o aluguel do terreno, no caso desse ser alugado. O preço do aluguel foi dado por 0,6% do preço do imóvel, de acordo com o observado em sites de imóveis com referência mostrada anteriormente para o preço do terreno. Este dado também varia conforme a localização e o tamanho do terreno locado.

Ainda devem ser contabilizadas as despesas com funcionários, as quais são o resultado da somatória do salário mensal multiplicado por um fator que englobe o quanto o funcionário custa para o contratante, considerando os encargos, 13º salário, benefícios como férias e outros gastos, como EPI's (Equipamentos de Proteção Individual); esse fator de multiplicação é calculado pela revista PINI (MATTOS, 2006) e chegou-se ao valor de 2,31 que multiplica o salário mensal. Por último, há os gastos com transporte do agregado reciclado até o consumidor. Para

estimar esses gastos foi utilizado o preço de transporte de acordo com os quilômetros e volume obtido nas entrevistas, no entanto este é um custo para o cliente e não para a usina e foi abordado no estudo por ser um diferencial importante entre agregados reciclados e naturais.

Tabela 11 – Despesas operacionais

Despesas Operacionais (mensal)	R\$	131.370,00
Recursos humanos	R\$	62.370,00
Salários	R\$	27.000,00
Taxa de encargos		2,31
Encargos/benefícios	R\$	35.370,00
Equipamentos, maquinário e veículos	R\$	12.000,00
Manutenção	R\$	12.000,00
Terreno e edifícios	R\$	40.000,00
Aluguel	R\$	40.000,00
Utilidades & Combustível	R\$	17.000,00
Eletricidade	R\$	10.000,00
Água	R\$	2.000,00
Diesel	R\$	5.000,00
Despesas administrativas	R\$	500,00
Comunicação, material de consumo, vigilância, etc.	R\$	500,00

4.2.3. RECEITA

A receita da usina é constituída de duas etapas. Primeiro a usina cobra uma taxa para receber o material de RCD no pátio, por tonelada ou caçamba de material de acordo com seu tipo (concreto, madeira, cerâmicas misturados). Em seguida o material é beneficiado e vendido, gerando uma segunda receita. Os agregados reciclados podem ser vendidos de acordo com seu tipo ou todos pelo mesmo preço, por metro cúbico; na usina protótipo o preço foi o mesmo para todos os tipos de material beneficiado e preço de recebimento foi dado por metros cúbicos. Dentre os tipos de materiais beneficiados estão areia, britas 1 e 2, pedrisco e rachão ou bica corrida.

Para os valores de preço de agregado reciclado e frete foram feitas solicitações de orçamentos diretamente com as empresas e obtidos os valores apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de frete e receitas obtidos

Receita Total	R\$	261.428,57
Recebimento do RCD	R\$	51.428,57
Valor unitário de recebimento do RCD	R\$	6,00 R\$/m³
Coefficiente de aproveitamento do RCD		0,7
Quantidade recebida por dia (m³)		429 m³
Quantidade por mês(m³)		8.571 m³
Limite diário de RCD		1.500 m³
Total recebido	R\$	51.428,57
Venda de agregados	R\$	210.000,00
Valor unitário de venda	R\$	35,00 R\$/m³
Quantidade vendida por dia inicial (m³)		300 m³
Quantidade vendida por dia final (m³)		360 m³
Tempo de ciclo		20 anos
Quantidade (m³)		6.000 m³
Total vendido	R\$	210.000,00
Receita Bruta	R\$	261.428,57

Os índices de IGP e INCC foram retirados do site da Fundação Getúlio Vargas (FGV)²⁰, o imposto cobrado é o mesmo para uma empresa extratora no valor de 11% do faturamento:

²⁰ INCC:

<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92B7684C11DF>.

IGP:

<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92B6B6420E96>.

Acesso em abril de 2013.

Tabela 13 – Índices utilizados

Índices utilizados no cálculo dos resultados	
Anual	
INCC	7,09% a.a.
IGP	6,00% a.a.
Descolamento incc sobre igp	1,01028
Aliquota do Imposto	11,00%
Conversões	
Ano	12 meses
Ciclo	20 anos

No caso das usinas móveis, as principais diferenças são o tamanho do terreno, pois não há necessidade de um grande terreno, apenas um galpão para guardar a máquina(s) e uma pequena central administrativa, o custo com transporte, pois as máquinas agora vão até o cliente, o porte dos equipamentos e o preço de processamento de RCD e venda de agregado. Com pequenas alterações é possível utilizar a mesma tabela de protótipo tanto para usinas fixas quanto para móveis.

Uma diferença importante observada durante a fase de entrevistas foi que enquanto as usinas fixas costumam discriminar no preço o valor devido ao agregado e o valor devido ao frete, na usina móvel trabalhava-se com um preço global, de forma que neste caso o custo de frete está incluso nos gastos do empreendedor e foi variado probabilisticamente.

4.2.4. PORTE DA USINA E CAPACIDADE DO EQUIPAMENTO

A demanda de consumo de agregados reciclados foi estimada com base no consumo de agregados per capita no estado de São Paulo e em função do crescimento populacional nos próximos anos de acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)²¹, conforme Tabela 14 e Tabela 15 .

²¹ Disponível em:
<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=1272>.

Tabela 14 – Projeção da demanda paulista total de agregados

Ano	População Brasileira (habitantes)	População Paulista (habitantes)	Total de agregados (10 ⁶ toneladas)
2013	198043320	42604394	158
2025	210441362	45925969	170
2033	217972789	46826327	173
2043	218543546	47800000	177
2050	215300000	49900000	185

Para um cenário conservador, foi considerado que a usina modelo iria possuir cerca de 0,05% do mercado consumidor de agregados da região onde fosse instalada, e que o consumo per capita de agregado no estado de São Paulo, de 3,7 toneladas/habitante em 2006 (IBRAM, 2007), levando aos valores expostos na Tabela 15:

Tabela 15 – Produção de agregados em função da demanda

Produção Anual (10 ⁶ toneladas)	Produção Mensal (10 ³ toneladas)	Produção Diária (toneladas)
0,079	6,6	328
0,085	7,1	354
0,087	7,2	361
0,088	7,4	368
0,092	7,7	385

Definida a demanda, foi determinado que a usina produzisse a mesma quantidade e, com isso, foi instalada uma planta de britagem na capacidade de no mínimo 70 toneladas/hora de acordo com a pesquisa de demanda. Como a capacidade de uma usina de beneficiamento não é facilmente aumentada foi instalado um com a capacidade máxima, ainda que ele seja subutilizado nos primeiros anos de operação.

4.3. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO₂

Os impactos ambientais são alterações dinâmicas e complexas e não é possível englobar todas as suas características e processos envolvidos em um estudo. No entanto, é possível obter indicadores que fornecem informações relativas à degradação ambiental e assim utilizá-los como critério de comparação entre diferentes projetos, auxiliando na tomada de decisão. Estes indicadores, como a emissão de CO₂, fornecem uma quantificação dos aspectos ambientais das atividades, que por sua vez, relacionam-se com os impactos ambientais em si.

A escolha pelo indicador “emissão de CO₂” ocorreu porque é comprovado que este gás contribui na formação de uma camada na atmosfera que absorve e retém a radiação solar, causando efeito estufa e aquecimento do planeta (GORE, 2006). Dado o aumento acentuado da taxa de CO₂ na atmosfera (EPA, 2012), diversos esforços vêm sendo realizados para reduzir sua emissão global, como o protocolo de Kyoto e a conferência Rio 92 (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento). Assim, baseado na importância dada ao tema, as emissões de CO₂ representam um importante indicador de degradação da qualidade ambiental. Além de sua importância, ainda é facilmente mensurável por meio da quantificação da queima de combustíveis e consumo de eletricidade. As principais fontes de emissão de gás carbônico (CO₂) no ciclo de vida dos agregados concentram-se na queima de combustíveis fósseis e, indiretamente, pelo consumo de energia elétrica. Portanto o indicador de emissão de CO₂ atende os critérios de importância relativa, mensurabilidade e possibilidade de realização no trabalho pelo tempo necessário e qualidade possível de ser atingida na coleta de informações.

Com base em CONAMA nº 01/86, a avaliação proposta nesse trabalho partiu da necessidade de ponderar os impactos gerados pela reciclagem de RCD com a sua não execução, ou seja, com a exploração tradicional de agregados naturais. A avaliação comparará três tipos de empreendimentos por meio de suas emissões de CO₂: a mineração de agregados (brita), a reciclagem fixa e a móvel. Optou-se por avaliar apenas a brita natural, e não a areia, dado as limitações existentes, como dados disponíveis do setor, entre outros.

4.3.1. DELIMITAÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA

O ponto de partida para a metodologia de avaliação ambiental é a análise do ciclo de vida (ACV). A ACV ilustra os insumos, matérias primas e energia consumidos desde a obtenção de matérias-primas até disposição final, incluindo a geração de resíduos e poluições (JOHN, 2000). Basicamente, considera-se o processo em questão um ciclo fechado e de abrangência definida; a partir daí avaliam-se suas entradas e saídas de massa e energia, que possibilitam identificar a diferença relativa de indicadores de qualidade ambiental alterados pelo processo.

Os processos comparados foram a mineração de rocha e a reciclagem de RCD por usinas fixas e móveis. Dado que o enfoque proposto foi a comparação das emissões de CO₂, optou-se por trabalhar com uma ACV simplificada, que considerasse apenas essa classe de aspecto, o que não prejudica os resultados obtidos (OLIVEIRA et al, 2013). Assim, foi possível quantificar o CO₂ gerado por cada modelo de produção e compará-los por meio do índice unitário “emissão de CO₂ (kg)/ tonelada de agregado produzido”

Na comparação entre agregados naturais e reciclados, adotou-se a abordagem portão a portão (gate to gate), conforme *Figura 12*, *Figura 13* e *Figura 14*, que é uma análise parcial da ACV. O que diferencia o agregado natural do reciclado, em termos de ACV, é apenas sua fase de produção, já que a partir do momento que chegam ao empreendimento seguirão o mesmo caminho. Por isso analisou-se a ACV parcialmente, considerando apenas as etapas que diferem.

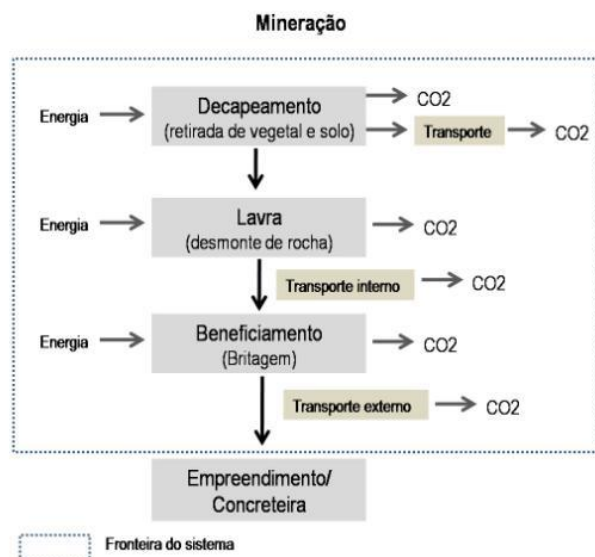


Figura 12 – Fronteira do sistema da ACV de mineração de rocha.

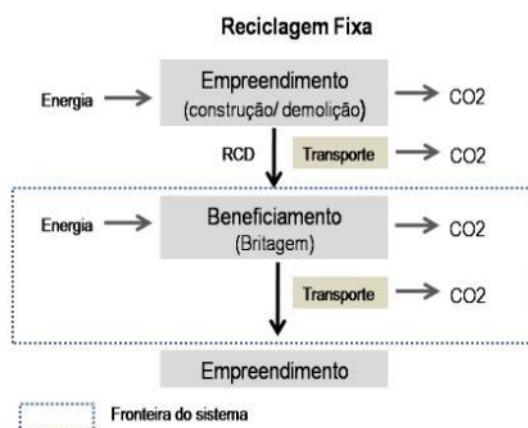


Figura 13 - Fronteira do sistema da ACV de reciclagem fixa.

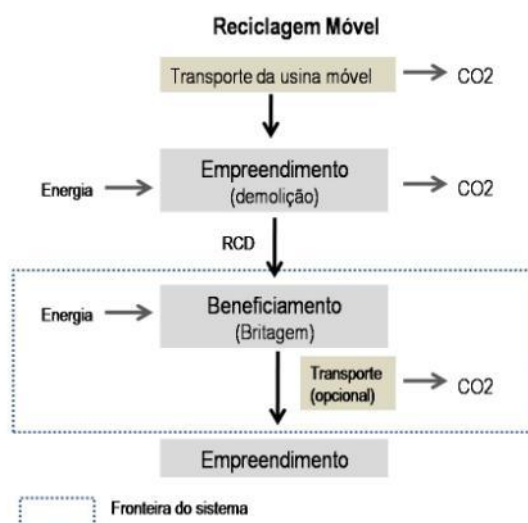


Figura 14 - Fronteira do sistema da ACV de reciclagem móvel.

Ressalta-se que existem divergências de como deveria ser feita a atribuição de responsabilidade das emissões na reciclagem. A resolução CONAMA 307/202 dispõe que o transporte e destinação do resíduo são de responsabilidade de seu gerador (demolidor ou construtor), no entanto novas linhas de pesquisas²² tratam o resíduo como uma matéria prima e, portanto deveria ter suas emissões contabilizadas para a usina de reciclagem. Como este trabalho compara a produção dos agregados, e não a opção entre descarte de RCD ou reciclagem, os limites estabelecidos se iniciam na produção de agregado e terminam na entrega deste ao consumidor.

A avaliação do ciclo de vida permite, para cada caso, a identificação das fases de produção nas quais pode haver melhoria do desempenho ambiental, bem como aquelas responsáveis pelos maiores impactos. Permite também verificar se a reciclagem realmente possui vantagens ambientais sob o ponto de vista de emissões de CO₂ em relação à mineração e em que tipo de modelo de negócio (móvel ou fixa) esta vantagem seria maior.

4.3.2. DETERMINAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO

O modelo de cálculo proposto é formado por três etapas descritas a seguir.

A primeira é o estabelecimento dos dados de entrada, ou seja, a determinação dos fatores relevantes nas emissões de CO₂. As emissões variarão conforme a quantidade produzida (que determina a quantidade e tempo de funcionamento dos equipamentos, além do número de viagens necessárias) e a distância de transporte (que determina o consumo médio de combustível/viagem).

A segunda etapa consiste no levantamento dos equipamentos estacionários e móveis necessários à produção e transporte de agregados. Após o levantamento, quantifica-se o consumo de diesel ou energia elétrica por cada elemento levantado.

²² Referência: SARMa Project. Disponível em: http://www.sarmaproject.eu/uploads/media/SARMa_LCA_Guidelines.pdf. Acesso em maio de 2013.

A terceira etapa é a conversão por meio de fatores de emissão do volume de diesel ou kW para massa de CO₂. Dividido pela quantidade de agregado produzido, o montante resulta no indicador desejado: kg de CO₂/t agregado.

O modelo foi adotado para cada tipo de produção de agregado (mineração, usina móvel e fixa), alterando-se os dados de entrada e o levantamento dos equipamentos para cada caso. Assim foi possível comparar suas emissões unitárias. Segue abaixo síntese do modelo proposto (Figura 15).

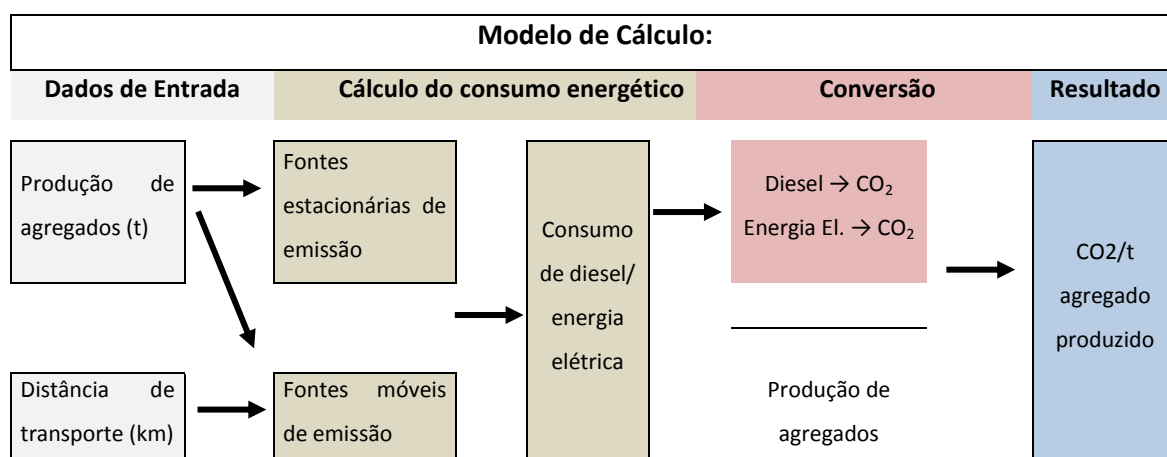


Figura 15 - Modelo de cálculo das emissões de CO₂.

O modelo proposto teve como base o Greenhouse Gas Protocol (GHG) que tem como objetivo a quantificação de emissões de gases estufa. O GHG é uma ferramenta metodológica utilizada para a contabilização de GEE pelos governos e empresas a fim de se criar um inventário de carbono. Apresenta neutralidade política e é compatível com normas de gestão ambiental, como as da série ISO 14000, além de ter sido adaptada ao contexto nacional (FGV, 2012). Dessa forma, optou-se por utilizá-la como base para a avaliação de desempenho dos casos em análise.

Vale ressaltar que esta metodologia avalia a emissão total em massa de todos os gases de efeito estufa e não somente o CO₂. O GHG visa inventariar o quanto uma atividade contribui para o efeito estufa, ao passo que este trabalho visa comparar três tipos de atividades, portanto a premissa do GHG diverge do escopo deste trabalho. Assim, para a confecção do modelo próprio, algumas características

foram alteradas, como a contabilização somente do CO₂ e a utilização da emissão unitária por tonelada de material produzido.

Para as alterações, foram utilizadas as metodologias Top-down e Bottom-up. Ambas as metodologias foram desenvolvidas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), órgão estabelecido pelas Nações Unidas, além da metodologia NTM, mais específica para o transporte, desenvolvida por uma organização não governamental europeia. O NTM é utilizado especificamente para calcular o impacto ambiental dos diversos tipos de transporte (LOO, 2009 apud CRUVINEL, 2011).

4.3.2.1. DADOS DE ENTRADA

Primeiramente, selecionaram-se os dados de entrada do modelo, que são inseridos diretamente, e influenciam no resultado da comparação de emissões entre as unidades. Estes dados são: quantidade de agregados produzida, em toneladas, e a distância praticada no transporte entre a produção e o destino final, em km.

A influência da quantidade produzida é relacionada ao fator de escala, principalmente das fontes estacionárias, dado que quanto maior a produtividade, mais distribuída será a emissão para cada m³ e, portanto menor será o índice de emissão unitário. A produção também influencia o transporte uma vez que uma maior quantidade de material a ser transportado necessita de mais viagens de caminhão e, portanto maior será a emissão. A distância de transporte influencia fortemente as emissões que serão contabilizadas conforme cada tipo de negócio de reciclagem ou mineração. As distâncias foram caracterizadas por meio de entrevistas e visitas de campo e bibliografia.

Com as duas variáveis apresentadas é possível obter uma informação mais clara e precisa da comparação entre as emissões e os limites que tornam cada modelo de negócio ambientalmente melhor.

4.3.2.2. CÁLCULO DO CONSUMO ENERGÉTICO

Para o estabelecimento dos itens a terem as emissões avaliadas, utilizou-se como base a ferramenta do GHG (versão 2011, a mais recente na época), porém, como o objetivo aqui proposto não é de inventariar, e sim apenas de comparar emissões de CO₂, desconsiderando outros GEE, optou-se por construir um modelo baseado no GHG, porém mais conciso.

O primeiro passo para estabelecimento do consumo energético foi a eleição dos aspectos mais relevantes na emissão de CO₂. Essa priorização ocorreu, primeiramente, com a análise dos escopos do GHG e seus subitens.

O GHG é dividido em três escopos:

- Escopo 1: sobre as emissões de GEE próprias da corporação;
- Escopo 2: sobre sua compra de eletricidade do Sistema Integrado Nacional (SIN) e compra de vapor;
- Escopo 3: sobre as emissões de GEE de terceirizadas/subcontratadas pela corporação.

Como para análise proposta não há a necessidade em segmentar as emissões entre próprias e de terceiros, o modelo proposto engloba, de uma só vez, ambas as emissões. O Escopo 2 também deve ser considerado pois as atividades estudadas adquirem energia elétrica do Sistema Integrado Nacional (SIN).

Os escopos sobre emissões de GEE são subdivididos em diversos itens, ilustrados na *Figura 16*. A escolha dos itens a serem contemplados no modelo ocorreu segundo sua relevância nas emissões de CO₂. Desconsideraram-se os itens *Atividades agrícolas* e *Compra de vapor*, que não acontecem nas atividades de produção de agregados.

Já que o objetivo do modelo é a comparação das emissões em cada tipo de negócio, supôs-se que o mais relevante é o estudo dos processos de produção e distribuição dos agregados. Por isso, escolheu-se trabalhar com os itens *Combustão Estacionária*, *Móvel* e *Compra de eletricidade*. Os demais itens: *Emissões fugitivas* (ex: refrigeração), geração de *Resíduos Sólidos* ou *Efluentes* também foram desconsiderados por serem relacionados a atividades de apoio (administrativas),

que pouco representam em termos de mão de obra ou área construída nesses tipos de indústria.

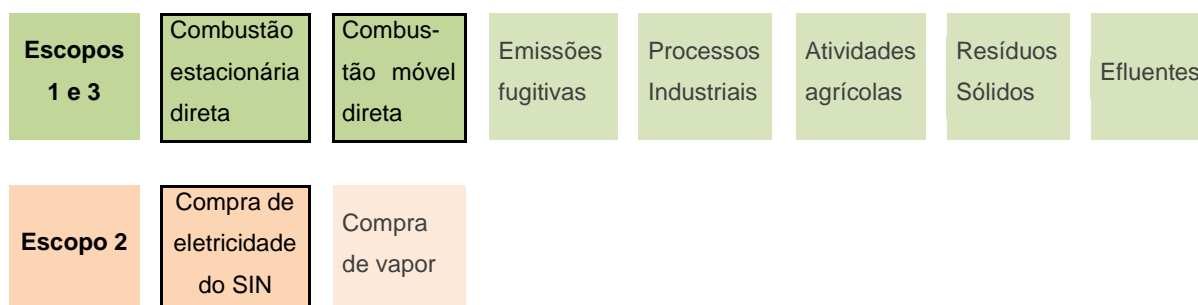


Figura 16 - Macroprocessos escolhidos.

Tendo estabelecido os macroprocessos para o modelo, identificaram-se os processos e equipamentos mais relevantes nas emissões de CO₂ e estimou-se seu consumo de diesel ou energia elétrica.

4.3.2.2.1. FONTES ESTACIONÁRIAS DE EMISSÃO²³

Consideraram-se como fontes estacionárias de emissão de CO₂ os equipamentos e transportes necessários para a produção de agregados (com exceção do transporte por caminhões da mina até a área de beneficiamento, considerado fonte móvel). Os mesmos foram identificados com base em entrevistas, SOUZA (2012) e FGV (2012).

O consumo de energia por equipamento é obtido multiplicando-se seu consumo horário pelo seu tempo de operação.

$$\frac{\text{Consumo Equip.}}{\text{dia}} = \text{consumo horário} \left(\frac{l}{h} \right) \cdot \text{horas trabalhadas/dia} \quad \text{Equação 1}$$

As horas trabalhadas por dia são função da produtividade de cada equipamento, limitadas ao equipamento de menor produtividade. Assim obtém-se o valor pela equação:

$$\text{horas trabalhadas} = \text{produção (m}^3\text{)}/\text{produtividade do equipamento (m}^3\text{/h)} \quad \text{Equação 2}$$

O consumo horário é obtido através de catálogos e informações provenientes das entrevistas. Para a produtividade é necessário obter mais informações que

²³ Dependendo da equação, utilizou-se a produção de agregados em m³, quando o indicador final é em t. O fator de conversão utilizado, quando necessário, foi de 1,5.

dependem da tarefa realizada do equipamento. Uma pá carregadeira que abastece os caminhões com o produto do britador, por exemplo, pode necessitar de menos tempo de funcionamento que o próprio britador para realizar a mesma produtividade.

A produtividade e o consumo de combustível dos equipamentos de carregamento são muito variáveis, conforme a intensidade e dificuldade dos trabalhos. Assim, estes foram estimados através de diversos catálogos de fabricantes, principalmente da Liebherr, que fornece uma estimativa de consumo para cada equipamento conforme três níveis de intensidade de trabalho. Em determinados casos os equipamentos não são definidos pela empresa entrevistada, assim estimou-se um modelo conforme a produtividade e o horário de trabalho. Esta definição é muito importante, pois representa uma grande sensibilidade no resultado final da emissão para a produção de agregados. Para verificar a consistência, foram comparados com outras fontes, como das empresas entrevistadas, uma fabricante de softwares de orçamento para a construção civil²⁴, e feita a verificação da produtividade com um tempo de ciclo plausível para o equipamento conforme a Equação 3, recomendado pelo manual da fabricante Caterpillar²⁵.

Para de estimar a produtividade dos equipamentos de carregamento utiliza-se o volume da concha e a média capacidade de carregamentos por hora, assim temos:

$$P = (b * i * 60) / T \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

P = produção horária do equipamento (carga paga em m³/h);

b = capacidade nominal da caçamba;

i = fator de eficiência (valor percentual de capacidade de enchimento total da concha ou caçamba, variável conforme material carregados e habilidade do operador)

T = tempo total de ciclo (min).

Os fatores utilizados na fórmula acima são obtidos em tabelas que podem ser encontradas em manuais de escavação e em catálogos de diversas fabricantes. Os

²⁴Disponível em: <http://www.engwhere.com.br/software/equipamentos.htm>. Acesso em maio de 2013.

²⁵Caterpillar Performace Handbook Edition 29, pag. 624

dados são de grande importância uma vez que assim se contabiliza o tempo real em que o equipamento está produzindo, retirando-se as atividades de manutenção e outras atividades não relacionadas com a produção da contabilização de emissão de CO₂.

Essa equação pode ser representada pelo ábaco fornecido pela Caterpillar utilizado para adequar a produtividade com o equipamento, conforme *Figura 17*.

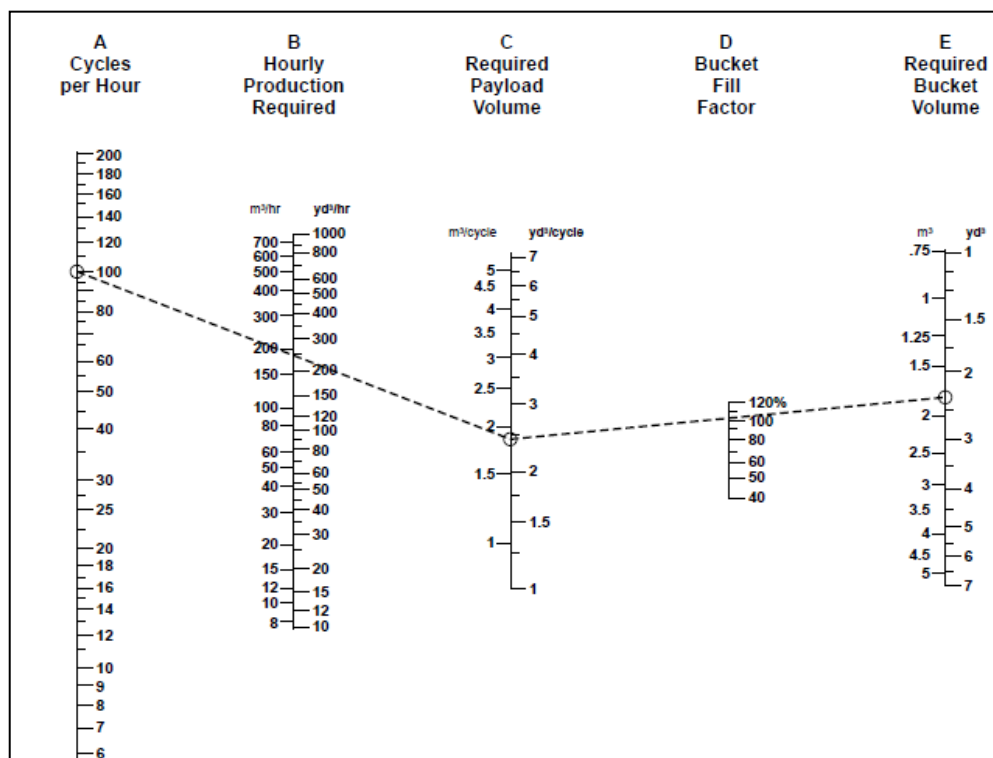


Figura 17 - Ábaco para definição de equipamento
 Fonte: Caterpillar Performace Handbook Edition 29, pag. 625.

Para a mineração de agregados considerou-se os equipamentos envolvidos na produção de brita. As informações obtidas basearam-se em visita de campo, em SOUZA (2012) e em ANGULO (2000).

Para a definição do consumo de diesel pelo equipamento adotado, utilizou-se também o Caterpillar Performace Handbook Edition 29 (Figura 18 e Figura 19), em conjunto com catálogos de equipamentos específicos da fabricante Liebherr²⁶. Foi adotado a atividade de mineração como *muito intensa* e a atividade de reciclagem como de *média intensidade*.

²⁶ http://www.liebherr.com.br/EM/pt-PT/products_br-em.wfw/id-510-0/measure-nonMetric

O fator de emissão devido à operação dos equipamentos de carregamento são muito variáveis e, além de a variação ser desconhecida, possui uma margem dependente de diversos fatores como o fabricante do equipamento, as condições de manutenção, idade e habilidade do operador.

EXCAVATORS						
Model	Low		Medium		High	
	liter	U.S. gal	liter	U.S. gal	liter	U.S. gal
301.5	*	*	*	*	*	*
307/307B	3-5	¾-1¼	5-8	1¼-2	7-10	1¼-2½
311B	4-6	1-1½	6-9	1½-2¼	9-12	2¼-3½
312B/312B L	4-6	1-1½	6-10	1½-2¼	10-13	2½-3½
315B	5-9	1¼-2¼	9-13	2¼-3½	13-15	3½-4
318B L	*	*	*	*	*	*
M312	5-9	1¼-2¼	9-12	2¼-3½	12-15	3½-4
M315	6-10	1¼-2½	10-13	2½-3½	13-16	3½-4½
M318	8-12	2-3½	12-16	3½-4	17-19	4½-5
M320	9-13	2-3½	13-17	3½-4½	17-20	4½-5½
320B	9-13	2½-3½	13-15	3½-4	15-19	4-5
322B	11-15	3-4	16-18	4¼-4¾	18-23	4¾-6¼
325B	13-16	3½-4¾	18-21	4¾-5½	25-27	6¾-7¾
330B	18-24	4¾-6½	24-30	6½-8	34-38	9-10
345B	25-30	5½-8	35-40	9¼-10½	45-50	11¼-13¼
350	23-28	6-7½	32-37	8¾-9¾	47-53	12½-14
375	33-38	8¾-10	42-48	11-12¾	61-67	16-17¾
5130B	91-95	24-25	110-114	29-30	129-132	34-35
5230	163-193	43-51	193-204	51-54	208-227	55-60

*Insufficient data.

LOAD FACTOR GUIDE

High: Most pipeline applications in hard rocky material. Digging 90-95% of the daily work schedule.

Medium: Most residential sewer applications in natural bed clay. Digging 60-85% of the daily work schedule. Most log loading applications.

Low: Most utility, urban applications in sandy loam. Digging less than 50% of the daily work schedule. Scrap handling applications.

Figura 18 - Tabela de consumo médio de diesel de escavadeiras hidráulicas conforme o modelo e intensidade de utilização.

Fonte: Caterpillar Performace Handbook Edition 29.

WHEEL LOADERS & INTEGRATED TOOLCARRIERS						
Model	Low		Medium		High	
	liter	U.S. gal	liter	U.S. gal	liter	U.S. gal
902	*	*	*	*	*	*
906	*	*	*	*	*	*
914G, IT14G	5-6½	1-2	8-10½	2-2½	11½-13	3-3½
924F, IT24F	5½-7½	1½-2	9½-12	2½-3	13-15	3½-4
928G, IT28G	7½-11	2-3	11-15	3-4	15-19	4-5
938G, IT38G	9-12½	2-3	13-17	3½-4½	18-22	4½-5½
950G	11-15	3-4	17-21	4½-5½	23-28	6-7½
962G, IT62G	12-16	3-4	18-22	5-6	24-29	6½-8
966F Series II	17-21	4½-5½	23-28	6-7½	32-38	8½-10
970F	19-23	5-6	25-30	6½-8	35-41	9-11
980G	23-26	6-7	30-36	8-9½	42-47	11-12½
988F Series II	32-38	8½-10	44-49	11½-13	60-66	16-17½
990 Series II	45-53	12-14	60½-68	16-18	79½-87	21-23
992G	58-66	15-17	83-91	22-24	116-125	30-33
994	102-109½	27-29	129-144	34-38	163-178	43-47

*Insufficient data.

LOAD FACTOR GUIDE
 High: Steady cycling on basic loader cycle.
 Medium: Steady cycling but over haul distances or work on basic loader cycle with frequent periods at idle.
 Low: Light utility work. Considerable idling.

Figura 19 - Tabela de consumo médio de diesel de pá carregadeira hidráulicas de pneus conforme o modelo e intensidade de utilização.

Fonte: Caterpillar Performace Handbook Edition 29.

Nota: uma das pedreiras ofereceu, além da produção mensal, as frações produzidas de cada agregado e os britadores utilizados para gerá-los, possibilitando calcular as emissões de CO₂ por produto. A outra pedreira não forneceu essa informação. No caso das usinas, a emissão unitária já contempla os diferentes agregados produzidos, visto que todas elas possuíam apenas um britador e que os RCD eram britados apenas uma vez.

O cálculo das emissões por produto considerou os consumos energéticos dos britadores utilizados, bem como a proporção do produto produzido em relação à produção total daquele britador. Assim, o consumo energético por produto é calculado conforme a Equação 4.

$$C_y = \sum C_{b,n} \cdot P_y / P_{tot}$$

Equação 4

Onde:

Cy= Consumo energético para produção do produto y;

Cb,n= Consumo energético do britador n;

Py= Quantidade produzida do produto y pelo britador n;

Ptot= Quantidade total produzida pelo britador n.

4.3.2.2.3. FONTES MÓVEIS DE EMISSÃO

Considerou-se como fontes móveis de emissão de CO₂ apenas os equipamentos envolvidos no transporte do agregado de sua origem até seu consumo/distribuição (transporte externo) e, no caso da mineração, também o transporte da mina até a área de beneficiamento (transporte interno). O único modal considerado foi o rodoviário. Para estabelecimento da frota considerou-se tanto a própria a quanto a terceirizada, sem distinção.

O consumo de diesel para cada tipo de veículo com características semelhantes (capacidade, carregamento médio e ano da frota) pode ser estimado pela seguinte equação:

$$C = Nv * Qp * Cm \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

C: consumo de diesel diário (l/dia) de veículos tipo *n*;

Nv: número de viagens realizadas por dia*;

Qp: quilometragem percorrida por viagem (km);

Cm: consumo médio de diesel dos veículos tipo *n* (l/km).

O número de viagens por dia pode ser estimado pela seguinte equação:

$$Nv = \text{Produção (m}^3\text{)} / \text{capacidade do caminhão tipo (m}^3\text{)} \quad \text{Equação 6}$$

O consumo médio de diesel é um fator dependente de diversas variáveis como a idade, modelo, manutenção e uso, e para que seja estimado um valor próximo ao real, foi utilizado um dado de CRUVINEL et. al. (2008) que relaciona os consumos de carregamentos médios de veículos-tipo de quarenta toneladas de empresas de transporte de carga autônomas de diversas faixas de anos. Através

desta tabela, foi elaborada uma média ponderada, que por sua vez foi utilizada para estimar o consumo médio de diesel.

Tabela 16 - Estabelecimento do consumo médio

Idade dos veículos	Consumo (km/l)	% da frota	Média ponderada
Até 1 ano	3,2	0,44	1,408
2 a 5 anos	3,2	29,82	95,424
6 a 10 anos	3,2	26,21	83,872
11 a 15 anos	2,94	16,28	47,8632
16 a 20 anos	2,85	8,58	24,453
21 a 25 anos	2,7	6,92	18,684
26 a 30 anos	2,43	5,88	14,2884
> 30 anos	2,1	5,87	12,327
			2,983196
			km/l
			0,335
			l/km

Existem certas limitações perceptíveis na generalização. Os dados são relativos a empresas autônomas de carga para todo o Brasil enquanto este trabalho é somente referenciado na RMSP. O número de viagens é calculado utilizando-se um caminhão tipo de 18m³, o mais comum utilizado para transporte de agregados, no entanto, existem uma diversa gama de veículos que são utilizados, inclusive compradores em veículos individuais, no entanto considerou-se que esta quantia é pouco relevante e foi adotado uma média de viagens por dia baseado em um veículo-tipo. O modelo considera também uma capacidade média de carregamento.

Conforme COYLE (2007) um fator muito importante a ser considerado é a fração da carga paga máxima transportada, ou seja, o consumo varia com a carga do caminhão. Como se observa na *Tabela 17*, o consumo varia não linearmente conforme a carga. Um veículo 8x4 de 32 toneladas descarregado consome 0,23 litros por quilometro rodado, enquanto que totalmente carregado, consome 0,45 litros por quilometro. Caso considere-se uma viagem de ida carregado e uma viagem de retorno vazia, tem-se 0,34 litros por quilometro. No trabalho, a idade dos veículos

não é especificada, no entanto é apenas ligeiramente superior à média da frota brasileira obtida em CRUVINEL et. al. (2008) de 0,335 litros por quilometro.

Tabela 17 - Consumo de diesel de veículos de 30 toneladas 8x4 (Coyle, 2007)

Condição	l/(t*km)	l/km
11,7 t (descarregado)	0,020	0,23
18,5 t brutas	0,016	0,30
25,2 t brutas	0,015	0,38
32 t brutas	0,014	0,45

Para a mineração, a distância média percorrida para o transporte é de 40km, informação esta fornecida por uma empresa entrevistada. As usinas fixas são inicialmente estimadas para uma distância intermediária de 30 km. Dada a mobilidade da usina móvel, a distância utilizada no modelo é de 20 km até o destino final, informação fornecida pela empresa de reciclagem entrevistada. É importante mencionar que esta é uma alternativa em que o agregado é vendido e não utilizado na própria obra. Se fosse esse o caso, as distâncias seriam muito pequenas. Não foi contabilizado o consumo de diesel para mobilização do equipamento móvel, principalmente por ser um consumo irrelevante.

Uma observação importante a ser feita é que as distâncias são um parâmetro de entrada no modelo, assim como a produção, portanto são variáveis conforme os dados obtidos, como a distância média ou máxima.

4.3.2.3. CONVERSÃO

Depois de mensurado o consumo energético dado pelo consumo de diesel e de energia elétrica de cada equipamento, para encontrar o valor da emissão de CO₂ respectiva, multiplica-se o consumo encontrado pelo fator de conversão adotado. Como se deseja um indicador em função da quantidade de agregado produzido (tonelada), divide-se o valor pela produtividade, conforme fórmula a seguir:

$$E_{unit\ est} = \sum_0^n C_n . Fc . \frac{1}{P} = \frac{CO_2\ (kg)}{t\ produzido}$$

Equação 7

Onde:

Eunit est: Emissão unitária estacionária de CO₂ (kg/t);

Cn: Consumo de diesel/energia diário do equipamento *n* (l/dia ou kW/dia);

Fc=fator de conversão(CO₂/l ou CO₂/kW);

P: produção diária de agregados (t/dia);

n= cada equipamento.

O fator de conversão para emissões estacionárias utilizado foi o do IPEA (2011), que soma as emissões na combustão do diesel com as emissões para a sua produção e distribuição²⁷. O fator de emissão médio para a combustão é de 2,68 kg de CO₂ /litro de diesel. O valor médio da emissão para produzir e distribuir o combustível é de 0,5 kg de CO₂ kg CO₂/litro de diesel. Assim, a taxa final de emissão é em torno de 3,2 kg de CO₂/l de diesel.

O fator para conversão de energia elétrica em CO₂ utilizado também foi o do IPEA (2011), feito com base na matriz energética brasileira. O valor adotado é de 87 g de CO₂/ kWh.

A emissão por litros de diesel ou kWh independe da fonte uma vez que se considerou a queima completa do diesel ou conexão elétrica com o SIN para todas as fontes. Caso equipamentos elétricos sejam conectados a geradores, a contabilização será da emissão do gerador e não da energia elétrica gerada.

4.4. DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE

4.4.1.1. PONTOS DE PRODUÇÃO

Os pontos de produção levantados foram os relativos à mineração de areia e rocha (portos de areia e pedreiras, respectivamente), bem como às unidades fixas de reciclagem e o sistema de disposição de RCD. A área de abrangência do estudo foi a RMSP e o Vale do Paraíba, importante fornecedor de areia.

O recurso utilizado para elaboração dos mapas foi o software Google Earth, que além de fornecer imagens atuais (de 2012), possui um banco de imagens desde 2002, possibilitando a investigação da evolução de algumas minerações ao longo do tempo.

²⁷ Apesar de a metodologia adotada ter como base o GHG, seu fator de conversão não considera as emissões para produção e distribuição do diesel, de forma que se considerou o do IPEA mais completo.

A identificação das pedreiras foi feita com base em levantamento disponibilizado pelo Engenheiro Markus Rebmann, do LME /PCC/EP /USP, que serviu de ponto de partida para o estudo realizado. Os portos de areia foram encontrados inicialmente por buscas na internet por palavras-chave como: areia, Vale do Paraíba, porto de areia, extração e RMSP. Em seguida, buscou-se complementação dos dados através da lista de associados do Sindicato da Indústria de Mineração de Pedra Britada do Estado de São Paulo – SINDIPEDRAS²⁸, do Sindicato das Indústrias de Extração de Areia do Estado de São Paulo – SINDAREIA²⁹ e FARINA et al (1997), que cita os municípios extratores de areia.

A identificação das usinas fixas de reciclagem foi feita com base em informações da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON).

Realizado o levantamento, ressalta-se a dificuldade de identificação dos pontos de mineração pelos endereços disponibilizados, pois como vários se encontram em áreas rurais, muitas vezes o endereço não corresponde a um logradouro identificável pelo software utilizado, por exemplo: Sítio dos Dias, s/nº, correspondente à Pedreira Concremix S.A. No caso das usinas de reciclagem, não houve esse problema, dado que as mesmas se localizam em áreas urbanas.

Dado a impossibilidade de localizar geograficamente boa parte dos extratores, em especial os de areia, partiu-se para busca visual.

Iniciou-se a busca visual pela delimitação do perímetro a ser analisado. Considerou-se inicialmente áreas dos municípios da RMSP e do Vale do Paraíba porém, a partir das primeiras localizações de portos de areia e pedreiras, notou-se que havia áreas com concentração das mesmas, bem como outras onde não havia ponto algum de mineração. Dessa forma, o perímetro final a ser estudado excluiu áreas onde, após algum monitoramento, não foi identificada atividade de mineração, conforme *Figura 20*.

²⁸ Disponível em: http://www.sindipedras.org.br/pdf/Pedreiras_Associadas.pdf. Acesso em 2 de dezembro de 2012.

²⁹ Disponível em: <http://www.sindareia.com.br/>. Acesso em 2 de dezembro de 2012.

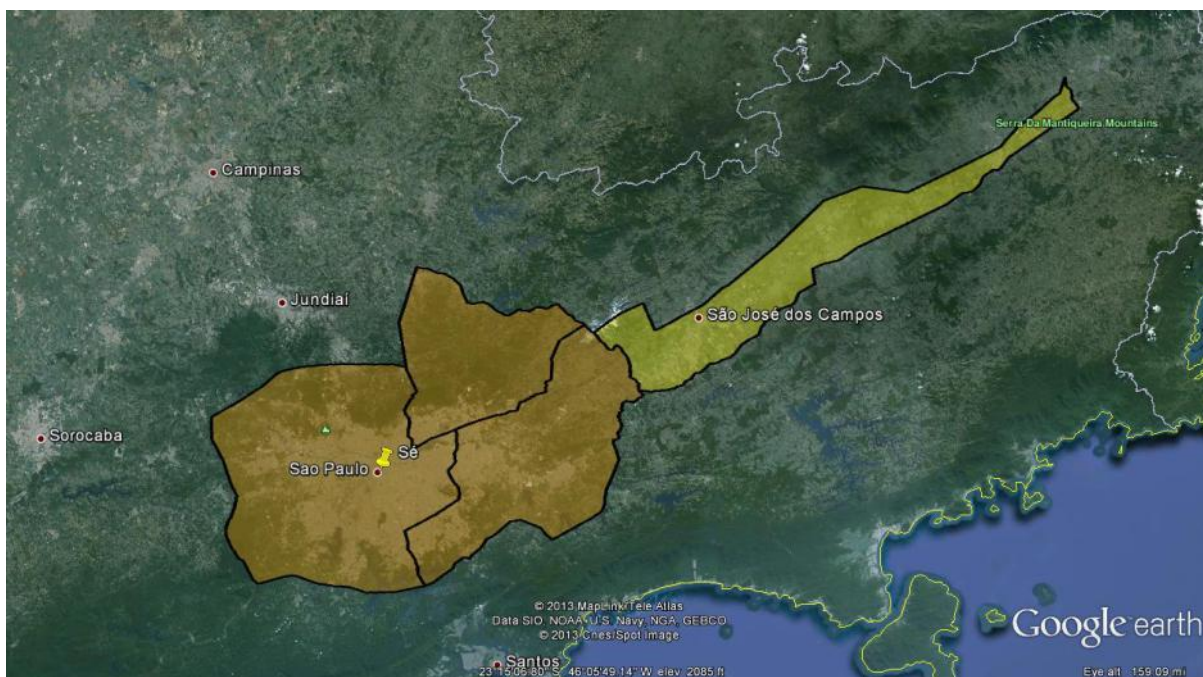


Figura 20 - Perímetro de Busca Visual
Imagem: Google Earth.

O primeiro aspecto observado para a identificação é o tamanho das minerações, proporcionalmente grande em relação aos lotes urbanizados (ou mesmo rurais) o que as tornam facilmente identificáveis, conforme se observa na *Figura 21* e na *Figura 22*.

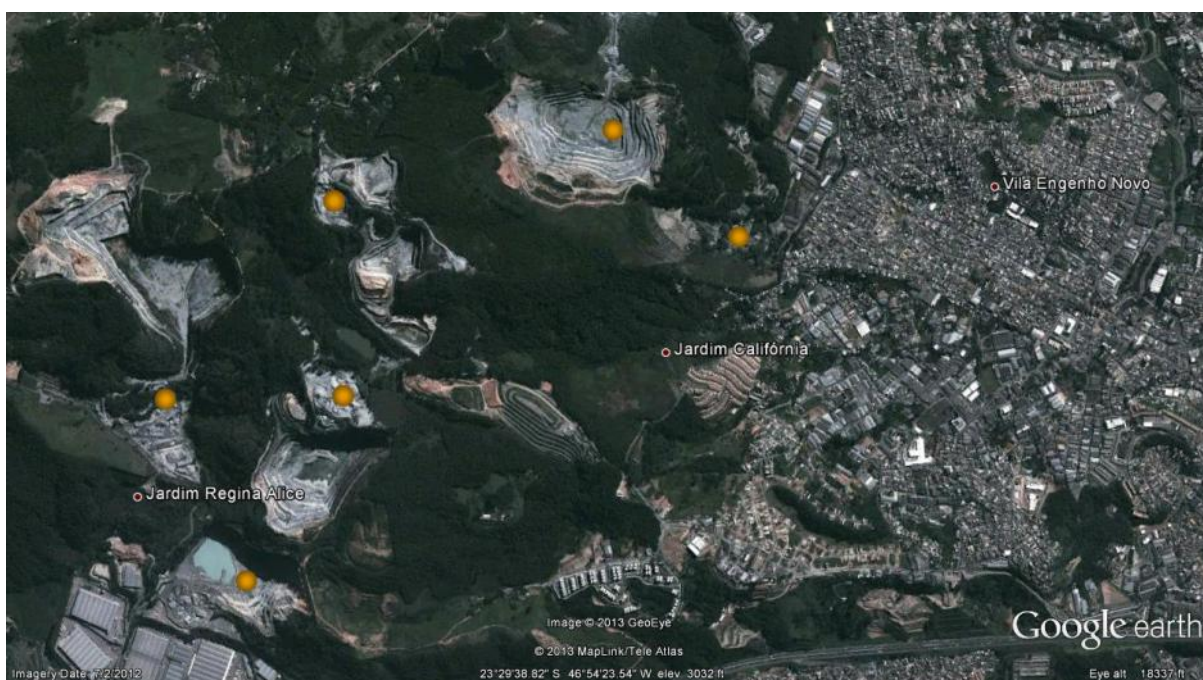


Figura 21 - Pedreiras e seu entorno
Imagem: Google Earth.



Figura 22 - Portos de areia e seu entorno
 Imagem: Google Earth.

Ainda, para a identificação de uma pedreira, observaram-se aspectos como coloração típica cinzenta, presença de equipamentos de britagem e principalmente, escavação em rocha, conforme *Figura 23* e *Figura 24*.



Figura 23 - Cor da água e equipamentos de britagem.
 Imagem: Google Earth.



Figura 24 - Escavação em rocha.
Imagem: Google Earth.

Para a identificação de extração de areia no Vale do Paraíba, observaram-se aspectos como proximidade de corpos d'água, coloração da água e morfologia da área, conforme *Figura 25*.



Figura 25 - Tipologias de Extração de Areia.
Imagem: Google Earth

Outra dificuldade, essa na busca visual, é identificar se a extração corresponde a areia, objeto de interesse desse trabalho, ou se é de outro minério, como o caso do calcário, conforme *Figura 26*. Além dos critérios apresentados é possível verificar a pertinência dos dados através de pesquisa de endereços pela internet e comprovar a informação.



Figura 26 - Extração de calcário (Mineradora Pagliato), à esquerda; e de areia (Itaquareia), à direita. Imagem: Google Earth.

A identificação das usinas de reciclagem e da estrutura de disposição de RCD ocorreu sem maiores dificuldades, através da inserção de seus logradouros no software Google.

4.4.1.2. DISTANCIAMENTO ENTRE PRODUÇÃO E CONSUMO

4.4.1.2.1. PONTOS CENTRAIS DE CONSUMO

Embora todas as empresas entrevistadas tenham fornecido valores médios de distância de distribuição de produtos na RMSP, essa informação é muito dependente do local da planta, de produtos fornecidos, época do ano, parcerias comerciais e diversas outras fatores que impedem uma generalização para a distância média global de distribuição.

Os dados publicados referentes à distância de transporte de agregados reciclados são escassos e, caso existam, são particulares e confidenciais.

Para se obter um dado que estime uma distância média praticada pelo setor de agregados naturais e reciclados na RMSP é necessário levantar uma amostra representativa de pontos de produção e conectá-los com uma amostra de pontos de consumo, considerando-se ainda a rede de intermediários.

Este problema é de elevada complexidade, portanto para poder comparar o afastamento dos pontos de mineração e reciclagem em relação aos pontos de consumo necessitou-se de algumas etapas de simplificação. A primeira consistiu na suposição de que a demanda consumidora de agregados na RMSP pode ser representada por único ponto. Essa suposição não é a ideal, mas considerou-se que seja a melhor possível porque, por meio dos estudos de caso, entende-se que as empresas não limitam sua atuação a uma dada distância, a um dado raio de atendimento. As vendas são realizadas conforme estratégias de negócios, de forma que uma pedreira a extremo oeste chega a distribuir seus produtos a extremo leste, se julgar que é uma oportunidade de negócio interessante e o preço do frete seja compensado pelos benefícios do produto.

Na busca de um ponto representativo da demanda, existe uma gama de critérios possíveis de serem adotados. Por exemplo, mapear os distritos em função da quantidade de lançamentos imobiliários e estabelecer um ponto central que levasse isso em consideração; ou estabelecer um ponto em função da densidade populacional, etc. Dada a infinidade de pontos que poderiam ser adotados, é difícil avaliar qual parametrização é melhor ou mais válida que outra. Como o intuito é comparar de alguma forma o distanciamento da mineração e da reciclagem, optou-se por estabelecer um ponto central representativo da demanda.

Após cogitar algumas alternativas de pontos, considerou-se que aquele que melhor retratava a situação de um ponto médio de distâncias de transportes seria o centro geométrico da mancha urbana da RMSP (CG RMSP), conforme *Figura 27*.

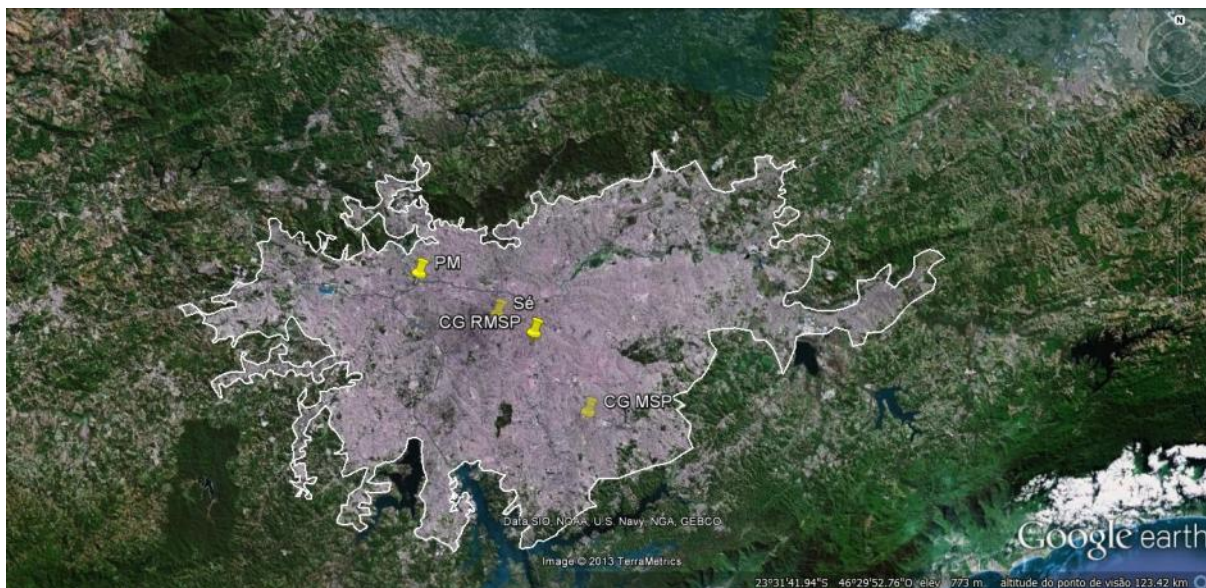


Figura 27 – Área urbanizada da RMSP, com os pontos representativos estudados: Sé, CG MSP, CG RMSP e um ponto na Marginal Tietê.

4.4.1.2.2. ESTABELECIMENTO DAS DISTÂNCIAS

O mapeamento e os estudos realizados buscam um entendimento, ainda que esquemático, da estrutura de produção e transporte dos agregados na RMSP. Assim, identificados os pontos de produção (mineração e reciclagem) e de consumo (pontos representativos da demanda), encontrou-se a distância em linha reta (euclidiana) entre ambos, para cada caso. Essa distância não represente uma viagem real, porém ela certamente representa uma viagem tipo, no sentido de ser um trajeto médio dentre as distâncias percorridas por cada mineração/ usina de reciclagem até seus clientes.

Em relação aos impactos ambientais decorrentes da distância, uma limitação relevante do método adotado é que não se realizou uma ponderação entre as distâncias e a quantidade produzida por cada unidade. Por exemplo, sabe-se que uma pedreira maior causa mais impactos relacionados ao transporte do que uma que produz em menor escala, entretanto, como não há forma de obtenção das produtividades de todas as pedreiras e usinas da RMSP, optou-se por simplificar o modelo, atribuindo pesos semelhantes para cada unidade.

Assim, através do Google Earth, ligou-se cada pedreira e usina fixa ao ponto representativo, obtendo-se suas distâncias, conforme *Figura 28* e *Figura 29*.

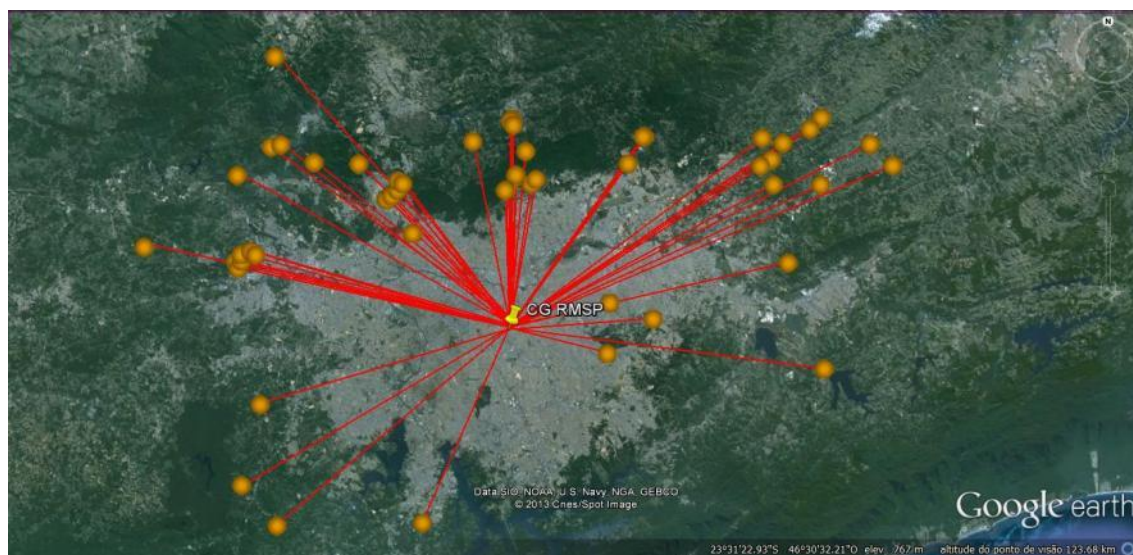


Figura 28 - Distância das pedreiras até CG RMSP.

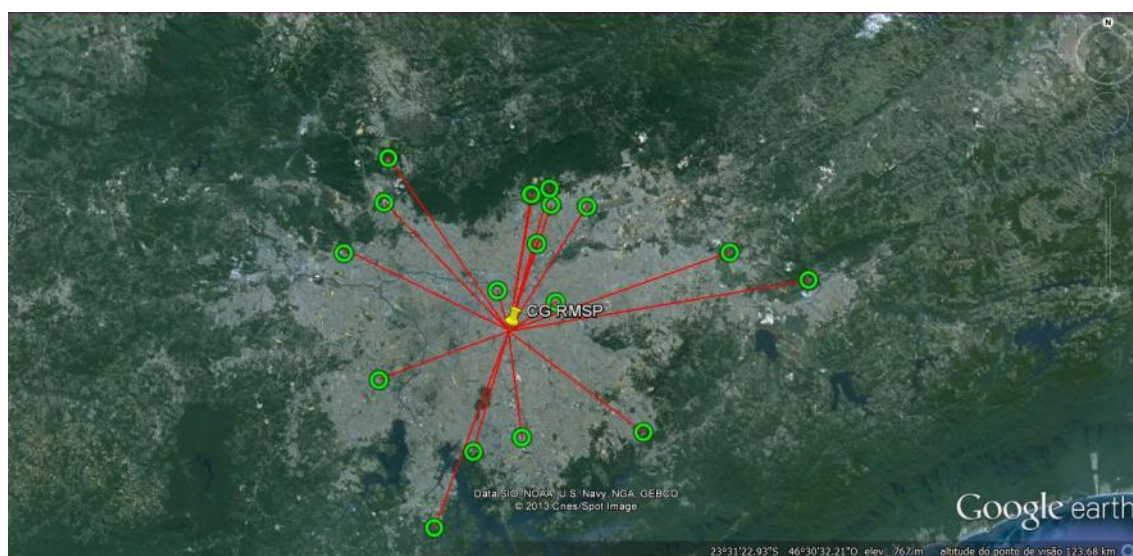


Figura 29 - Distância da usinas fixas até CG RMSP.

Como o objetivo dessa metodologia foi tornar comparável as atividades de mineração e reciclagem, após o estabelecimento de cada distância, os dados foram tabulados e analisados entre si.

Encontrou-se a distância média de cada categoria (pedreira e usinas de reciclagem) pela soma das distâncias unitárias (de cada unidade produtora) dividido pelo número de unidades de cada categoria, conforme Equação 8.

$$Dist\ média_{categoria} = \frac{\sum dist\ unit}{n^o\ unidades}$$

Equação 8

Realizou-se também uma estimativa das distâncias percorridas, visto que até então se trabalhou com a distância em linha reta (euclidiana). Para tal, adotou-se o fator de circuito de NOVAES (2004), que é utilizado em logística para converter distâncias euclidianas em distâncias percorridas no traçado viário. O fator de circuito (FC) é um coeficiente de valor sempre maior ou igual a 1, que multiplica a distância euclidiana, majorando-a e assim estimando a distância percorrida, conforme *Figura 30*. Conforme NETO (2010), o FC depende das condições de tráfego das vias, da geografia, da urbanização, etc., variando de uma cidade para outra. NOVAES (2004) estabeleceu um valor médio para o FC, que varia entre 1,30 e 1,35 e é usado quando não se dispõe das informações mencionadas por NETO (2010).

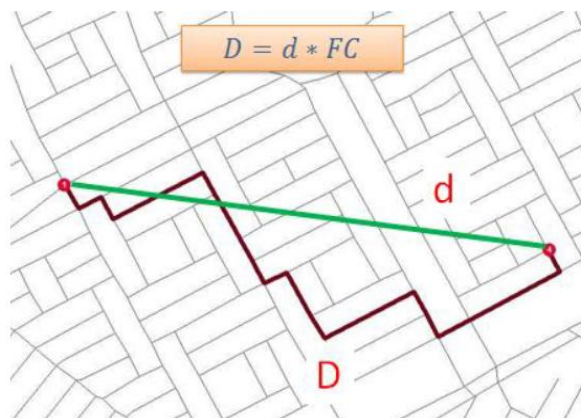


Figura 30 - Diagramação da distância euclidiana e distância em rede, ajustada pelo fator de circuito FC. Fonte: NETO, 2010.

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISE DE QUALIDADE DO INVESTIMENTO

5.1.1. RESUMO DOS DADOS

5.1.1.1. USINA FIXA

Os custos para implantação e operação de uma usina de reciclagem de RCD fixa estão apresentados na Tabela 18 e na Tabela 19.

Tabela 18- Resumo dos dados da usina fixa.

Terreno	R\$ 5.000.000,00
Área Total	5.000 m ²
Custo de Aquisição (por m ²)	R\$ 1.000,00 R\$/m ²
Custo de Aquisição (total)	R\$ 5.000.000,00 (total)
Custo de Locação (por m ²)	R\$ 8,00 R\$/m ²
Custo de Locação Mensal (total)	R\$ 40.000,00 (total)
Obras Civas	R\$ 57.800,00
Área de Construção	100 m ²
Custo de Construção (por m ²)	R\$ 578,00
Custo de Construção (total)	R\$ 57.800,00
Planta Industrial	R\$ 1.500.000,00
Equipamentos & Maquinário (70t/h)	R\$ 800.000,00
Alimentador	R\$ 200.000,00
Britadores	R\$ 400.000,00
Peneiras	R\$ 100.000,00
Correias transportadoras	R\$ 100.000,00
Lavadores	R\$ -
Veículos	R\$ 700.000,00
Pás carregadeiras (x2) New Holland 13C	R\$ 700.000,00
Custo de Implantação	R\$ 1.557.800,00

Tabela 19 – Continuação, dados da usina fixa.

Despesas Operacionais (mensal)	R\$	131.370,00
Recursos humanos	R\$	62.370,00
Salários	R\$	27.000,00
Taxa de encargos		2,31
Encargos/benefícios	R\$	35.370,00
Equipamentos, maquinário e veículos	R\$	12.000,00
Manutenção	R\$	12.000,00
Terreno e edifícios	R\$	40.000,00
Aluguel	R\$	40.000,00
Utilidades & Combustível	R\$	17.000,00
Eletricidade	R\$	10.000,00
Água	R\$	2.000,00
Diesel	R\$	5.000,00
Despesas administrativas	R\$	500,00
Comunicação, material de consumo, vigilância, etc.	R\$	500,00
Receita Total	R\$	261.428,57
Recebimento de entulho	R\$	51.428,57
Valor unitário de recebimento de entulho	R\$	6,00 R\$/m³
Coeficiente de aproveitamento de entulho		0,70
Quantidade recebida por dia (m³)		429 m³
Quantidade recebida por mês(m³)		8.571 m³
Limite diário de RCD		1.500 m³
Total recebido	R\$	51.428,57
Venda de agregados	R\$	210.000,00
Valor unitário de venda	R\$	35,00 R\$/m³
Quantidade vendida por dia inicial (m³)		300 m³
Quantidade vendida por dia final (m³)		360 m³
Tempo de ciclo		20 anos
Quantidade (m³)		6.000 m³
Total vendido	R\$	210.000,00
Receita Bruta	R\$	261.428,57

5.1.1.2. USINA MÓVEL

Seguem, na *Tabela 20* e na *Tabela 21* os valores obtidos para a instalação e operação de uma usina móvel.

Tabela 20 – Resumo de dados da usina móvel

Terreno	R\$ 5.000.000,00
Área Total	350 m ²
Custo de Aquisição (por m ²)	R\$ 1.000,00 R\$/m ²
Custo de Aquisição (total)	R\$ 350.000,00 (total)
Custo de Locação (por m ²)	R\$ 8,00 R\$/m ²
Custo de Locação Mensal (total)	R\$ 280.000,00 (total)
Obras Cíveis	R\$ 57.800,00
Área de Construção	100 m ²
Custo de Construção (por m ²)	R\$ 578,00
Custo de Construção (total)	R\$ 57.800,00
Planta Industrial	R\$ 600.000,00
Equipamentos & Maquinário (70t/h)	R\$ 600.000,00
Alimentador	
Britadores	R\$ 400.000,00
Peneiras	R\$ 100.000,00
Correias transportadoras	R\$ 100.000,00
Lavadores	R\$ -
Veículos	R\$ -
Pás carregadeiras (x2) New Holland 13C	R\$ -
Custo de Implantação	R\$ 1.007.800,00

Tabela 21 – Continuação, Resumo de dados da usina móvel

Despesas Operacionais (mensal)	R\$	80.850,00
Recursos humanos	R\$	80.850,00
Salários	R\$	35.000,00
Taxa de encargos		2,31
Encargos/benefícios	R\$	45.850,00
Equipamentos, maquinário e veículos	R\$	3.800,00
Manutenção	R\$	3.800,00
Terreno e edifícios	R\$	2.800,00
Aluguel	R\$	2.800,00
Despesas administrativas	R\$	500,00
Comunicação, material de consumo, vigilância, etc.	R\$	500,00
Despesas Conexas com Vendas (mensal)	R\$	78.000,00
Frete	R\$	78.000,00
Distância praticada		20,00 Km
Frete	R\$	0,65 R\$/Km.m³
Receita Total	R\$	262.285,71
Recebimento de entulho	R\$	154.285,71
Valor unitário de recebimento de entulho	R\$	18,00 R\$/m³
Coeficiente de aproveitamento de entulho		0,70
Quantidade recebida por dia (m³)		429 m³
Quantidade recebida por mês(m³)		8.571 m³
Limite diário de RCD		1.500 m³
Total recebido	R\$	154.285,71
Venda de agregados	R\$	108.000,00
Valor unitário de venda	R\$	18,00 R\$/m³
Quantidade vendida por dia inicial (m³)		300 m³
Quantidade vendida por dia final (m³)		360 m³
Tempo de ciclo		20 anos
Quantidade (m³)		6.000 m³
Total vendido	R\$	108.000,00
Receita Bruta	R\$	262.285,71

Índices utilizados no cálculo dos resultados

Anual

INCC	7,09% a.a.
IGP	6,00% a.a.

5.1.2. ANÁLISES PRELIMINARES DETERMINÍSTICAS

Para analisar a qualidade do investimento, primeiro foi feito um estudo da variação da TIR20 (Taxa Interna de Retorno para 20 anos de operação da usina) em função da variação do preço de venda do agregado reciclado e da variação da demanda, cujo valor é considerado no modelo como a quantidade de agregados vendidos.

5.1.2.1. TIR20 X Variação do Preço

Obteve-se o valor da TIR20 em função do preço do agregado, com demanda fixa, no caso de terreno comprado (*Tabela 22*) e terreno alugado (*Tabela 23*):

Tabela 22 – Resultados de TIR para variação de preço com terreno comprado.

R\$/m³ Agregado Reciclado	TIR 20 (%)
30	23,1
32	25,3
34	27,3
36	29,4
38	31,5
40	33,6

Tabela 23- Resultados de TIR para variação de preço com terreno alugado.

R\$/m³ Agregado Reciclado	TIR 20 (%)
30	165
32	201
34	236
36	273
38	309
40	346

As tabelas acima mostram que, comprando-se o terreno, um aumento da ordem de 5% no preço altera a TIR numa média de 7,7%, ou seja, uma alteração no preço representa quase que uma alteração direta na TIR. Já no caso de locação do terreno, essa alteração é maior, chegando a uma média de 16%. A diferença entre os dois cenários ocorre devido a grande diferença no investimento inicial. Para o caso da compra do terreno, trabalhou-se considerando um cenário conservador, sem

incluir o valor de revenda do terreno nas receitas da usina. Optou-se por considerar a venda do terreno em função de especulação imobiliária como uma decisão a parte feita pelo investidor, fora do escopo da usina.

5.1.2.2. TIR20 X Variação da Demanda

O mesmo estudo foi feito para uma variação do valor de demanda, com terreno comprado (*Tabela 24*) e terreno alugado (*Tabela 25*). Quando:

Tabela 24 – Resultados de TIR para variação da demanda com terreno comprado.

R\$/m ³ Agregado Reciclado	TIR 20 (%)
270	26,3
284	28,7
299	31,2
314	33,8
330	36,5

Tabela 25 – Resultados de TIR para variação da demanda com terreno alugado.

R\$/m ³ Agregado Reciclado	TIR 20 (%)
270	250
284	292
299	336
314	381
330	429

Podemos ver que a demanda afeta a TIR de uma maneira bastante parecida com o preço. Aumentos de 5% na demanda levam a, respectivamente, um aumento de 8% e de 15% na TIR20 dos cenários compra e locação do terreno. Assim, espera-se que probabilisticamente seus efeitos sejam também parecidos.

Estes resultados mostram como o estudo do preço do agregado e da demanda são importantes dentro do modelo. Há de se considerar, entretanto, que para que o agregado reciclado seja competitivo com o natural, seu preço final deve ser inferior ao dos agregados naturais. Essa diferença de preço é necessária, pois

conforme os estudos de caso, o meio pelo qual os agregados reciclados se viabilizaram foi o menor preço para o consumidor final.

5.1.3. ANÁLISES PROBABILÍSTICAS

Após esse estudo preliminar, iniciou-se a análise probabilística da qualidade do investimento, valendo-se do método de Monte Carlo para aleatoriedade das variáveis “preço de agregado reciclado” e “demanda”, sempre se trabalhando em duas frentes: cenário de compra do terreno e cenário de locação. Primeiro considerou-se um cenário em que o frete é discriminado do preço, como foi verificado na pesquisa com usinas reais operantes. Ou seja, é fornecido para o cliente, quando solicitado orçamento, o preço final onde são discriminados o preço do agregado e do frete de acordo com a localidade de entrega. O preço do agregado reciclado nesta análise varia de R\$35,00 a R\$40,00, permanecendo sempre a abaixo do preço do agregado natural base, que é R\$ 50,00.

Valendo-se da premissa que o frete do agregado reciclado é menor devido à proximidade da usina com o destino final acredita-se que o valor de demanda estimado vai se concretizar; o cliente não compra o agregado reciclado se este não possuir as propriedades técnicas para sua finalidade e não por questões financeiras.

5.1.3.1. TERRENO COMPRADO

5.1.3.1.1. CENÁRIO COM FINANCIAMENTO

Variação da TIR20 X Variação Aleatória do Preço do Agregado

Quando o investidor opta por comprar o terreno, valendo-se da segurança de não precisar mobilizar o equipamento instalado, o valor dos equipamentos é bastante elevado e comprando o terreno não há o risco de acabar o contrato de locação e haver a necessidade de mover a planta para outro lugar. Além disso, o próprio terreno tem seu valor, sendo por si só um investimento que depende da especulação imobiliária na área em que se localiza.

Assim, considerando-se a compra do terreno e o financiamento de uma parte do investimento (conforme descrito na metodologia), chega-se aos resultados da

Tabela 26, ilustrados no gráfico da Figura 31, variando o preço aleatoriamente de R\$30,00 à R\$40,00.

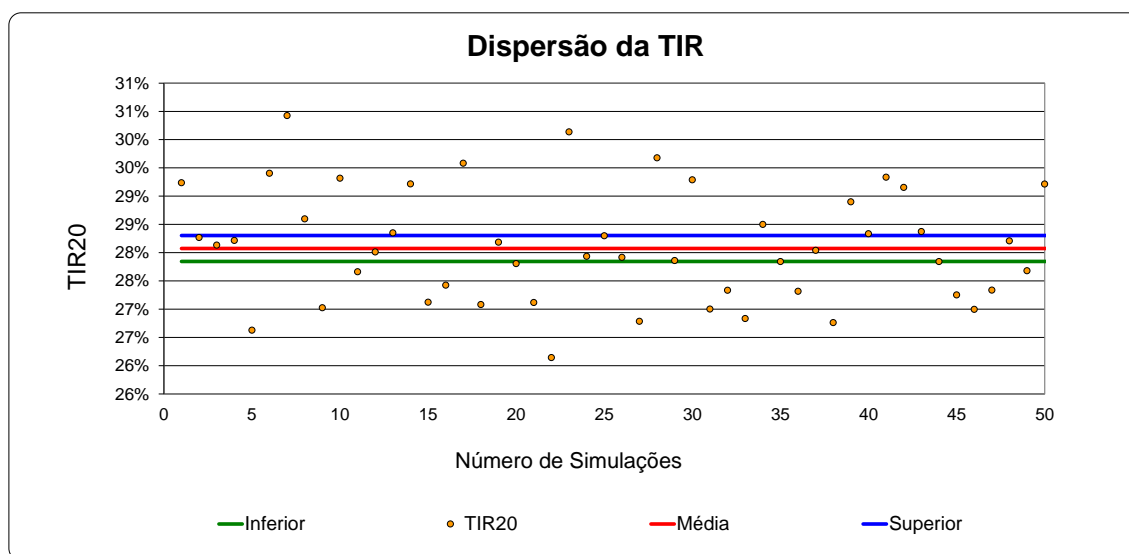


Figura 31- Gráfico de dispersão da TIR para variação de preço.

Tabela 26 – Resultados para variação do preço.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	28%
TIR10 Média	25%
TIR5 Média	10%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	34,7 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	6,5 milhões
Financiamento (R\$)	677mil
Payback Primário Médio (anos)	4,5

É possível notar pelo gráfico que a dispersão dos dados é bem pequena, portanto, os limites inferior e superior estão bastante próximas da média, o que quer dizer que a confiabilidade de se alcançar uma TIR20 de 28% é bem grande.

Outro importante resultado é a TIR5 (Taxa Interna de Retorno para usina em operação a cinco anos) de 10%, ou seja, em cinco anos ainda não se tem uma TIR maior do que a taxa de atratividade, adotada de 12%.

Por fim, é importante notar que apesar do resultado operacional disponível ser bem grande, 34,7 milhões de reais após 20 anos, o investimento inicial também é,

uma vez que dos 6,5 milhões de reais necessários apenas 677mil reais são financiáveis pelo financiamento adotado do BNDES.

Variação da TIR20 X Variação Aleatória da Demanda

Variando agora apenas a demanda de 250m³ à 330m³, chega-se aos resultados da *Tabela 27*, ilustrados no gráfico da *Figura 32*:

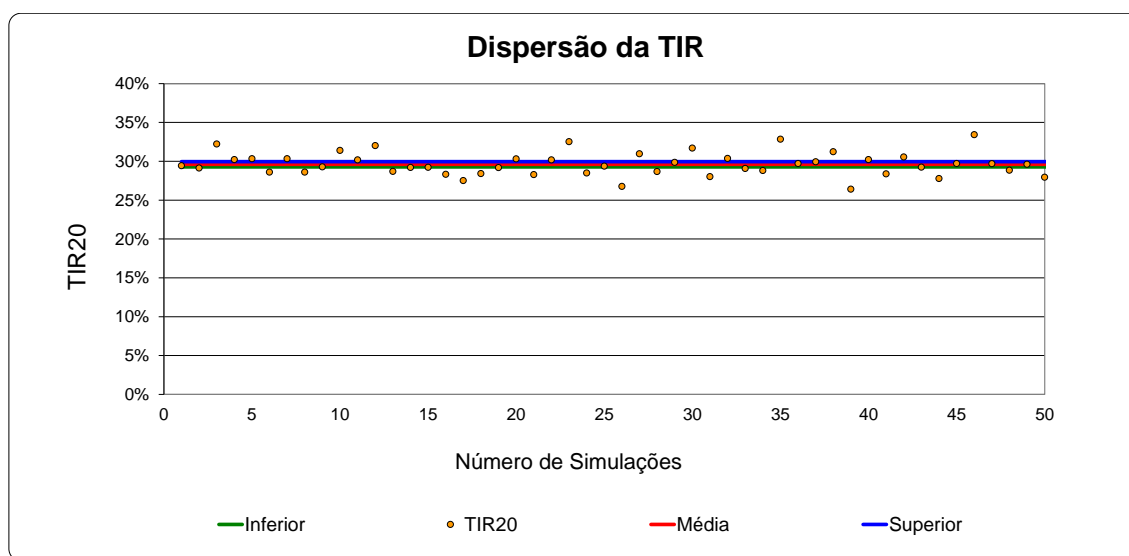


Figura 32-Gráfico de dispersão da TIR para variação da demanda.

Tabela 27- Resultados para variação da demanda.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	29,50%
TIR10 Média	27%
TIR5 Média	13%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	31,5 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	6 milhões
Financiamento (R\$)	677mil
Payback Primário Médio (anos)	4

Com o preço fixo em R\$35,00 e variação da demanda tem-se uma TIR20 um pouco maior que caso anterior e de novo uma dispersão pequena. O resultado operacional disponível, no entanto, diminuiu, o que quer dizer que o investidor está recuperando seu dinheiro mais rápido, mas isso não reflete num resultado

operacional disponível maior. No entanto acarreta numa TIR5 maior do que a taxa de atratividade, ou seja, em 5 anos ele já ganha mais do que o seu piso em termos de retorno de investimento.

Comparando esses resultados com o caso anterior, em que variava-se o preço do agregado, pode-se deduzir que, considerando-se situações ideais, é mais importante manter o preço fixo em R\$35,00 do que manter uma demanda fixa de 270m³ do ponto de vista do retorno do investimento.

Variação da TIR20 X Variação Aleatória da Demanda e do Preço

Por último variou-se tanto o preço quanto a demanda. O resultado segue na *Tabela 28*, ilustrado no gráfico da *Figura 33*.

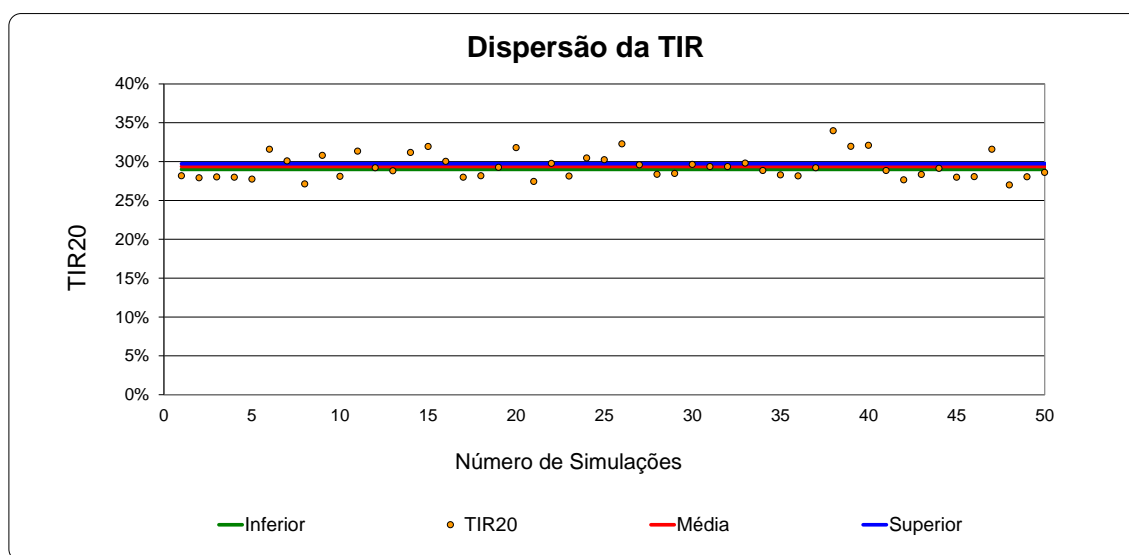


Figura 33- Gráfico de dispersão da TIR para variação da demanda e do preço.

Tabela 28- Resultados para variação do preço e da demanda.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	29,50%
TIR10 Média	26%
TIR5 Média	12%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	31,9 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	6 milhões
Financiamento (R\$)	677mil
Payback Primário Médio (anos)	4

Como os resultados, quando analisados separadamente, não eram muito diferentes, o conjunto mostra quase um equilíbrio entre os dois, pendendo um pouco para os resultados obtidos quando há variação apenas da demanda. A TIR20 é mais elevada no conjunto do que quando só se varia o preço do agregado reciclado e o mais importante é que a TIR5 alcançou a taxa de atratividade. Porém resultado operacional disponível é menor.

5.1.3.1.2. CENÁRIO SEM FINANCIAMENTO

Como não há grandes diferenças da análise das variações de preço e demanda separadamente para a análise em conjunto, para o caso sem financiamento, analisar-se-á apenas essa última configuração para o caso com financiamento.

Variação da TIR20 X Variação Aleatória da Demanda e do Preço

Assim, considerando que não seja adotado um financiamento, os resultados seguem na *Tabela 29*, ilustrados no gráfico da *Figura 34*:

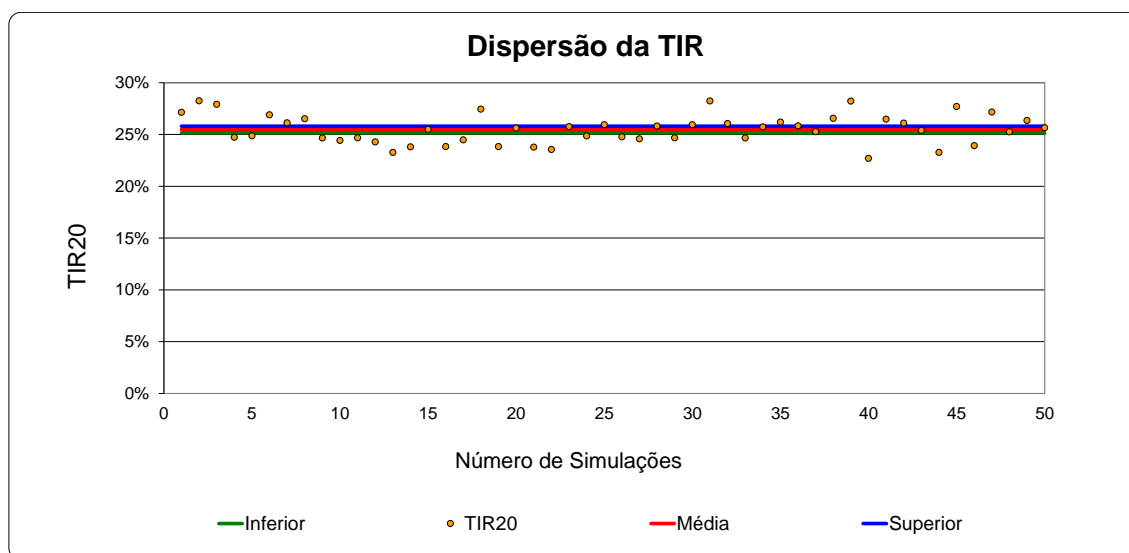


Figura 34- Gráfico de dispersão da TIR para variação do preço e da demanda.

Tabela 29- Resultados para variação do preço e da demanda.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	25,70%
TIR10 Média	22%
TIR5 Média	12%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	31,1 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	6 milhões
Payback Primário Médio (anos)	4

A opção pelo não financiamento se mostra pior do que com o financiamento tanto em termos de TIR quanto em termos de resultado operacional disponível. No entanto, enquanto há uma queda da taxa de retorno de 29,5% para 25,7%, ou seja, uma queda de 14%, o resultado operacional disponível cai apenas 2% o que significa que o investidor demora mais tempo para recuperar seu investimento, mas seu resultado operacional disponível final não é tão diferente.

5.1.3.2. TERRENO ALUGADO

Para a situação de locação do terreno o investimento inicial é drasticamente menor e ao mesmo tempo pode-se considerar uma certa insegurança, pois os equipamentos são caros e o contrato de aluguel pode ser interrompido, desamparando o investidor. Esse problema pode ser resolvido aumentando-se o tempo de duração do contrato e impondo uma alta multa para quebra de contrato e, mais importante, a locação do terreno significa uma maior flexibilidade do negócio como um todo, pois pode-se, por exemplo, depois de 10 anos mudar a localidade da usina caso haja esgotamento do mercado na primeira localização.

Seguindo a mesma ordem de análise do cenário de compra do terreno, variou-se primeiro apenas o preço com financiamento.

5.1.3.2.1. CENÁRIO COM FINANCIAMENTO

Variação da TIR20 X Variação Aleatória do Preço do Agregado

A variação dos resultados segundo a variação aleatória do preço segue na *Tabela 30*, ilustrado no gráfico da *Figura 35*.

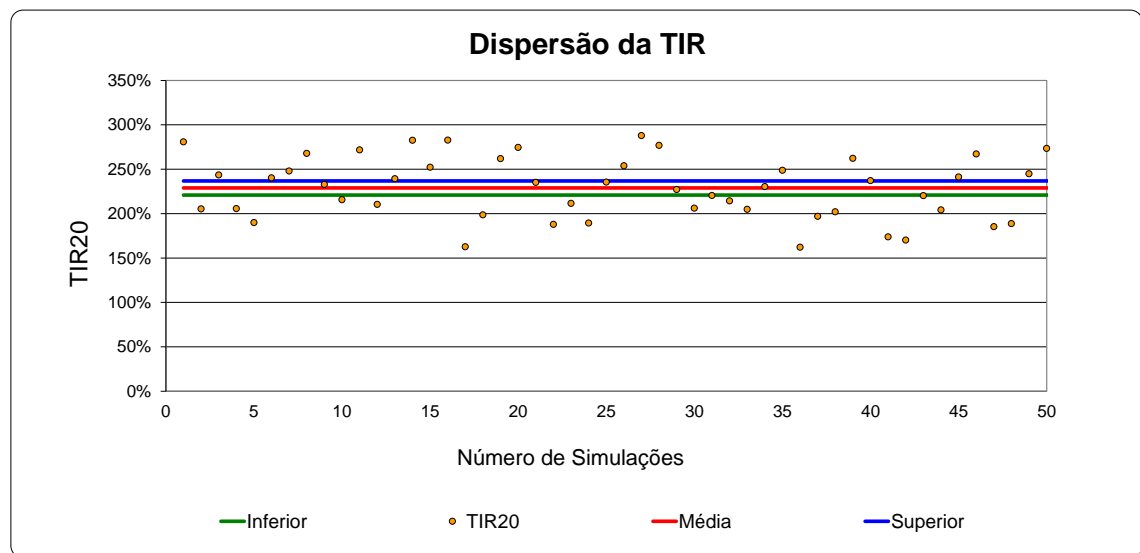


Figura 35- Gráfico de dispersão da TIR para variação preço.

Tabela 30- Resultados para variação do preço.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	227%
TIR10 Média	225%
TIR5 Média	225%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	30 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	1 milhões
Financiamento (R\$)	677mil
Payback Primário Médio (anos)	1

A dispersão da TIR20 é um pouco maior do que no cenário de compra, no entanto ainda é bastante pequena mostrando a confiança do resultado de 227%. Em contra partida, o resultado operacional disponível é aproximadamente 15% menor.

É fácil entender essas diferenças. A TIR é muito maior, uma vez que o investimento é 6 vezes menor e que mais da metade desse investimento é

financiado e o payback ocorre já no primeiro ano. Já o resultado operacional disponível é menor, ou seja, dentro do ciclo de operação de 20 anos, pagar aluguel todo o mês é mais oneroso ao investidor do que um investimento inicial alto.

Variação da TIR20 X Variação Aleatória da Demanda

Variando-se apenas a demanda têm-se os resultados da *Tabela 31*, ilustrados no gráfico da *Figura 36*:

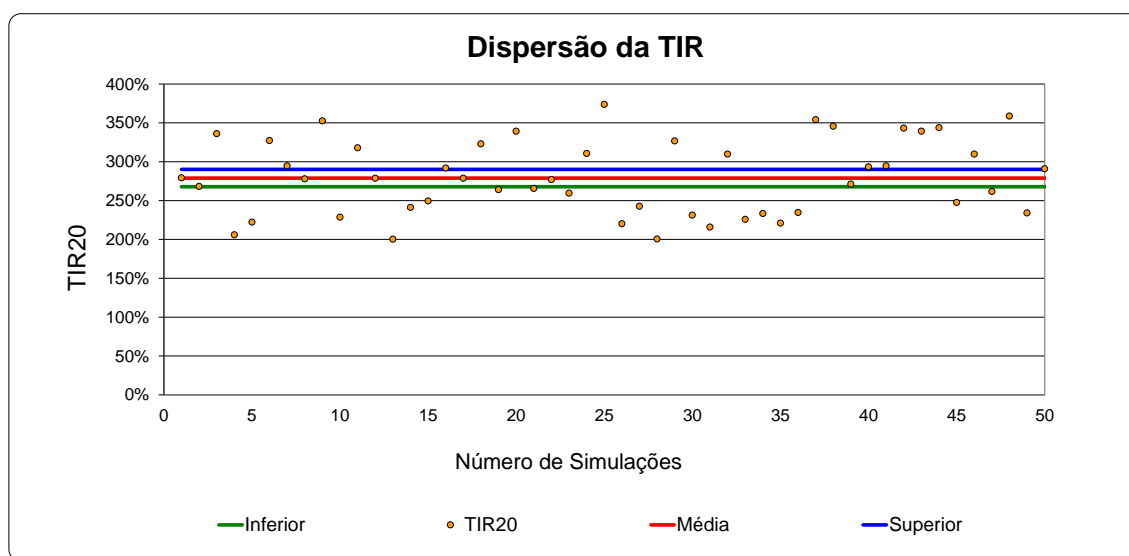


Figura 36- Gráfico de dispersão da TIR para variação da demanda.

Tabela 31- Resultados para variação da demanda.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	275%
TIR10 Média	272%
TIR5 Média	272%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	27 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	1 milhões
Financiamento (R\$)	677mil
Payback Primário Médio (anos)	1

Novamente pode-se notar que mantendo o preço constante e variando a demanda a taxa de retorno aumenta, mas o resultado operacional disponível médio diminui, da mesma forma que aconteceu com o cenário de compra.

Variação da TIR20 X Variação Aleatória da Demanda e do Preço

Já, variando-se tanto a demanda quanto o preço, obtém-se os resultados da Tabela 32, ilustrados no gráfico da Figura 37:

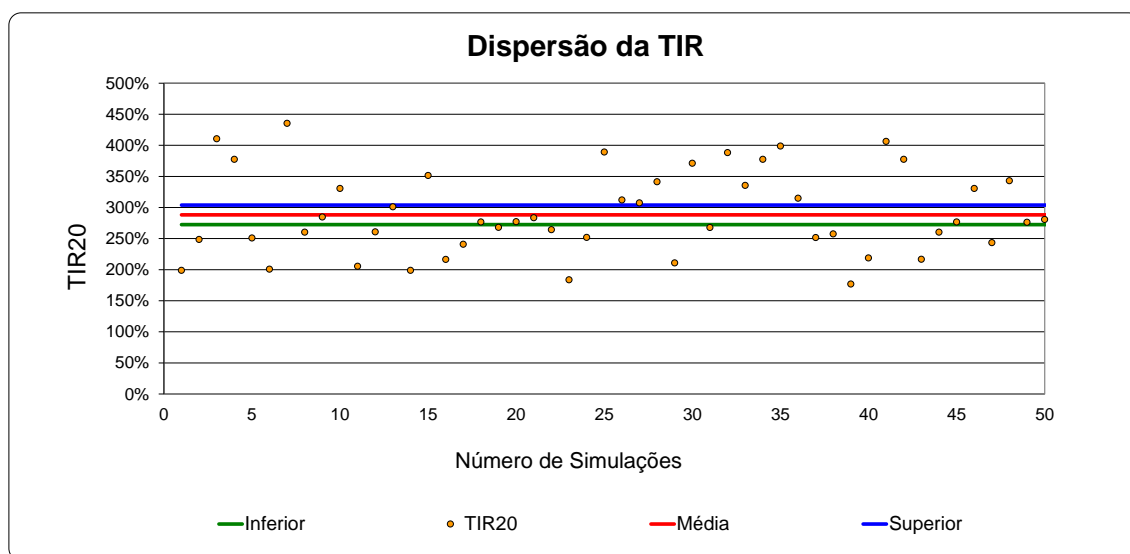


Figura 37- Gráfico de dispersão da TIR para variação do preço e da demanda.

Tabela 32- Resultados para variação do preço e da demanda.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	276%
TIR10 Média	268%
TIR5 Média	268%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	27 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	1 milhões
Financiamento (R\$)	677mil
Payback Primário Médio (anos)	1

Os resultados são praticamente iguais aos da variação da demanda, evidenciando que esta tem um peso maior.

5.1.3.2.2. CENÁRIO SEM FINANCIAMENTO

Variação da TIR20 X Variação Aleatória da Demanda e do Preço

Caso não houvesse financiamento, ter-se-ia os resultados apresentados na *Tabela 33*, ilustrados no gráfico da *Figura 38*:

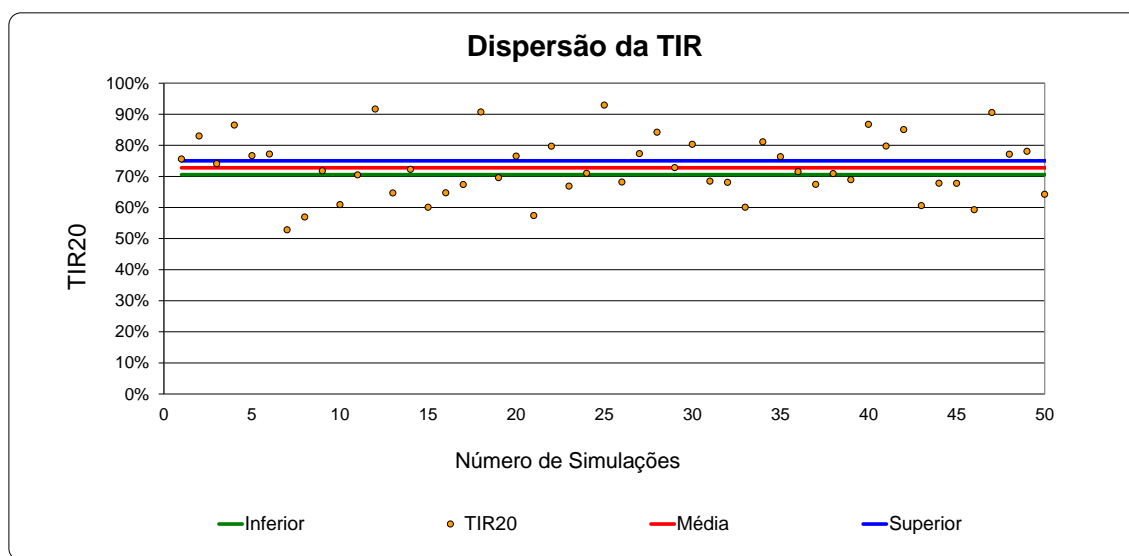


Figura 38- Gráfico de dispersão da TIR para variação do preço e da demanda.

Tabela 33- Resultados para variação do preço e da demanda.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	73%
TIR10 Média	70%
TIR5 Média	66%
Resultado operacional disponível Médio (R\$)	26 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	1 milhões
Payback Primário Médio (anos)	2

Assim, nota-se que no caso da locação o financiamento tem um efeito muito mais significativo no retorno do investimento. Isso se deve ao fato de que no cenário de locação o peso do financiamento em função do investimento inicial é muito maior. Enquanto na compra o financiamento representa 10% do investimento total, na locação ele representa 68%.

É importante observar também que apesar da taxa de retorno ser muito maior na locação devido ao menor investimento, o resultado operacional disponível é

menor. Como visto anteriormente isso se deve ao fato do aluguel ser mais oneroso ao investidor, dentro do período de 20 anos, do que o investimento inicial diminuindo seu resultado operacional disponível. Enquanto que o cálculo da TIR depende muito desse custo inicial, que é muito maior no cenário de compra, derrubando assim a TIR.

Outro ponto importante é o fato das TIR's de 5, 10 e 20 anos serem muito mais próximas no caso da locação do que no de compra. Isso ocorre porque a distribuição de custos é mais concentrada enquanto a de receita é distribuída quase igualmente durante todos os anos.

5.1.4. FRETE

É fácil perceber que o frete não altera diretamente a qualidade do investimento, uma vez que seu custo é passado inteiramente para o cliente, no entanto, a distância tem um papel fundamental no cenário dos agregados. Como as pedreiras produtoras de agregado natural estão cada vez mais afastadas dos centros consumidores, o diferencial das usinas de reciclagem pode ser justamente sua maior proximidade com esse centro. Não só a distância representa esse diferencial, como também quanto mais longe for possível chegar a preços competitivos, maior será o mercado consumidor atingido.

Assim, a partir de cotações feitas com pedreiras e usinas reais, foi feito um estudo para determinar as distâncias com as quais uma usina de agregados reciclados pode trabalhar.

De acordo com os dados das entrevistas, o preço de uma brita 2, natural, com o frete incluso é de R\$64/m³, assim, considerando esse como o preço limite que um consumidor aceitaria pagar, tem-se que os resultados da *Tabela 34*:

Tabela 34- Distância viável de entrega do agregado reciclado em função do preço.

Limite do Custo para o Cliente	Preço do Agregado Reciclado (R\$)	Distância Viável (km)
64	30,00	42,5
64	31,00	41,3
64	32,00	40,0
64	33,00	38,8
64	34,00	37,5
64	35,00	36,3
64	36,00	35,0
64	37,00	33,8
64	38,00	32,5
64	39,00	31,3
64	40,00	30,0
64	41,00	28,8
64	42,00	27,5
64	43,00	26,5
64	44,00	25,0
64	45,00	23,8

No entanto, como produtos reciclados ainda não são inteiramente aceitos no mercado, conservadoramente considera-se seu valor limite abaixo do preço de um agregado natural. Assim, impondo esse limite à R\$60,00, chega-se nos resultados da *Tabela 35* e, por fim, no gráfico da *Figura 39*:

Tabela 35- Distância viável de entrega do agregado reciclado em função do preço.

Limite do Custo para o Cliente	Preço do Agregado Reciclado (R\$)	Distância Viável (km)
60	30,00	37,5
60	31,00	36,3
60	32,00	35,0
60	33,00	33,8
60	34,00	32,5
60	35,00	31,3
60	36,00	30,0
60	37,00	28,8
60	38,00	27,5
60	39,00	26,3
60	40,00	25,0
60	41,00	23,8
60	42,00	22,5
60	43,00	21,3
60	44,00	20,0
60	45,00	18,8

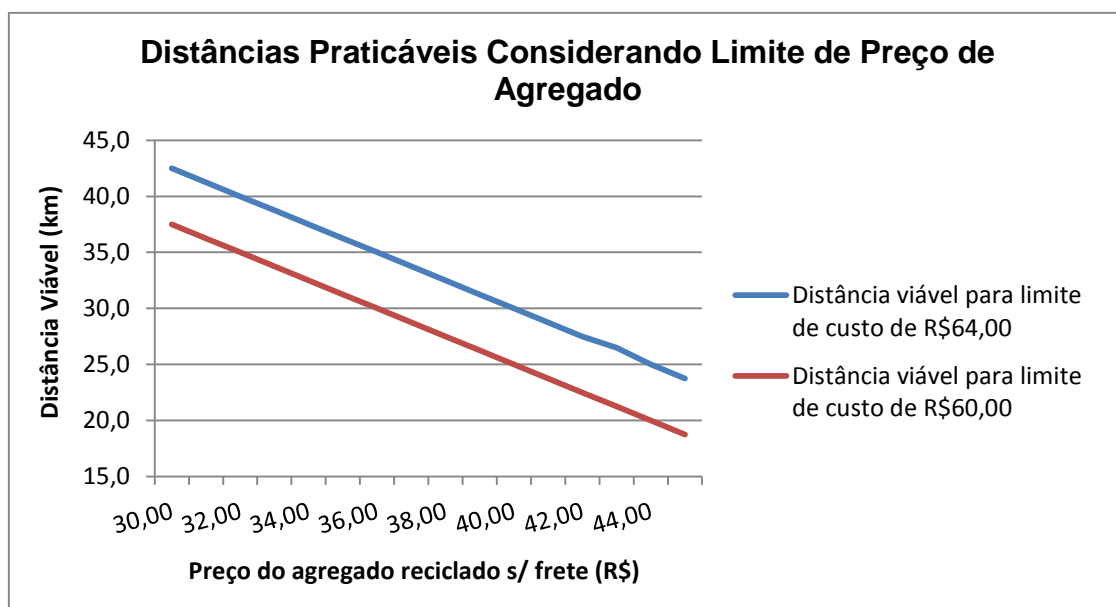


Figura 39 – Gráfico das distâncias praticáveis considerando o limite de preço de agregado reciclado

Ou seja, o agregado reciclado só se torna competitivo se estiver a uma distância de no máximo 37,50 km do consumidor.

5.1.5. USINA MÓVEL

No que se refere às usinas móveis, trabalhou-se em cima do caso da Recinert Ambientale, a partir dos dados obtidos por entrevista optou-se por fazer uma análise de caso mais específica.

Uma usina móvel tem um investimento inicial menor, pois não exige ampla área administrativa, apenas um escritório central e um local para armazenamento do equipamento quando este não estiver em uso. O equipamento comprado tem menor porte, além de não serem usados alimentadores nem pás carregadeiras. Usinas móveis também tem uma operação mais versátil, uma vez que não ficam restritas a um local, se movendo de acordo com a demanda.

Por prestarem um serviço no local, o preço de processamento do RCD é maior do que o de recebimento de RCD numa usina fixa, no entanto, o preço de venda é menor. Essa venda pode ser tanto para a construtora/demolidora que contratou a usina para processar o RCD como para um terceiro interessado, de forma que as distâncias praticadas nesse caso podem ser até mesmo zero.

Assim, para avaliar a viabilidade de uma usina móvel, optou-se por variar probabilisticamente a distância porque, segundo a Recinert, o preço de venda deles já inclui o frete, salvo exceções em que a distância seja muito grande.

5.1.5.1. ANÁLISES PRELIMINARES DETERMINÍSTICAS

Por meio de uma análise determinística, chegou-se nos valores de TIR20 apresentados na *Tabela 36*:

Tabela 36- Resultados de TIR em função da distância praticada.

Estudo de Variabilidade	
Distância (Km)	TIR 20
0	281%
5	229%
10	177%
15	127%
20	116%
30	36%
40	0,38%

Pela tabela acima se pode notar que a TIR20 varia bastante com a distância, é importante notar, no entanto, que essa variação não é uniforme, pois no caso em que a distância é zero, o preço de venda do agregado é de R\$10,00/m³. Já para distâncias menores do que 15km o preço é de R\$14,00 e para distâncias maiores do que 15km seu preço é R\$18,00 e mesmo com esse preço, uma distância de 40km não se viabiliza.

5.1.5.2. ANÁLISES PROBABILÍSTICAS

5.1.5.2.1. COM FINANCIAMENTO

Assim, variando-se a distância de 0km a 40km e em função disso o preço de venda do agregado chega-se aos resultados *Tabela 37* e da *Figura 40* para uma usina móvel:

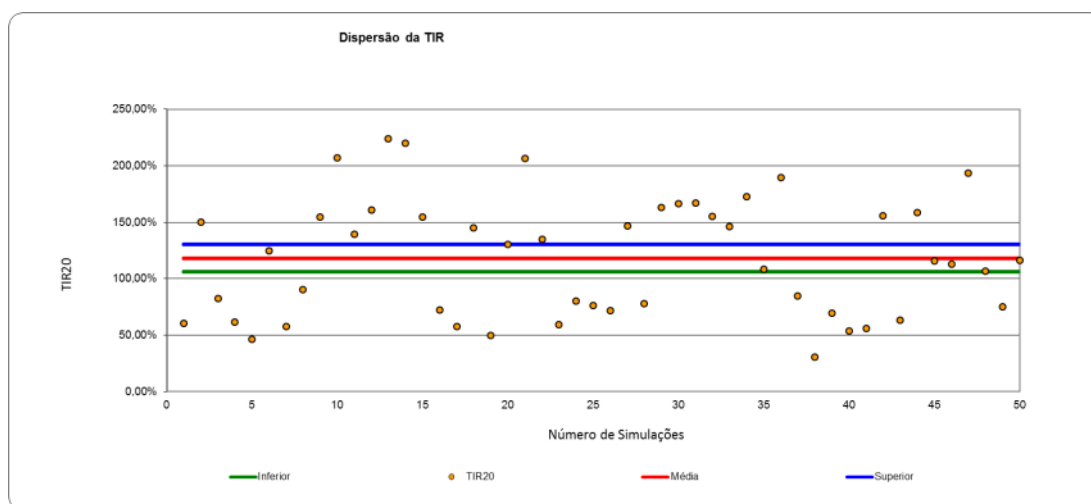


Figura 40- Gráfico de dispersão da TIR para variação da distância.

Tabela 37- Resultados para variação da distância.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	118%
TIR10 Média	109%
TIR5 Média	93%
Lucro Médio (R\$)	16 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	1,2 milhões
Financiamento (R\$)	786 mil
Payback Primário Médio (anos)	2

Apesar da taxa de retorno para usina móvel financiada ser bastante alta, seus resultados são bem dispersos, variando de menos de 50% até quase 200%.

Comparado com a usina fixa temos uma taxa mais elevada do que a do cenário de compra do terreno e menor que a de locação. Essa situação aparentemente intermediária se deve ao fato que o investimento é muito menor, facilitando seu retorno, mas ao mesmo tempo o resultado operacional disponível obtido também é muito menor, chegando a apenas 50% do atingindo numa usina fixa, sendo assim, temos na verdade um investimento pior.

5.1.5.2.2. SEM FINANCIAMENTO

Para um cenário sem financiamento, chega-se aos resultados apresentados na *Figura 41* e na *Tabela 38*.

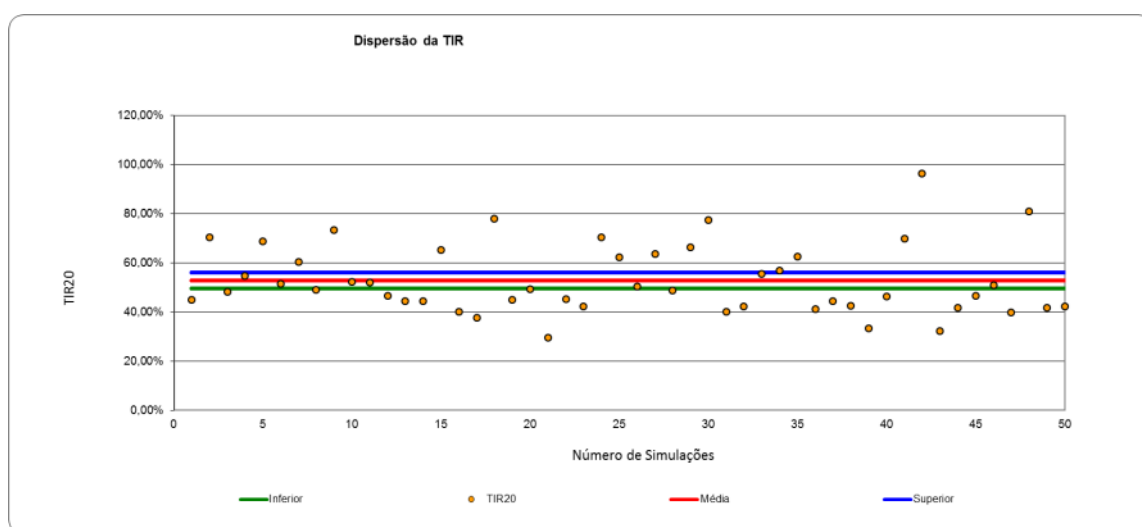


Figura 41- Gráfico de dispersão da TIR para variação da distância.

Tabela 38- Resultados para variação da distância.

Síntese de Resultados	
TIR20 Média	52%
TIR10 Média	48%
TIR5 Média	38%
Lucro Médio (R\$)	17 milhões
Investimento Inicial Total (R\$)	1,2 milhões
Payback Primário Médio (anos)	3

Sem o financiamento a taxa de retorno diminui bastante, mas ainda se mantém alta o suficiente para que o empreendimento seja considerado viável. No quinto ano já se alcança mais do que três vezes a taxa de atratividade.

O resultado operacional disponível não é prejudicado pela falta de financiamento, na verdade ele é a até maior porque não paga-se os juros.

5.2. ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CO₂

Os principais dados de entrada para os cálculos foram fornecidos em entrevistas e divididos em quantidade produzida e distância de transporte, conforme *Tabela 39* e *Tabela 40*, assim podendo-se notar a diferença de porte das indústrias avaliadas.

Tabela 39 - Dados de entrada: produção de agregados

Tipologia	Empresa	Produção diária de agregados (m³)
Mineração	Lafarge-unidade Cajamar	2754
	Intercement - Barueri	2609
Usina fixa	CRCD – Osaco*	120
	URBEM - São Bernardo	300
	Eco-X	261
Usina móvel	Recinert ambientale 1	400
	Recinert ambientale 2	400

Tabela 40 - Dados de entrada: distância média de transporte

Tipologia	Empresa	Distância média de transporte de agregados
Mineração	Lafarge-unidade Cajamar	60
	Intercement - Barueri	25
Usina fixa	CRCD – Osaco*	30
	URBEM - São Bernardo	20
	Eco-X	20
Usina móvel	Recinert ambientale 1	20**
	Recinert ambientale 2	20**

* Estudo apenas qualitativo por falta de dados

**66% das vendas são no próprio local de reciclagem

Com os dados de entrada e os levantamentos dos equipamentos, calcularam-se as emissões, que foram segmentadas em emissões na produção (estacionárias e transporte interno) e transporte externo. Para maiores considerações sobre quais equipamentos foram considerados estacionários ou móveis, ver itens FONTES ESTACIONÁRIAS DE EMISSÃO e FONTES MÓVEIS DE EMISSÃO no Capítulo 4.

5.2.1. EMISSÕES NA PRODUÇÃO

5.2.1.1. INTERCEMENT

Os dados relativos ao britador da Intercement quanto à quantidade, marca, modelo e produtividade foram fornecidos pela própria empresa. Essas informações foram complementadas por dados de fabricantes, podendo-se assim, calcular a potência teórica máxima do britador.

Foi fornecido também o consumo médio mensal de energia elétrica. A partir desse dado, observou-se um consumo elétrico de 61% do potencial total dos equipamentos, tanto pela paralisação e manutenção de equipamentos, quanto pela redução de atividade em horários de pico para reduzir custos. Foi informado que não havia operação de geradores para suprir a energia elétrica da mina. A redução de consumo gera uma redução de produção que é 77% da capacidade máxima operacional do britador.

Os consumos energéticos do conjunto britador seguem na *Tabela 41*.

Tabela 41 - Consumo do conjunto britador da Intercement

Britadores	Primário: Sandvik, modelo JM1511 HD (CJ 615) (a) Mandíbula 200kW 385t até 1185t
	Secundário e Terciário: Metso, modelo HP 400 (b) Cônico 315kW cada 140t até 630t
	Quaternário: Metso Barmac Série B7150M DTR 300hp (c) Impacto de eixo vertical 220kw
Peneiras	1 Svedalla 60024, 2D (d) 40hp 30kW
	1 Metso 8" X 24", sendo 2 módulos 8" X 12", 3D. 37 - 45 kW 850rpm
Outros	Alimentador e transportador de correias 30kW
TOTAL	1100 kW máximo
Real	676 kW fornecido
Utilização	61%

Fontes (acesso em maio de 2013):

(a):http://construction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003715.nsf/GenerateTopFrameset?ReadForm&menu=&view=http%3A//construction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/global/S003713.nsf/Alldocs/Portals*5CProducts*5CCrushers*and*screens*2AJaw*crushers&banner=/sandvik/0120/Internet/Global/S003715.nsf/LookupAdm/BannerForm%3FOpenDocument

(b):[http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/4EE8C731A9DF339541256B4400390773/\\$File/HP_Port.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/4EE8C731A9DF339541256B4400390773/$File/HP_Port.pdf)

(c):[http://www.metso.com.br/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/AA949CBF2E878DE642256B110028DE3E/\\$File/B_Brochure_PT.pdf](http://www.metso.com.br/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/AA949CBF2E878DE642256B110028DE3E/$File/B_Brochure_PT.pdf)

(d):[http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050607-2256F-5B382/\\$File/Peneiras_CBS.pdf](http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050607-2256F-5B382/$File/Peneiras_CBS.pdf)

(e):[http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050616-2256F-93D75/\\$File/Cap_5_Manual_Britagem.pdf](http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050616-2256F-93D75/$File/Cap_5_Manual_Britagem.pdf)

Diferentemente das usinas de reciclagem, as pedreiras possuem um ciclo complexo de britagem, contendo diversas sequências de britadores, rebritagem e peneiramentos, produzindo vários produtos, conforme *Figura 42*. Cada produto possui uma emissão unitária diferente, conforme a quantidade produzida e da sequência necessária de equipamentos para produzi-la.

Por exemplo, uma bica corrida precisa apenas de um britador de mandíbula e uma peneira, enquanto uma brita graduada necessita de todo o processo, contendo quatro britadores, sendo um de rebritagem e três peneiras.

Um fator importante a ser destacado nesse estudo de caso é a capacidade do Pulmão 1 regularizar a produção do britador primário (ver *Figura 42*). O britador primário tem capacidade de produção superior ao restante do sistema, pois opera após as detonações. Este fato revela um período de atividade desigual entre os componentes do sistema de britagem. Neste caso foi adotado uma simplificação de modelagem, uniformizando-se o tempo de operação para todo o sistema.

Etapas de britagem - Intercement

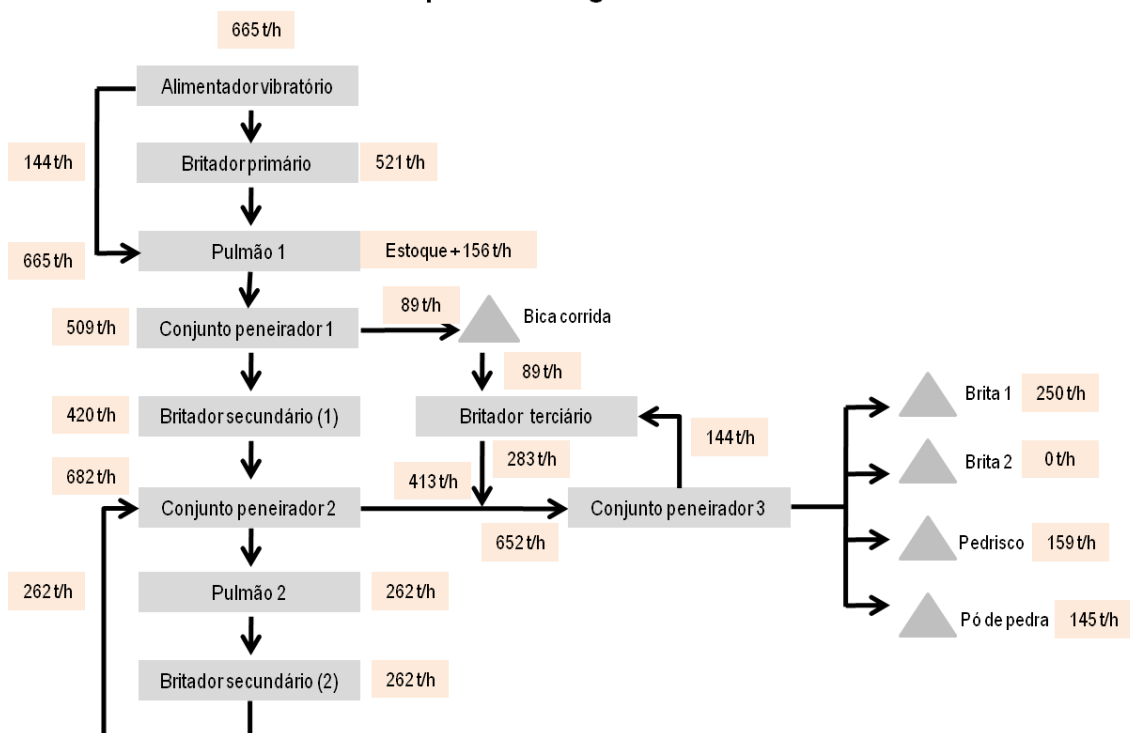


Figura 42 - Esquema de britagem de Intercement.

Calcularam-se as emissões unitárias de CO₂ para cada produto, conforme nota no item 4.3.2.2.1.FONTES ESTACIONÁRIAS DE EMISSÃO. Os resultados seguem na Tabela 42.

Tabela 42 - Emissões unitárias na produção, por produto

PRODUTOS	Etapas de britagem	Teórico diário		Real diário	
		produção t/h	Emissão kg CO ₂ /t	produção t/h	Emissão kg CO ₂ /t
Bica corrida	britador 1 + peneira 1	89	0,04	68	0,06
Brita 2	britador 1 a 3 + peneira 1 a 3	0	0,00	0	0,00
Brita 1	britador 1 a 3 + peneira 1 a 3	205	0,16	157	0,12
Pedrisco	britador 1 a 3 + peneira 1 a 3	159	0,20	122	0,16
Pó de pedra	britador 1 a 3 + peneira 1 a 3	145	0,22	111	0,18
TOTAL		598	0,16	459	0,13

Da mesma forma que para o britador, foi calculada a emissão devido ao consumo de diesel dos equipamentos. As produtividades e consumos dos equipamentos de escavação, carregamento, transporte interno e manutenção foram fornecidos pela empresa. Os dados foram complementados por ábacos e tabelas do

catálogo da fabricante, que relacionam produção, produtividade e consumo energético. Esses materiais encontram-se na *Figura 17*, *Figura 18* e *Figura 19*, no Capítulo 4. Os resultados para os equipamentos envolvidos encontram-se na *Tabela 43* e *Tabela 44*.

Tabela 43 - Consumo escavadeira - CAT 345

Escavadeira - CAT 345 - concha 3,0m ³		
Carregamentos por hora	90	carreg./h
Volume da pá	3,0	m ³
Produtiv. da máquina	270	m ³ /h
Funcionamento diário	9	h/ dia
Produtiv. da máquina	2.430	m ³ /dia
Consumo	40	l/h

Fonte: <http://www.cat.com/cda/layout?m=308590&x=7>

Tabela 44 - Consumo Pá carregadeira CAT 928 G

Pá carregadeira CAT 928 G - caçamba 1,2m ³		
Carregamentos por hora	85	carreg./h
Volume da pá	1,2	m ³
Produtiv. da máquina	102	m ³ /h
Funcionamento diário	9	h/ dia
Produtiv. da máquina	918	m ³ /dia
Consumo	18	l/h

Fonte: <http://www.cat.com/cda/layout?m=607367&x=7>

A empresa forneceu o consumo mensal médio total de diesel para a planta e o consumo por equipamento. Confrontando-se ambos os valores, obteve-se grande divergência, sendo o consumo total maior que a somatória dos equipamentos (ver *Tabela 45* e *Tabela 46*). O motivo mais provável é a não inclusão da movimentação de material não produtivo e preparação da mina, como decapagem vegetal, acessos e solo levado a bota-fora. Foi observado que esse tipo de movimentação possui importante contribuição para as emissões totais, conforme dados obtidos na pedreira do grupo Lafarge (*Tabela 49* e na *Figura 44*).

Um produto comercializado pela pedreira é a brita graduada, havendo a necessidade de uma movimentação intensiva das pás carregadeiras para a mistura das britas produzidas a fim de se obter uma homogeneidade, portanto contribuindo ainda mais na emissão.

Emissões devidas à produção

Tabela 45 - Consumo energético estimado pelos equipamentos

Descrição da Fonte	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Quantidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas)	Quantidade Consumida (dia)
Escavadeiras CAT 345 B	diesel	40	litros/hora	1	290	9,0	360
Pá carregadeira CAT 928 G	diesel	18	litros/hora	3	306	9,0	486
Motoniveladora CAT 140 H	diesel	18	litros/hora	1	-	9,0	162
Britadores e peneiras	eletricidade	676	kw	4	306	9,0	6087
Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Produção de agregado (m³/dia)	capacidade do caminhão-tipo (m³)	Viagens realizadas/dia	Distância percorrida/viagem (km)	Consumo médio sugerido (litros/km)	Consumo Total (litros)	Quantidade Consumida (dia)
Caminhões basculantes	2754	12	459	0,90	0,34	140	140
Caminhões (1 comboio, 1 pipa)	-	-	100	0,90	0,34	31	31
TOTAL							1179 l/dia *

* Calculado conforme consumo de equipamentos fornecidos na visita. OBS.: Esses dados não incluem movimentação de material não relacionado à produção.

Tabela 46 – Emissões unitárias com base nos consumos energéticos fornecidos

Tipo de combustível	Consumo Total (litros, kWh)	Fator de Conversão (kg CO2/un)	Emissões de CO2 (kg)	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Óleo Diesel	2.174**	3,2	6956,5	2754	2,53
Energia Elétrica	6.087	0,087	529,6		0,19
				TOTAL	2,72

**Calculado conforme consumo de diesel mensal médio fornecido em entrevista.

5.2.1.2. Lafarge

Os dados do britador da pedreira Lafarge de Cajamar não puderam ser divulgados, porém, foram coletadas informações gerais relativas à produção e consumos médios mensais de energia elétrica. Observou-se um elevado consumo mensal de energia elétrica devido principalmente à idade do britador e à produção de frações mais finas de agregados, e propriedades específicas da do material processado.

Os agregados processados provem de lavra em rocha calcária, produzindo as seguintes frações³⁰:

- Pedra 1
- Pedrisco Misto
- Areia Especial Calcaria
- Rachão
- Bica Corrida

Em seguida o processo foi estimado conforme o esquema da *Figura 43*, no entanto não foi possível determinar a quantidade de produto fabricado em cada linha, tendo-se apenas a produtividade total. Assim, também não foi possível obter-se as emissões unitárias para cada produto.

³⁰ Fonte: http://www.lafarge.com.br/wps/portal/br/3_B_3_B-Products. Acesso em maio de 2013.

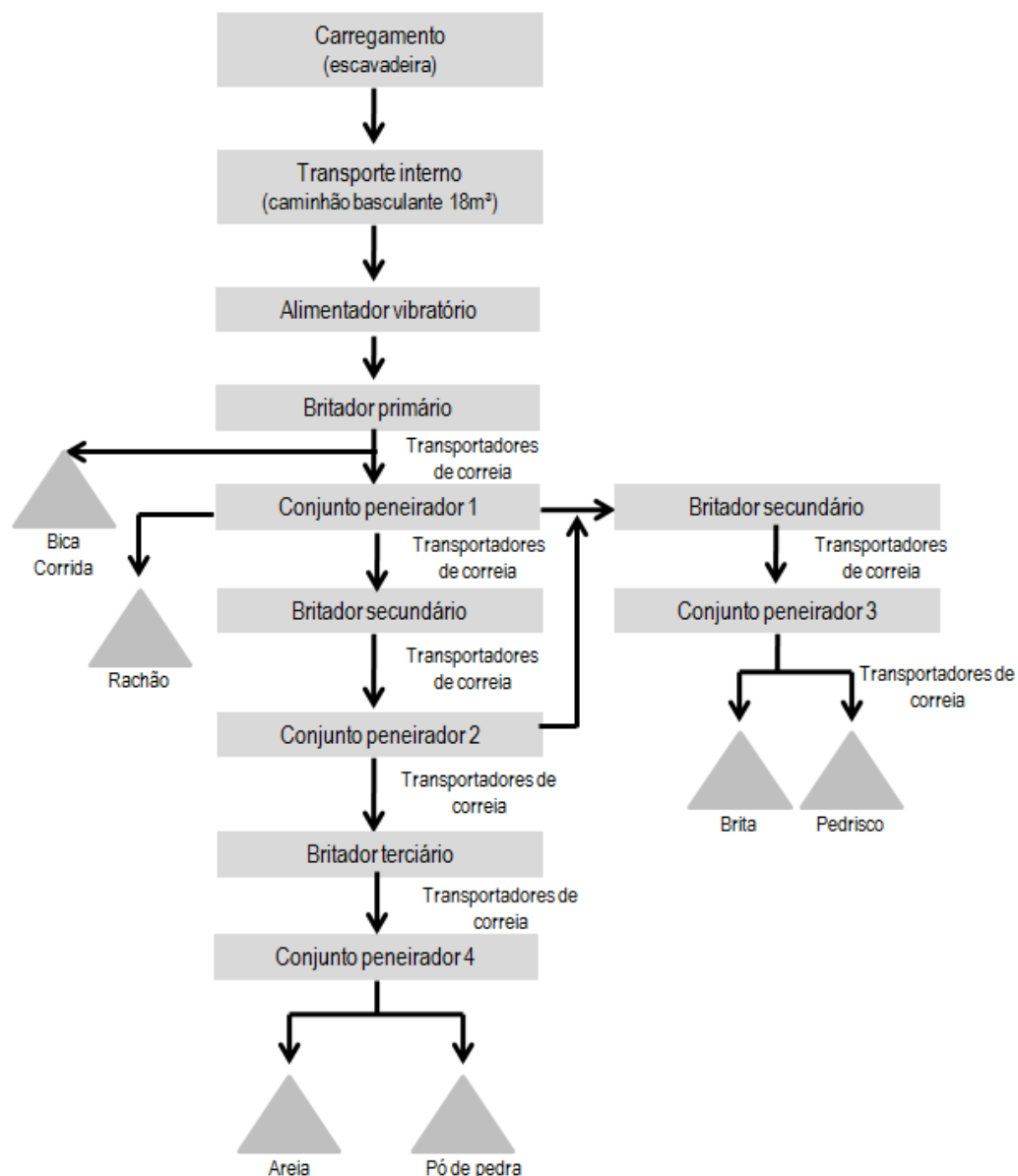


Figura 43 - Esquema de funcionamento da Lafarge.

Assim, as emissões do britador foram estimadas com base no consumo energético fornecido, e no seu período de operação. As informações seguem adiante.

Foram fornecidos a quantidade, tipo e produtividade dos equipamentos, sendo a marca e modelo selecionados posteriormente com auxílio de material técnico de fabricantes. A produtividade dos equipamentos inclui a movimentação de solo e preparação da mina para a exploração. Esse valor foi informado como sendo da

mesma ordem de grandeza que a movimentação de material diretamente relacionada com a produção.

Os dados foram complementados por ábacos e tabelas do catálogo da fabricante, que relacionam produção, produtividade e consumo energético. Esses materiais encontram-se na *Figura 17*, *Figura 18* e *Figura 19*, no Capítulo 4. Os resultados para os equipamentos envolvidos encontram-se na *Tabela 47* e *Tabela 48*.

Tabela 47 - Consumo Escavadeira - CAT 322

Escavadeira - CAT 322 - concha 1,0m ³		
Carregamentos por hora	60	carreg./h
Volume da pá	1,0	m ³
Produtiv. da máquina	60	m ³ /h
Funcionamento diário	8	h/ dia
Produtiv. da máquina	480	m ³ /dia
Consumo	20	l/h

<http://brasil.cat.com/cda/layout?m=308572&x=12>

<http://lmpequipamentos.com.br/img/CAT%20320%20B-C.pdf>

Tabela 48 - Consumo Pá carregadeira CAT 938 G

Pá carregadeira CAT 938 G - caçamba 2,4m ³		
Carregamentos por hora	50	carreg./h
Volume da pá	2,4	m ³
Produtiv. da máquina	120	m ³ /h
Funcionamento diário	9	h/ dia
Produtiv. da máquina	1.080	m ³ /dia
Consumo	18	l/h

<http://www.cat.com/cda/layout?m=607367&x=7>

Sendo que a produtividade dos equipamentos inclui a movimentação de solo e preparação da mina para a exploração, foi possível observar bastante semelhança (2051 litros calculados versus 2087 litros fornecidos) entre o consumo de diesel calculado e o fornecido.

É importante ressaltar que as emissões devido à movimentação de estéril de solo e camada vegetal possuem uma importante contribuição na emissão de CO₂, sendo próxima a um terço da emissão total de produção, conforme apresentado na *Figura 47*.

Observa-se, para o caso da Lafarge (ver dados fornecidos em ANEXO II), que as condições atuais de remoção de capa de solo e vegetação implicam em uma movimentação de material na ordem da mesma quantidade que a movimentação para o beneficiamento de rocha em si, implicando em um grande volume de emissão de GEE que devem ser contabilizados na produção, conforme apresentado na *Tabela 49* e na *Figura 44*. Os valores foram obtidos conforme a *Tabela 49* e na *Tabela 51*

Tabela 49 - Emissões da Pedreira Lafarge em Cajamar em kgCO₂/t

Lafarge	kgCO ₂ /t
emissão direta com produção	1,33
emissão decapagem vegetal e solo	0,58
emissão transporte	4,69

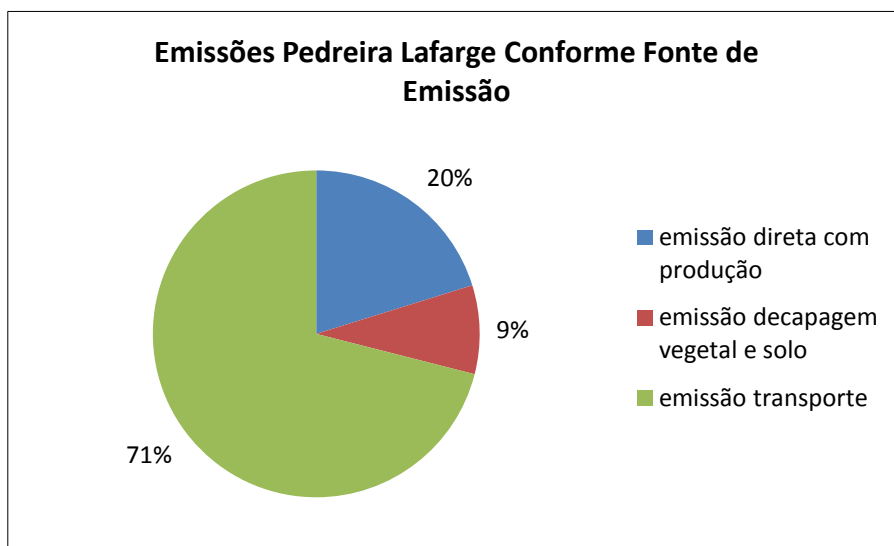


Figura 44 - Emissões da Pedreira Lafarge em Cajamar em % do total de emissões.

O resumo das emissões relacionadas à produção dos agregados segue na *Tabela 49* e na *Tabela 51*, com base nas considerações acima apontadas.

Emissões devidas à produção

Tabela 50 - Consumo energético estimado pelos equipamentos

Descrição da Fonte	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Quantidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas)	Quantidade Consumida (dia)
Escavadeiras CAT 322 B (mina)	diesel	21	litros/hora	2	120	11	482
Escavadeiras CAT 322 B (decapagem)	diesel	21	litros/hora	1	-	12	252
Pá carregadeira CAT 938 G (mina)	diesel	23	litros/hora	1	120	11	264
Pá carregadeira CAT 938G (expedição)	diesel	23	litros/hora	2	240	11	528
Britadores e peneiras	eletricidade	1333	kw	1	10	12	16000

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Produção de agregado (m³/dia)	capacidade do caminhão-tipo (m³)	Viagens realizadas/dia	Distância percorrida/viagem (km)	Consumo médio sugerido (litros/km)	Consumo Total (litros)	Quantidade Consumida (dia)
Caminhões basculantes	2754	18	612	2,3	0,34	479	479
Caminhões (comboio, pipa, etc)	-	-	60	2,3	0,34	47	47
TOTAL							2051 l/dia

Tabela 51 – Emissões unitárias com base nos consumos energéticos

Tipo de combustível	Consumo Total (litros, kWh)	Fator de Conversão (kg CO2/un)	Emissões de CO2 (kg)	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Óleo Diesel	2.087	3,2	6678,3	2754	2,4
Energia Elétrica	16.000	0,087	1392,0		0,5
				TOTAL	2,9

***Calculado conforme consumo de diesel mensal médio fornecido em entrevista.*

5.2.1.3. URBEM

A URBEM possui um esquema simples de britagem, produzindo rachão, brita e areia com finos em aproximadamente um terço cada. O britador é da Marca Maqbrit, reformado, e possui uma única peneira. A operação do britador evita os horários de pico devido à maior tarifa da energia elétrica. Assim ele é operado por um tempo menor que o expediente normal (7 horas ao invés de 8), em uma eficiência de 89%, conforme *Tabela 53* **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Os dados do britador foram fornecidos pelo entrevistado e comprovados com auxílio de catálogos de fabricantes e OLIVEIRA et al (2013), que realizou um trabalho paralelo com os mesmo dados coletados. Estes seguem na *Tabela 52*.

Tabela 52 - Consumo energético do conjunto britador da URBEM

Alimentador vibratório AV20050	
Potência mecânica	3,7 kW
Eficiência	85%
Potência elétrica	4,3 kW
Britador de Impacto BI9070 (capacidade 50t/h)	
Potência mecânica	36,8 kW
Eficiência	92%
Potência elétrica	39,8 kW
Peneirador PVA30012/1A	
Potência mecânica	7,4 kW
Eficiência	88%
Potência elétrica	8,4 kW
Transportador de correia	
número de unidades que operam simultaneamente	5
Potência	3,7 kW
Eficiência	85%
Potência elétrica	4,3 kW
Potência elétrica total	21,6 kW

Tabela 53 - Comparação entre valores fornecidos e estimados de consumo energético

Capacidade do britador	42 m³/h	teórica
Produção média diária	300 m³/dia	real
Produção média horária	37,5 m³/h	real
Capacidade operante	89%	
Potencia teórica	74,2 kW	teórica
Funcionamento diário	7,14 h/dia	calculado
Potência média real	66,2 kW	real
Potencia do britador		
Valor coletado	12.190 kWh/mês	66,2kW
X		X
Valor calculado	13.653 kWh/mês	74,2kW

Os equipamentos foram observados no local, sendo três pás carregadeiras da marca New Holland, no entanto apenas duas operam regularmente simultaneamente. Através da produtividade foi estimada uma pá carregadeira modelo 12B e calculadas suas produtividades e emissões. Os resultados seguem na *Tabela 54*, feita com base em ábacos e tabelas do catálogo da fabricante disponíveis na *Figura 17*, *Figura 18* e *Figura 19*, no Capítulo 4.

Tabela 54 - Consumo Pá carregadeira - New Holland 12B

Pá carregadeira - New Holland 12B - concha de 1,5m³		
Carregamentos por hora	40	carreg./h
Volume da pá	1,5	m³
Produtiv. da máquina	60	m³/h
Funcionamento diário	8	h/ dia
Produtiv. da máquina	480	m³/dia
Consumo	10	l/h

http://www.vedapac.com.br/PARCIAS/PA_CARREGADEIRA_NEW_HOLLAND.pdf

O resumo das emissões relacionadas à produção dos agregados segue na *Tabela 55* e na *Tabela 56*, com base nas considerações acima apontadas.

Emissões devidas à produção

Tabela 55 - Consumo energético estimado pelos equipamentos

Descrição da Fonte	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas diárias)	Quantidade Consumida (dia)
pá-carregadeira New Holland 12B	Diesel	10	litros/hora	60	5,0	50
pá-carregadeira New Holland 12B	Diesel	10	litros/hora	60	5,0	50
Britador e peneiras	Eletricidade	74	kW	42	7,1	530

Tabela 56 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos

Tipo de combustível	Consumo Total (litros, kWh)	Fator de Conversão (kg/un)	Emissões de CO2 (kg)	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Óleo Diesel	100	3,2	320,0	300,0	1,1
Energia Elétrica	530	0,087	46,1		0,2
				TOTAL	1,2

5.2.1.4. Eco-x

As informações de marca e modelo de britador não foram fornecidas pela empresa, no entanto foi possível estimar equipamentos compatíveis através de detalhes de processamento e produtividade. Os dados de consumo mensal foram fornecidos para o mês de fevereiro, que possui menos dias úteis, o que ocasiona menor produção, logo, menor consumo elétrico. O dado de consumo mensal obtido não pôde ser correlacionado com a produção, sendo muito diferente de uma operação normal, portanto foi utilizado o dado de consumo para britador estimado. A diferença entre o consumo energético do mês de fevereiro (3700kWh) com a potência do britador com a capacidade máxima operando por 23 dias úteis em um mês médio (9261kWh) é superior à 100%. A capacidade do britador é de 80t/h, sendo a produção média de 6000m³ mensal, portanto uma operação com 59% de eficiência.

Os dados estimados para o britador constam na *Tabela 57* e a comparação entre o valor fornecido e o calculado encontram-se na *Tabela 58*.

Tabela 57 - Consumo energético calculado do conjunto britador da Eco-x

Cálculo do consumo elétrico teórico através da produtividade		
Capacidade produtiva de 80 t/h		
Britador mandíbula Kefid PE500×750 (a)		
capacidade :	80t/h	
Potencia elétrica do motor:	40kW	
Dimensão da abertura de alimentação (mm):	425	
Máx. Tamanho da alimentação (mm):	50-100	
Peneira Metso LH 5' x 14' DD (b) e (c)		
Capacidade	120m³/h	
Potência mec.	20 cv	
Potencia elétrica	14,71	
Eficiência	90%	
Potencia de entrada	16,3 kW	
Alimentador vibratório AV20050		
motor elétrico IV polos		
Potência mecânica	5,00 cv	3,7 kW
RPM	1200	
Eficiência	85,00%	
Potência elétrica	4,3 kW	

Transportador de correia 5 unidades são consideradas: alimentação do britador, alimentação do peneirador, produção de três frações	
motor elétrico IV pólos	
Potência	5,00 cv
RPM	1200
Eficiência	85,00%
Potência elétrica	4,3 kW
Potência elétrica total	22 kW
TOTAL:	82,3 kW

Fonte:

(a): <http://www.britador-de-pedras.net/parametros-tecnicos-mandibula-kefid-britador-manual-de-britador-de-minerio/>

(b): [http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050616-2256F-93D75/\\$File/Cap_5_Manual_Britagem.pdf](http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050616-2256F-93D75/$File/Cap_5_Manual_Britagem.pdf)

(c): [http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050607-2256F-5B382/\\$File/Peneiras_CBS.pdf](http://www.metso.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050607-2256F-5B382/$File/Peneiras_CBS.pdf)

Tabela 58 - Comparação entre valores fornecidos e estimados de consumo energético

	Potência do britador	
valor fornecido	3700 kWh/mês	33kW
X		X
valor calculado	9261 kWh/mês	82,3kW

Considera-se que a divergência de valores encontrados é devida à variabilidade mensal de produção e às horas trabalhadas no mês fornecido, já que foi informado que não havia operação de geradores para fornecimento de energia elétrica.

Foi informado também que as produtividades dos quatro produtos (brita 1 e 4, pedrisco e areia) são semelhantes e portanto geram um impacto de emissão semelhante. O esquema de britagem está apresentado na Figura 45.

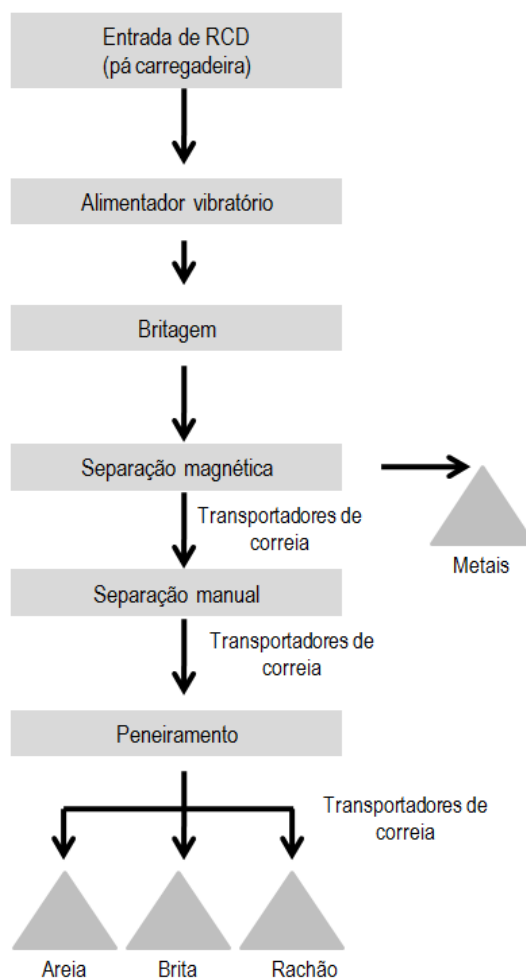


Figura 45 - Fluxograma de britagem Eco-X

Os modelos de equipamento foram fornecidos, em seguida os consumos e produtividades foram estimados por catálogo de fabricantes de equipamentos semelhantes. São utilizadas duas escavadeiras hidráulicas de esteiras, semelhantes. Seus consumos encontram-se na *Tabela 59*, feita com base em ábacos e tabelas do catálogo da fabricante disponíveis na *Figura 17*, *Figura 18* e *Figura 19*, no Capítulo 4.

Tabela 59 – Consumo Escavadeira - New Holland E215B

Escavadeira - New Holland E215B - concha 0,8m³		
Carregamentos por hora	75	carreg./h
Volume da pá	0,8	m³
Produtiv. da máquina	60	m³/h
Funcionamento diário	8	h/ dia
Produtiv. da máquina	480	m³/dia
Consumo	15	l/h

* com fatores de correção

funcionamento em plena capacidade

http://www.bamaq.com.br/site/imgs/modelos/1_E215po.pdf

O resumo das emissões relacionadas à produção dos agregados segue na *Tabela 60* e na *Tabela 61*, com base nas considerações acima apontadas.

Emissões devidas à produção

Tabela 60 - Consumo energético estimado pelos equipamentos

Descrição da Fonte	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas diárias)	Quantidade Consumida (dia)
escavadeira New Holland E215B	Diesel	15	litros/hora	60	4	65
escavadeira New Holland E215B	Diesel	15	litros/hora	60	4	65
Britador e peneiras	Eletricidade	82	kW	53	5	403

Tabela 61 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos

Tipo de combustível	Consumo Total (litros, kWh)	Fator de Conversão (kg/un)	Emissões de CO2 (kg)	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Óleo Diesel	130	3,2	417,4	260,9	1,6
Energia Elétrica	403	0,087	35,0		0,1
				TOTAL	1,7

5.2.1.5. RECINERT 1

Os dados do britador foram fornecidos especificamente pelo entrevistado, a marca, modelo e produtividade fornecidos pelo catálogo do fabricante e dados reais de consumo e produtividade também foram fornecidos pela empresa. O britador possui apenas um produto, a bica corrida, que não é peneirada conforme esquema da Figura 46.

O britador neste caso é do tipo fresa ou cisalhamento e possui uma aplicação específica com eficiência conforme o material com o qual é alimentado.

Os equipamentos de carregamento são variáveis conforme a obra ou demolição, podendo ter emissões variáveis. Foi adotada uma marca e modelo de escavadeira comum no mercado, conforme *Tabela 62*, feita com base em ábacos e tabelas do catálogo da fabricante disponíveis na *Figura 17*, *Figura 18* e *Figura 19*, no Capítulo 4.

Tabela 62 – Consumo Escavadeira - CASE - CX210B

Escavadeira - CASE - CX210B - concha 1,0m ³		
Carregamentos por hora	60 *	carreg./h
Volume da pá	1,0	m ³
Produtiv. da máquina	60	m ³ /h
funcionamento diário	8 **	h/ dia
Produtiv. da máquina	480	m ³ /dia
Consumo	8	l/h

http://www.brasifmaquinas.com.br/wp-content/files_mf/encarte1cx210b40.pdf

*: com fatores de correção

**: funcionamento em plena capacidade

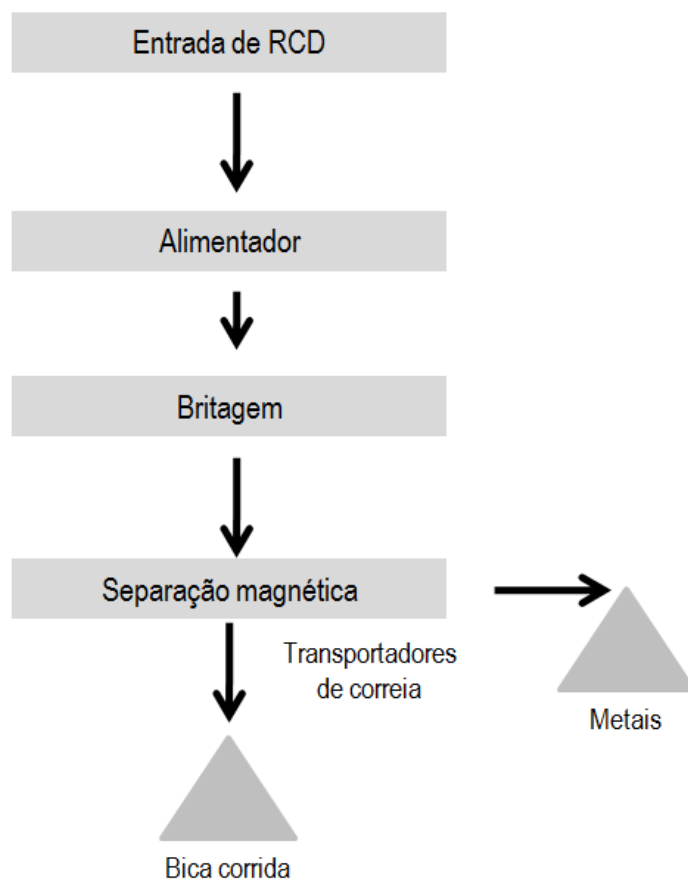


Figura 46 - Fluxograma de britagem Recinert Ambientalle

O resumo das emissões relacionadas à produção dos agregados segue na *Tabela 63* e na *Tabela 64*, com base nas considerações acima apontadas.

Emissões devidas à produção

Tabela 63 - Consumo energético estimado pelos equipamentos

Descrição da Fonte	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas)	Quantidade Consumida (dia)
Britador móvel UTM60 12P*	Óleo Diesel	11	litros/hora	50	8,0	88,0
Escavadeira CASE - CX210B	Óleo Diesel	12	litros/hora	60	6,7	80,0

*: britador tipo fresa ou cisalhamento capacidade: 160 t/h

Tabela 64 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos

Tipo de combustível	Consumo Total (litros, kWh)	Fator de Conversão (kg/un)	Emissões de CO2 (kg)	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Óleo Diesel britador	88,0	3,2	281,6	400	0,70
Óleo Diesel escavadeira	80,0	3,2	256,0		0,64
Energia Elétrica	-	0,087	-		-
				TOTAL	1,34

5.2.1.6. RECINERT 2

Os dados do britador foram fornecidos especificamente pelo entrevistado, a marca, modelo e produtividade fornecidos pelo catálogo do fabricante e dados reais de consumo e produtividade também foram fornecidos pela empresa. O britador possui apenas um produto, a bica corrida, que não é peneirada.

O britador neste caso é do tipo mandíbula e possui uma aplicação específica com eficiência conforme o material com o qual é alimentado. Os equipamentos de carregamento são variáveis conforme a obra ou demolição, podendo ter emissões variáveis. Foi adotada uma marca e modelo de escavadeira comum no mercado.

Os equipamentos de carregamento são variáveis conforme a obra ou demolição, podendo ter emissões variáveis. Foi adotada uma marca e modelo de escavadeira comum no mercado, conforme *Tabela 65*, feita com base em ábacos e tabelas do catálogo da fabricante disponíveis na *Figura 17*, *Figura 18* e *Figura 19*, no Capítulo 4.

Tabela 65 – Consumo Escavadeira - CASE - CX210B

Escavadeira - CASE - CX210B - concha 1,0m ³		
Carregamentos por hora	60 *	carreg./h
Volume da pá	1,0	m ³
Produtiv. da maquina	60	m ³ /h
funcionamento diario	8 **	h/ dia
Produtiv. da maquina	480	m ³ /dia
Consumo	8	l/h

http://www.brasifmaquinas.com.br/wp-content/files_mf/encarte1cx210b40.pdf

*: com fatores de correção

**: funcionamento em plena capacidade

O resumo das emissões relacionadas à produção dos agregados segue na *Tabela 66* e na *Tabela 67*, com base nas considerações acima apontadas.

Emissões devidas à produção

Tabela 66 - Consumo energético estimado pelos equipamentos

Descrição da Fonte	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas)	Quantidade Consumida (dia)
Britador Móvel ULISSE *	Óleo Diesel	17	litros/hora	50	8,0	136,0
Escavadeira CASE - CX210B	Óleo Diesel	12	litros/hora	60	6,7	80,0

*: britador mandíbula capacidade : 160 t/h

Tabela 67 - Emissões unitárias com base nos consumos energéticos

Tipo de combustível	Consumo Total (litros, kWh)	Fator de Conversão (kg/un)	Emissões de CO2 (kg)	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Óleo Diesel britador	136,0	3,2	435,2	400	1,09
Óleo Diesel escavadeira	80,0	3,2	256,0		0,64
Energia Elétrica	-	0,087	-		-
				TOTAL	1,73

5.2.2. EMISSÕES NO TRANSPORTE

A *Tabela 68* apresenta as distâncias médias praticadas pelas empresas para distribuição de agregados na RMSP a partir das entrevistas. Observa-se que foi adotada a emissão de ida e volta do caminhão, portanto dobrando-se a distância percorrida para o transporte apresentada, ainda adotando um consumo de diesel pelo transporte de uma carga. As distâncias praticadas pelas pedreiras são superiores às praticadas pelas usinas, que são convencionalmente em torno de 20km. Todas as usinas de reciclagem estudadas produziam uma quantidade de agregados de mesma ordem e possuíam mercados semelhantes, no caso específico das usinas móveis foi informado que em média apenas um terço do montante reciclado é transportado para outro local, e o restante é utilizado no próprio local de reciclagem. No caso da pedreira Lafarge a qualidade do material extraído, que é superior, eleva a média de distâncias. A distância estimada pela CRCD em Osasco se deve ao afastamento maior do centro consumidor.

Tabela 68 - Distância média de distribuição de agregados

Tipologia	Empresa	Distância média de transporte de agregados
Mineração	Lafarge-unidade Cajamar	60
	Intercement	25
Usina fixa	CRCD - Osaco	30**
	URBEM - São Bernardo	20
	Eco-X	20
Usina móvel	Recinert ambientale 1	20*
	Recinert ambientale 2	20*

*66% das vendas são no próprio local de reciclagem

** Estudo apenas qualitativo por falta de dados

Observa-se uma diferença importante em relação ao consumidor principal entre as diferentes plantas. Enquanto uma usina de reciclagem vende principalmente para clientes esporádicos de grande porte para usos determinados. As pedreiras possuem um grande leque de compradores, de todos os portes, sendo parte deles, clientes regulares. Para a pedreira do grupo Lafarge, foi feito um acordo com uma fábrica de argamassas do grupo Votorantim vizinha à mina, que resultou em uma ligação direta através de uma correia transportadora, no momento inoperante.

As emissões relacionadas ao transporte externo da pedreira Intercement encontram-se na *Tabela 69* e na *Tabela 70* e tem como base as informações fornecidas sobre distâncias médias percorridas e sobre a frota de caminhões.

Emissões devidas ao transporte - Intercement:

Tabela 69 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Produção de agregado (m³/dia)	capacidade do caminhão-tipo (m³)	Viagens realizadas/dia	Distância percorrida/viagem (km)	Consumo médio sugerido* (litros/km)	Consumo Total (litros)
Caminhão 30 ton	2609	18	145	50	0,33	2391

Tabela 70 - Emissões unitárias com base no consumo estimado

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Consumo Total (litros)	Fator de conversão	Emissões (kg) de CO2	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Caminhão 30 ton	2391	3,2	7652,2	2754	2,779
				TOTAL	2,779

Observações:

1 - O número de viagens de caminhões de fonte estacionária NÃO inclui as viagens com solo para um bota-fora a fim de se transportar o estéril da mina

2 - A produtividades dos equipamentos de escavação NÃO incluem a movimentação para acessos e preparação para carregamento

3 - Os dados de energia elétrica e diesel mensais foram fornecidas na entrevista

4 - Os equipamentos indicados na entrevista foram apenas em quantidade e tipo, os modelos, consumos e produtividades foram adotados conforme Caterpillar

Performace Handbook Edition 29 página 624

5 - Número de viagens internas e externas foram dimensionadas conforme um caminhão tipo de 18m³ e a produtividade da planta

6 - A produtividade da planta e a distância de transporte foram fornecidos pela empresa entrevistada

7- Foi adotado um consumo de 0,34 litros por km de caminhões de 18m³

As emissões relacionadas ao transporte externo da pedreira Lafarge encontram-se na *Tabela 71* e na *Tabela 72* e tem como base as informações fornecidas sobre distâncias médias percorridas e sobre a frota de caminhões.

Emissões devidas ao transporte - Lafarge:

Tabela 71 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Produção de agregado (m³/dia)	capacidade do caminhão-tipo (m³)	Viagens realizadas/dia	Distância percorrida/ viagem (km)	Consumo médio sugerido* (litros/km)	Consumo Total (litros)
Caminhão 30 ton	2754	18	153	120	0,33	6058

Tabela 72 - Emissões unitárias com base no consumo estimado

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Consumo Total (litros)	Fator de conversão	Emissões (kg) de CO2	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Caminhão 30 ton	6058	3,2	19385,50725	2754	7,0
				TOTAL	7,0

Observações:

1 - O número de viagens de caminhões de fonte estacionária inclui as viagens com solo para um bota-fora a fim de se transportar o estéril da mina

2 - A produtividade dos equipamentos de escavação já incluem a movimentação para acessos e preparação para carregamento

3 - Os dados de energia elétrica e diesel mensais foram fornecidas na entrevista

4 - Os equipamentos indicados na entrevista foram apenas em quantidade e tipo, os modelos, consumos e produtividades foram adotados conforme Caterpillar

Performace Handbook

5 - Número de viagens internas e externas foram dimensionadas conforme um caminhão tipo de 18m³ e a produtividade da planta

6 - A produtividade da planta e a distância de transporte foram fornecidas pela empresa entrevistada

7- Foi adotado um consumo de 0,34 litros por km de caminhões de 18m³.

As emissões relacionadas ao transporte externo da URBEM encontram-se na **Tabela 73** e **Tabela 74** e tem como base as informações fornecidas sobre distâncias médias percorridas e sobre a frota de caminhões.

Emissões devidas ao transporte - URBEM:

Tabela 73 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Produção de agregado (m³/dia)	capacidade do caminhão-tipo (m³)	Viagens realizadas/ dia	Distância percorrida/ viagem (km)	Consumo médio sugerido* (litros/km)	Consumo Total (litros)
Caminhão 30 ton	300	18	16	40	0,32	206

*caminhões com 10 anos

Tabela 74 - Emissões unitárias com base no consumo estimado

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Consumo Total (litros)	Fator de conversão	Emissões (kg) de CO2	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Caminhão 30 ton	206	3,2	661	300,0	2,2
				TOTAL	2,2

Observações:

- 1 - Os modelos, consumos e produtividades dos equipamentos não foram fornecidos nas entrevistas, assim foram adotados conforme a produtividade da planta e catálogos de fabricantes
- 2 - Os consumos totais de óleo diesel foram calculados conforme o consumo dos equipamentos no tempo
- 3 - O número total de viagens para o transporte de produto não foi fornecido, assim foi calculado conforme um caminhão tipo adotado e a produtividade
- 4 - O consumo unitário de eletricidade do britador não foi fornecido e foi calculado conforme o dado de consumo energético total mensal
- 5 - A produtividade da planta e a distância de transporte foram fornecidas pela empresa entrevistada
- 6 - Número de viagens internas e externas foram dimensionadas conforme um caminhão tipo de 18m³ e a produtividade da planta.

As emissões relacionadas ao transporte externo da Eco-X encontram-se na **Tabela 75** e na **Tabela 76** e tem como base as informações fornecidas sobre distâncias médias percorridas e sobre a frota de caminhões.

Emissões devidas ao transporte – Eco-X:

Tabela 75 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Produção de agregado (m³/dia)	Capacidade do caminhão-tipo (m³)	Viagens realizadas/ dia	Distância percorrida/ viagem (km)	Consumo médio sugerido (litros/km)	Consumo Total (litros)
Caminhão 30 ton	261	18	14	40	0,33	185

Tabela 76 - Emissões unitárias com base no consumo estimado

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Consumo Total (litros)	Fator de conversão	Emissões (kg) de CO2	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Caminhão 30 ton	185	3,2	591	260,9	2,3
				TOTAL	2,3

Observações:

- 1 - Os modelos, consumos e produtividades dos equipamentos não foram fornecidos nas entrevistas, assim foram adotados conforme a produtividade da planta e catálogos de fabricantes
- 2 - Os consumos totais de óleo diesel foram calculados conforme o consumo dos equipamentos no tempo
- 3 - O número total de viagens para o transporte de produto não foi fornecido, assim foi calculado conforme um caminhão tipo adotado e a produtividade
- 4 - O consumo unitário de eletricidade do britador não foi fornecido e foi calculado conforme o dado de consumo energético total mensal
- 5 - A produtividade da planta e a distância de transporte foram fornecidos pela empresa entrevistada.

As emissões relacionadas ao transporte externo de ambas as unidades móveis da Recinert Ambientale encontram-se na **Tabela 77** e na **Tabela 78** e tem como base as informações fornecidas sobre distâncias médias percorridas e sobre a frota de caminhões.

Emissões devidas ao transporte – Recinert Ambientale:

Tabela 77 - Consumo de diesel estimado pelo transporte externo

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Produção de agregado (m³/dia)	capacidade do caminhão-tipo (m³)	Viagens realizadas/dia	Distância percorrida/viagem (km)	Consumo médio sugerido* (litros/km)	Consumo Total (litros)
Caminhão 30 ton	133,3	12	11,1	40,0	0,33	146,7

Tabela 78 - Emissões unitárias com base no consumo estimado

Tipo de frota de veículos (motor e combustível)	Consumo Total (litros)	Fator de conversão	Emissões (kg) de CO2	Produção de agregado (m³)	Emissão unitária de CO2 (kg/m³)
Caminhão 30 ton	146,7	3,2	469,3	400	1,17

Hipóteses adotadas

- 1 - Cálculo da emissão de britador fresa
- 2 - Foram fornecidas as capacidades do britador e a produção média diária de agregados, o que permite calcular o tempo médio diário de utilização com britador.
- 3 - Não foi considerado o transporte do equipamento na contabilização do CO2 dado a irrelevância do mesmo dado um fator de erro de hipóteses muito superior a este valor
- 4 - Foi considerado que 30% de todo o resíduo britado não é utilizado no local e é transportada uma distância média de 20 km
- 5- A densidade média do RCD britado obtido em entrevista é de 1,2t/m³, no entanto, para se compatibilizar os resultados com as demais usinas, adotou-se 1,5t/m³

Observações:

- 1 - Os modelos, consumos e produtividades dos equipamentos de carregamento não foram fornecidos nas entrevistas, assim foram adotados conforme a produtividade da planta e catálogos de fabricantes
- 2 - Os consumos totais de óleo diesel foram calculados conforme o consumo dos equipamentos no tempo
- 3 - O número total de viagens para o transporte de produto não foi fornecido, assim foi calculado conforme um caminhão tipo adotado e a produtividade
- 4 - A produtividade da planta e a distância de transporte foram fornecidos pela empresa entrevistada
- 5 - Os dados do britador foram fornecidos pela empresa entrevistada

5.2.3. RESULTADOS FINAIS

Com base nas emissões na produção e no transporte para cada estudo de caso, chega-se aos seguintes resultados:

Tabela 79 - Tabela comparativa entre as plantas e as diversas fontes de emissão

Tabela Resumo							
Descrição	Unidade	Pedreira		móvel		fixa	
		Intercement	Lafarge	Recinert 1	Recinert 2	URBEM	EcoX
Consumo energia el. Produção	kwh/dia	6.087	16.000	0	0	588	403
Consumo diesel produção	litros/dia	2.174	2.087	88	136	100	130
Consumo diesel transporte	litros/dia	2.391	139.333	147	147	206	185
Produtividade	t/dia	3.913	4.130	600	600	450	261
Índice de emissão britador	kg CO ₂ /t	0,13	0,34	0,47	0,73	0,11	0,09
Índice de emissão prod. s/ brit	kg CO ₂ /t	1,68	1,62	0,43	0,43	0,71	1,07
Índice de emissão transp.	kg CO ₂ /t	1,85	4,69	0,78	0,78	1,47	1,51
Índice de emissão total	kg CO ₂ /t	3,67	6,65	1,68	1,93	2,29	2,67

Observações:

Densidade média do agregado reciclado é de 1,5 t / m³

Considerados 23 dias úteis por mês (descontados meio período de sábado, os domingos e feriados).

Contabilizadas as distâncias de ida cheio e volta vazio do caminhão.

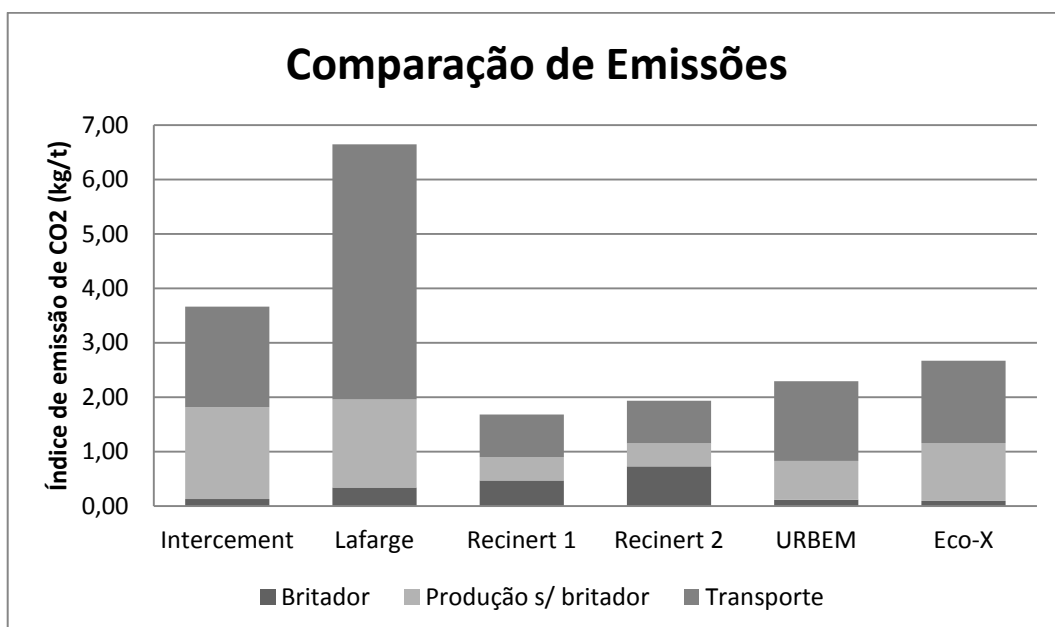


Figura 47 - Gráfico comparativo entre as plantas e as diversas fontes de emissão.

Assim, o índice de emissão médio das pedreiras foi de 5,16 kgCO₂/t, das usinas móveis, 1,81 kgCO₂/t, e das usinas fixas, 2,48 kgCO₂/t.

5.2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

As usinas móveis são as menores emissoras unitárias de CO₂ no transporte. No total (produção e transporte), as usinas móveis possuem emissões menores que as fixas. No entanto existe uma grande variação desta emissão, tanto no transporte quanto na britagem. A escavadeira necessária para o carregamento, normalmente da própria demolidora ou construtora pode possuir elevados índices de emissão e, ainda é possível praticar grandes distâncias de venda uma vez que não há local para estoque e o material deve ser vendido o mais rápido possível.

Os próprios britadores móveis possuem o consumo variável conforme sua capacidade e função. Britadores do tipo mandíbula (Recinert 2) consomem cerca de 50% a mais de diesel que britadores do tipo fresa ou cisalhamento de mesma capacidade (Recinert 1). Caso seja acoplado um sistema de peneiras de separação a emissão será maior.

O transporte para venda dos agregados utiliza combustíveis fósseis, majoritariamente diesel. Assim, há um grande aumento de emissões quanto maior a distância média percorrida para o transporte.

Foi identificado que as pedreiras praticam uma distância maior de transporte que as usinas de reciclagem principalmente devido ao volume de produção. Uma produção mais intensiva possui um mercado maior de consumidores. Produtos de melhor qualidade são vendidos a preços mais elevados e podem ser procurados a uma grande distância por clientes que buscam redução do consumo de cimento ou produtos de qualidade específica. Nesse contexto, foram relatadas viagens de até 60 km de caminhão na cidade da pedreira até o destino.

O mesmo ocorre com a mineração de areia. As areias naturais mineradas na região do Vale do Paraíba compensam o elevado custo de frete com a redução do consumo de cimento na aplicação, tornando-se financeiramente viáveis, no entanto sendo prejudiciais ao meio ambiente.

As usinas móveis possuem elevadas emissões unitárias para a produção, no entanto, pela mobilidade, podem permear na malha urbana e ainda utilizar o agregado no próprio local da reciclagem, assim reduzindo fortemente sua emissão no transporte.

É possível identificar uma elevada emissão unitária para a produção das pedreiras em relação às usinas de reciclagem. Usualmente, quanto maior a produtividade de um britador menor é a emissão unitária da produção³¹, uma vez que sua britagem é mais eficiente e, para os equipamentos maiores, obtém-se uma economia de escala, a exemplo dos diversos tamanhos de caminhões transportadores e pás carregadeiras, que tem maior eficiência quanto maior sua capacidade. No entanto, para as pedreiras, as atividades de preparação da mina (decapeamento), que são indiretamente relacionadas com a produção, possuem uma contribuição importante para a emissão de CO₂.

O consumo de diesel na mina também é relevante, principalmente devido aos equipamentos de escavação de grande porte, transporte interno de minério (que não existe em uma usina de reciclagem) e carregamento do produto para entrega. O processo de britagem é muito semelhante entre a mineração e a reciclagem, diferenciando-se principalmente no porte dos britadores, ou seja, a quantidade de material britado e o tratamento dado ao produto. As pedreiras fabricam material de diversas qualidades, inclusive para usos nobres em concretos estruturais, quando após a britagem, o material é separado em diversas frações e remisturado conforme as necessidades do cliente. Esse maior número de atividades dentro da pedreira consome maior quantidade de energia unitária para sua fabricação e, portanto emitindo uma maior quantidade de poluentes.

Por meio da análise das emissões, foi possível identificar que o índice de emissão (tanto total, quanto unitário) é maior quanto maior a sofisticação do produto fabricado. As usinas móveis são as de menor processamento, produzindo apenas bica corrida, seguida das usinas fixas, que produzem ainda areia, pedrisco e brita e, por fim, as pedreiras, que fabricam diversos tipos de agregados (*Tabela 80*). Cada produto possui uma emissão unitária de CO₂ diversa, conforme a quantidade de equipamentos que são utilizados para fabricá-lo. Por exemplo, para a pedreira fabricar areia e pó de pedra, é necessário a utilização desde o britador primário até o terciário. Já no caso do rachão, de maior granulometria, somente o primário é necessário.

³¹ Nordberg Britadores de mandíbulas série C Metso Brasil, disponível em : [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/0D7557574F5A77CD42256B7B00342A2A/\\$File/C_Series_Portuguese.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/0D7557574F5A77CD42256B7B00342A2A/$File/C_Series_Portuguese.pdf)

Tabela 80 - Produtos comuns das plantas estudadas

	Pedreira (Lafarge)	Usina móvel (Recinert)	Usina fixa (URBEM e ECO-X)
Produtos	bica corrida areia pedrisco brita 0 a 5 rachão pó de pedra brita graduada	bica corrida	bica corrida Areia Pedrisco brita

O diesel utilizado na produção emite uma quantidade de CO₂ muito superior à emissão da eletricidade. Isso se deve principalmente à matriz energética brasileira ser composta majoritariamente de hidroeletricidade, que é limpa no ponto de vista de emissões de CO₂.

Britadores móveis são usualmente à diesel ou, caso elétricos, utilizam geradores movidos à diesel para o fornecimento de eletricidade. Devido principalmente a esse fator, é o tipo de britador mais poluente para a produção dos agregados, possuindo grande influência na emissão total da usina, conforme identificável na *Figura 48*.

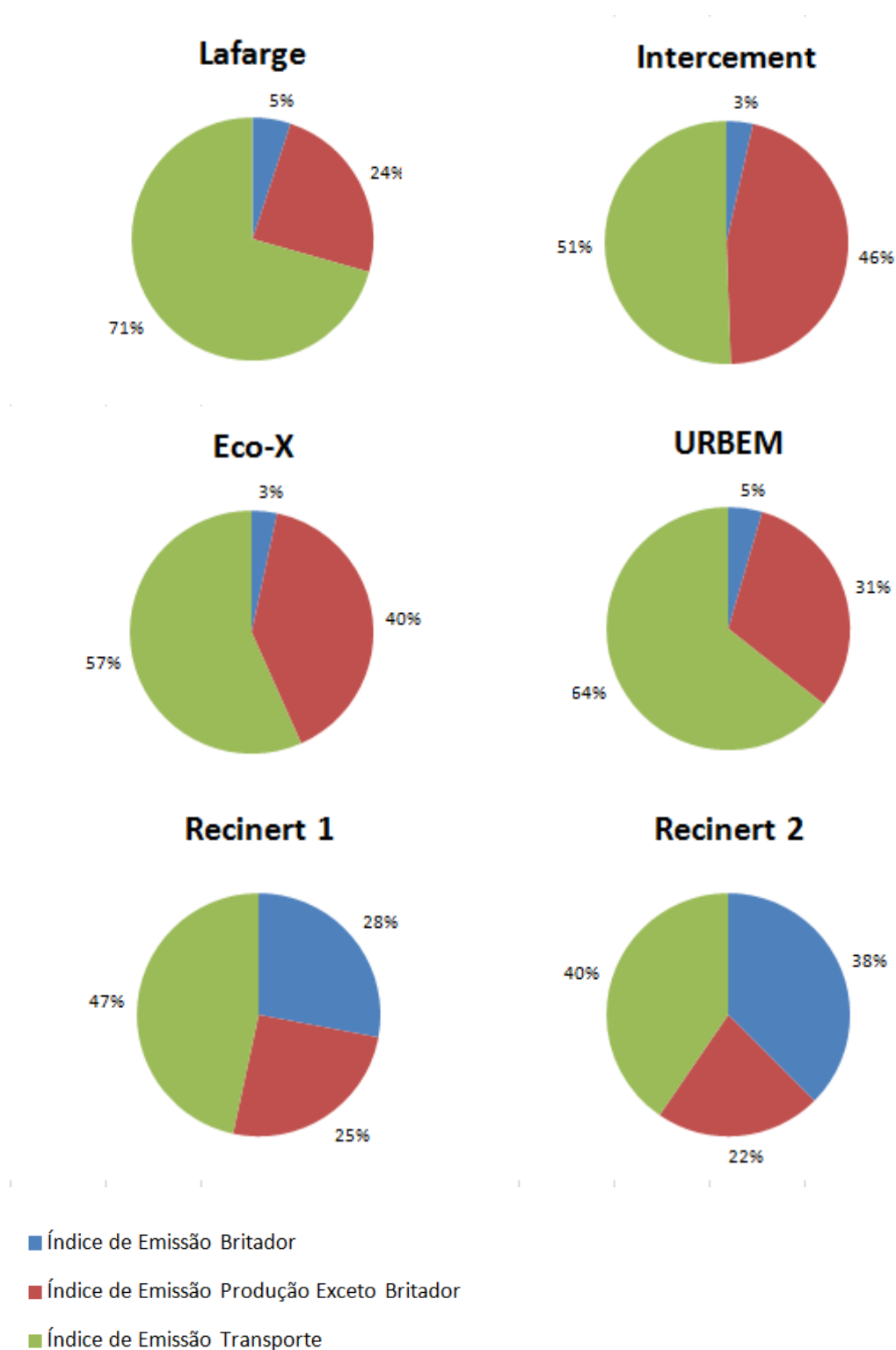


Figura 48 - Participação de cada fonte de emissão na emissão total de cada planta.

Foi identificado que as emissões dos equipamentos de carregamento do material nos caminhões são maiores emissores que os próprios britadores, caso estes sejam elétricos. As escavadeiras hidráulicas e pás carregadeiras apresentam

consumo muito variável de diesel conforme seu tamanho, tipo de utilização, fabricante, idade, destreza do operador e intensidade de uso, portanto as emissões desses equipamentos foram bastante díspares entre as unidades estudadas.

É possível identificar influência da escolha de equipamentos de carregamento na emissão unitária. A usina de reciclagem fixa Eco-X utiliza duas escavadeiras que consomem 15 litros por hora de diesel cada para carregar o resíduo no britador e agregado nos caminhões. A URBEM, por sua vez, utiliza duas pás carregadeiras para realizar o mesmo trabalho com produtividades semelhantes consumindo apenas 10 litros por hora cada.

Conforme entrevistas, os principais consumidores de agregado reciclado são grandes construtoras e o setor público. Pequenas obras e de canteiro reduzido não justificam a utilização de um material tão específico, uma vez que um mesmo carregamento de brita, por exemplo, é utilizado tanto para a fundação, quanto para a estrutura e pavimento, o que não seria possível com o agregado reciclado. Caso o empreiteiro queira utilizar, ele é obrigado a separar os diferentes materiais e ainda correr o risco de utilização equivocada pelos operários, não havendo uma redução expressiva no custo.

5.2.5. ANÁLISE DAS DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE

Pelo levantamento de distâncias realizado, observaram-se alguns padrões e constatações sobre a localização das pedreiras e usinas de reciclagem que atendem à RMSP:

Em relação às pedreiras, observou-se afastamento médio (em linha reta) semelhante para ambos os pontos representativos, sendo de 31 km para CG RMSP e de 29 km PM, conforme *Tabela 81*. A pequena diferença entre as distâncias obtidas deve-se ao fato de PM situar-se a noroeste, onde há maior concentração de pedreiras. Assim, estima-se que a distância média percorrida na distribuição de brita seja em torno de 40 km.

Tabela 81 - Estudo das distâncias das pedreiras em relação a CG RMSP

Distância Euclidiana		Distância em rede
média	31 km	40 à 42 km
mínima	12,8 km	17 km
máxima	52,3 km	68 à 71 km

Em uma distribuição espacial, observam-se pedreiras entre 5 e 65 km dos pontos representativos, com uma concentração maior, no entanto, em torno do raio de 20 km, que se estende até o raio de 35 km, conforme Figura 49 e Figura 50.

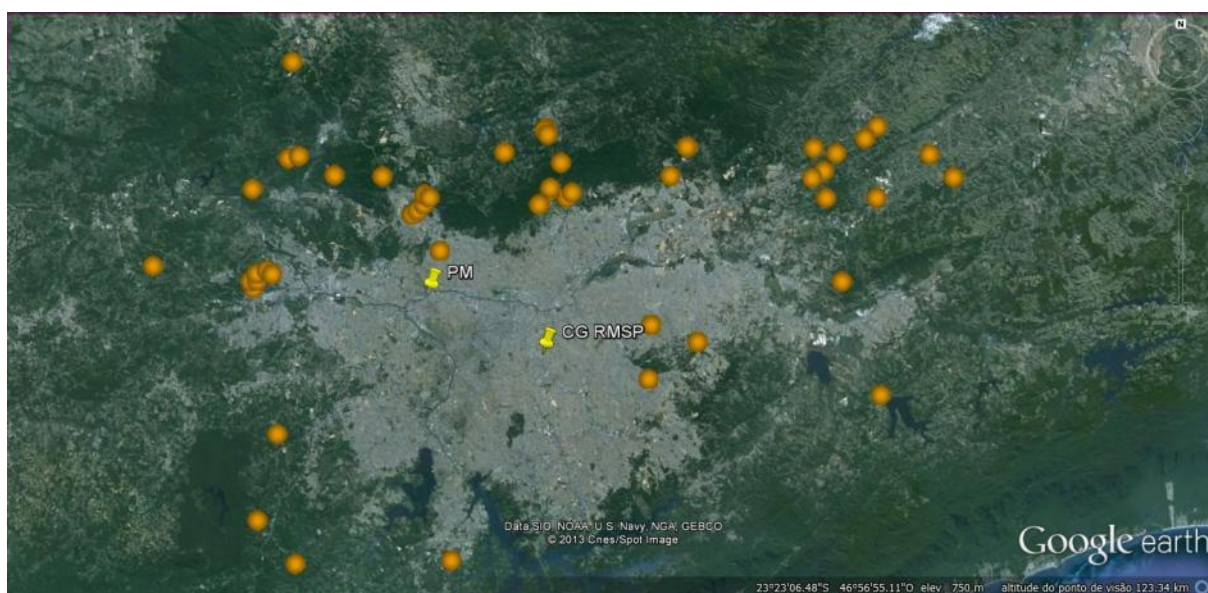


Figura 49 - Pedreiras na RMSP em relação ao ponto CG RMSP.

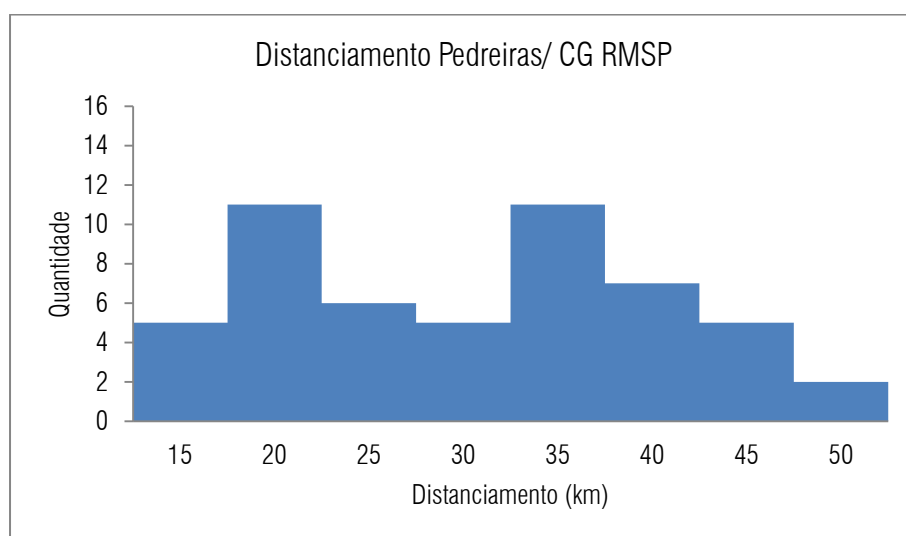


Figura 50 - Distanciamento médio das pedreiras até CG RMSP.

Dado que o fator de circuito utilizado majora os afastamentos encontrados em 30%, as distâncias médias percorridas na distribuição de brita à RMSP aumentam consideravelmente em relação às euclidianas, chegando em torno 65 km conforme *Figura 51*.

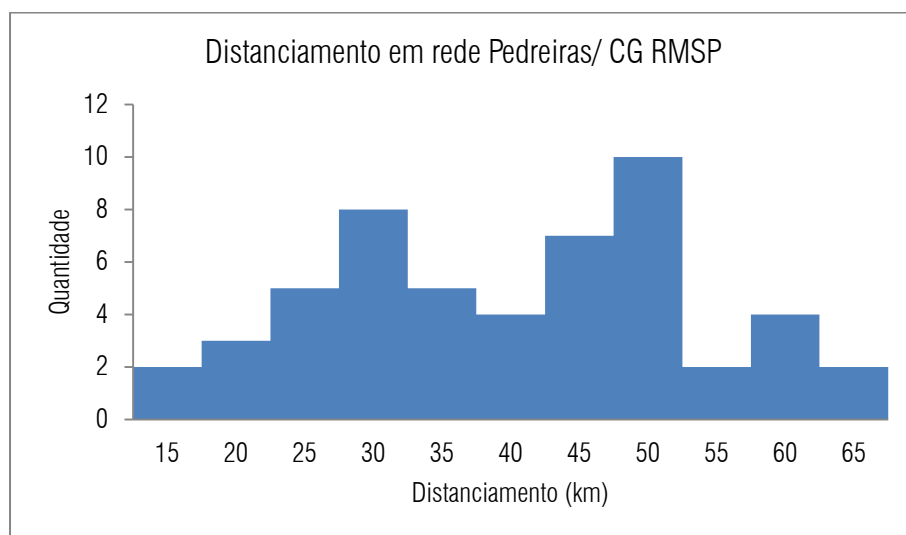


Figura 51 - Distanciamento médio, em rede, das pedreiras até CG RMSP.

Já para as usinas fixas, encontrou-se o menor afastamento dos pontos representativos em relação às atividades de mineração. O distanciamento médio foi de 19 km, conforme *Tabela 82*. Verifica-se ainda, conforme a *Figura 52* e a *Figura 53* que a maior parte das usinas encontra-se entre 15 e 25 km dos pontos.

Tabela 82 - Estudo das distâncias das usinas fixas em relação a CG RMSP

Distância Euclidiana		Distância em rede
média	19 km	25 à 26 km
mínima	5,4 km	7 à 7 km
máxima	38 km	49 à 51 km

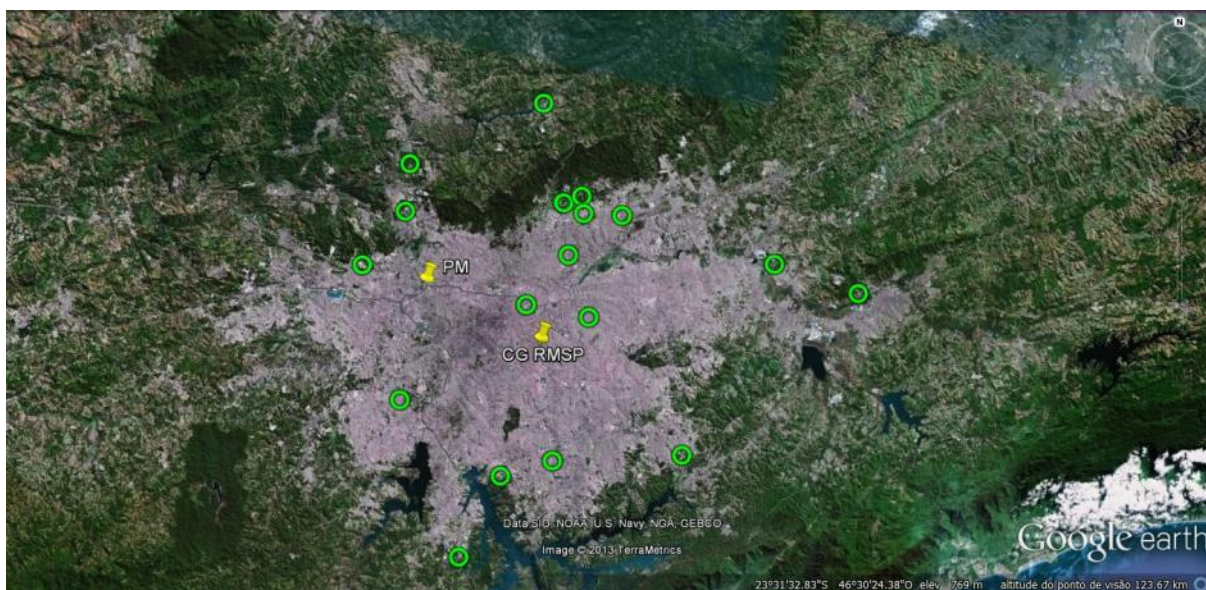


Figura 52 – Usinas fixas na RMSP em relação ao ponto CG RMSP.

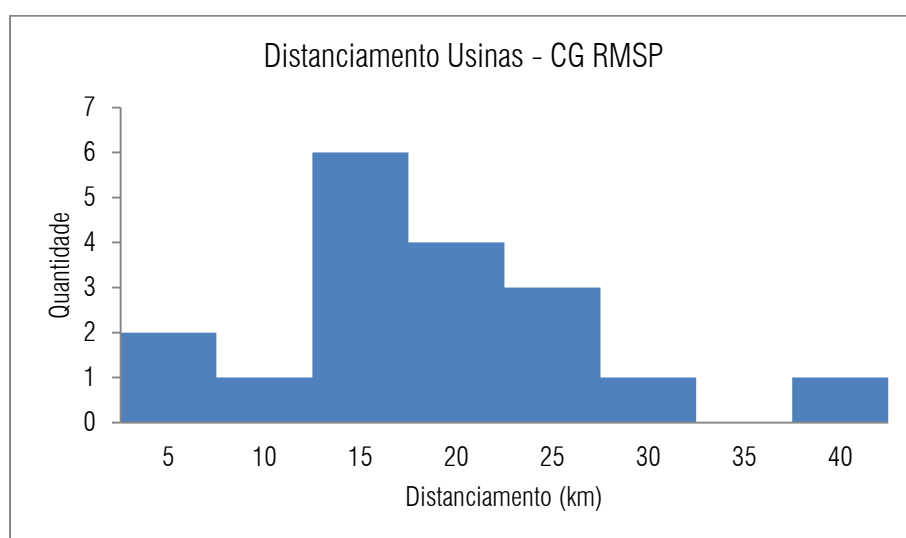


Figura 53 - Distanciamento médio das usinas fixas até CG RMSP.

As distâncias médias percorridas, bem como apontado nos estudos de caso, variam principalmente entre 20 e 30 km, conforme *Figura 54*.

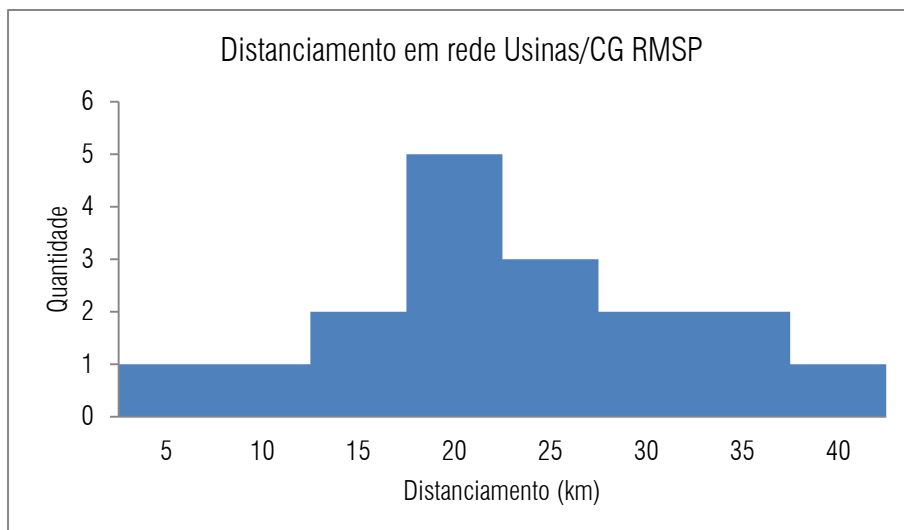


Figura 54 - Distanciamento médio das usinas fixas até CG RMSP.

Apesar da possibilidade de inserção na malha urbana, que diminuiria a distância percorrida em viagens, as usinas fixas estão localizadas, em sua maioria, em zonas periféricas. Dessa forma, as distâncias médias ainda são altas, principalmente em relação ao potencial que apresentam. Deve-se salientar, no entanto, que a distância média das pedreiras é em torno de 50% maior que a das usinas fixas. Portanto, apesar de as distâncias da reciclagem fixa serem consideráveis, são muito menores do que na mineração.

Ressalta-se ainda que se fosse possível mapear as usinas móveis operantes, certamente a distância média diminuiria, pois de acordo com os estudos de caso, a viabilidade de operação para essas usinas é menor e, em alguns casos, o agregado é reutilizado na própria obra, portanto a distância é nula.

Em síntese, observa-se que as minerações operam com maior distância de distribuição, o que se deve, entre outros, por produzirem mais que as usinas de reciclagem, que são menores. Produzindo mais, acabam atendendo um mercado maior e, consequentemente, mais distribuído do que a reciclagem.

Em seguida colocaram-se os dados mapeados comparados aos recolhidos em estudos e comparou-se a variação dos mesmos conforme a *Tabela 83* e a *Figura 55*.

Tabela 83 - Comparação de Dados de Distância Coletados e Mapeados

Distâncias	distância	emissão
	km	kg CO2/t
Dado Lafarge	60	20,4
Distância entre Lafarge e CG RMSP	37,3	12,7
<i>Intercement</i>	25	8,5
Distância Intercement e CG RMSP	34,7	11,8
Média calculada pedreiras	41	13,9
<i>Dado CRCD</i>	30	10,2
Distância entre CRCD e CG RMSP	22,7	7,7
<i>Dado URBEM</i>	20	6,8
Distância entre URBEM e CG RMSP	13,3	4,5
<i>Dado Eco-X</i>	20	6,8
Distância entre ECO-X e CG RMSP	18,3	6,2
Média calculada usinas fixas	26	8,7

* Índice adotado de emissão: 0,34 kgCO2/km

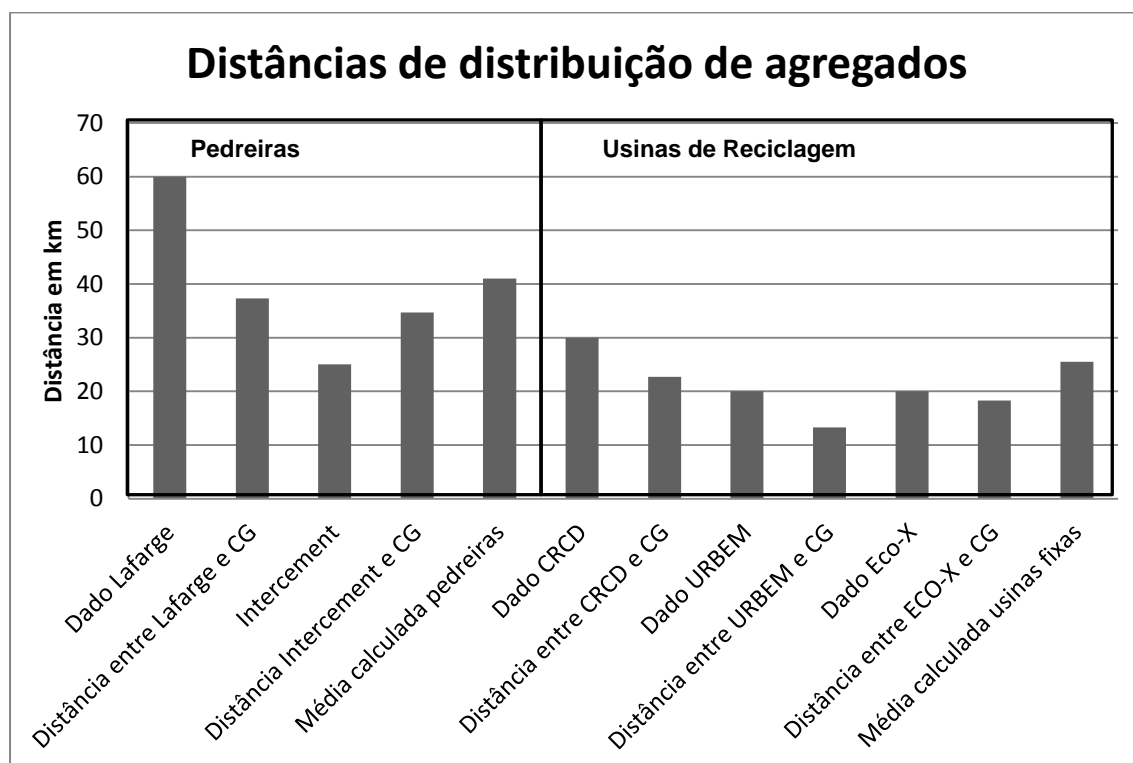


Figura 55 - Comparação de Dados de Distância Coletados e Mapeados.

Observa-se que as distâncias de pedreiras aos consumidores é mais variável, possuindo uma amplitude superior à da distância praticadas pelas usinas de reciclagem que por sua vez, também entregam seus produtos em média por distâncias menores tanto nos estudos de caso quanto nas estimativas feitas por mapeamento. Conforme o caso, as distâncias obtidas pelo mapeamento para a usina específica pode variar fortemente em relação aos dados coletados em forma de entrevista, podendo ser superior, como a Lafarge (37% superior na entrevista), ou inferior, como a Eco-X (8,5% inferior na entrevista), havendo variação em relação à média mapeada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos gerais, a maior dificuldade encontrada na realização do trabalho foi obter dados consistentes e significativos. No entanto, através de validações e estudos de múltiplos casos é possível apresentar indicadores e pontos críticos da qualidade de investimentos e emissões de CO₂ a elas relacionadas.

O produto não possui emissão unitária tão elevada como o cimento, no entanto, os agregados são produtos de elevado consumo, gerando uma emissão importante, principalmente ainda por estarem próximos a centros habitados

Não existem grandes diferenças entre as emissões para a produção de agregados reciclados e agregados naturais (sendo a emissão de pedreiras ligeiramente superior), no entanto, quando se inclui as emissões pela distribuição do produto, os resultados são bastante desfavoráveis para a mineração. A principal vantagem que a reciclagem oferece é a flexibilidade de localização na cidade, principalmente para as usinas móveis, uma vez que são de menor porte e pouco dependentes de condições geológicas, portanto podem produzir próximo aos clientes.

Mesmo que a produção de agregados naturais seja mais eficiente que a reciclagem, existem diversas atividades presentes na mina que necessitam de energia e não estão ligadas diretamente com a produção, como a movimentação de estéril e manutenção de acessos, que geram uma emissão representativa.

Em suma a reciclagem possui vantagens ambientais quanto à emissão de CO₂ principalmente por reduzir a distância de transporte do agregado e assim reduzindo as diversas externalidades negativas decorrentes, principalmente de degradação de vias e congestionamentos. As usinas móveis ainda possuem maior vantagem quando se utiliza o agregado no próprio local de reciclagem, praticamente anulando-se esta distância.

É possível afirmar que uma menor quantidade de energia está relacionada à produção dos agregados reciclados uma vez que passam por menos etapas de processamento e, portanto tem menor emissão unitária para a mesma função que um agregado natural, que sofre maiores processos. Assim existe uma vantagem ambiental para aplicação de agregados reciclados para fins menos nobres.

Foi observado também que existe uma relação entre emissões e o tipo de equipamento de carregamento utilizado, como o porte, produtividade e se é uma escavadeira ou uma pá carregadeira

A análise da qualidade do investimento envolve diversos fatores além dos valores que entram e saem do caixa; a demanda para esse mercado é relativamente recente com relação ao mercado de mineração e, ainda que sejam feitas estimativas para esses valores, o ato de comprar materiais agregados ainda deve ser amadurecido pelos usuários finais até formar um mercado concreto; além disso, um plano de negócios para esse investimento necessita muita pesquisa, como, por exemplo, para decidir o local onde essa usina será implantada, considerando a demanda presente e futura da região; todas essas subjetividades interferem na análise da implantação de uma usina de reciclagem; no entanto, o negócio se mostra viável, considerando taxa interna de retorno e resultado operacional disponível satisfatórios, tanto para compra quanto para locação do terreno para implantação, mas a dinâmica dos dois negócios é diferente.

Enquanto para a compra do terreno tem-se um resultado operacional disponível maior, também incorre num investimento muito maior que provavelmente exigirá a busca por sócios. Além disso, a usina fica amarrada numa localidade e, como foi considerado um ciclo operacional de 20 anos, pode-se ter uma mudança do mercado consumidor para uma localidade longe da usina prejudicando o valor da sua demanda.

Já para a locação tem-se maior flexibilidade, uma vez que após, por exemplo, dez anos, pode-se mudar a localidade da empresa para uma área em que esteja em desenvolvimento aumentando a demanda. Mas corre-se o risco de se perder o terreno. Por outro lado o retorno do investimento é mais rápido, no entanto pagar aluguel diminui o resultado operacional disponível.

Como foi dito, o comprador do agregado reciclado é o responsável por pagar o frete, no entanto foi constatado, por meio da comparação dos preços dos agregados reciclados e naturais, que a distância praticada entre a usina e o comprador influi na decisão dos clientes, diminuindo a demanda conforme o destino final se afasta da usina e, portanto, a área de atuação da usina é limitada, ao que foi observado, aproximadamente um raio de 30km.

No que diz respeito a viabilidade de uma usina móvel, como observado no estudo de caso da Recinert Ambientale, pode ser um grande investimento se aliado

a outros fatores, como se o investidor já estiver atuando na área de agregados, construção ou resíduos e não como um investimento isolado no equipamento. O proprietário de uma usina fixa, construtora ou demolidora pode ser beneficiado pela compra de uma usina de beneficiamento móvel, pois, geralmente já possui uma área para armazenamento do equipamento. Do ponto de vista do cliente, ao que foi observado nas visitas, a contratação dos serviços de beneficiamento pode ser muito favorável dependendo de fatores como o espaço que a obra possui para armazenamento de agregados e as fases da obra em que serão utilizados os agregados reciclados. Por exemplo, uma demolição sucedida pela pavimentação de uma grande área pode utilizar os agregados reciclados da demolição, ou se houver interessados na compra destes agregados nos arredores, este pode ser revendido. Enfim, a reciclagem móvel torna-se interessante se houver destino para o produto do beneficiamento.

Observou-se, no entanto, que alguns casos de sucesso consistem de casos pontuais e não uma indústria consolidada. Certos modelos somente são viáveis quando alguma característica particular do empreendedor esteja presente, como a posse de um terreno, doação de equipamentos, parcerias com a prefeitura e outro ramo da empresa que adquira o material reciclado.

Observa-se que ainda existe uma grande informalidade no setor e pouca fiscalização que atenda critérios técnicos mínimos no produto, o que permitiria um maior mercado consumidor.

Não existe nenhuma forma de incentivos fiscais para a reciclagem de RCD, o que poderia ser uma oportunidade direta de incentivar o investimento em situações mais desfavoráveis.

Devem ser desenvolvidas políticas públicas específicas para regularizar e incentivar o uso de agregados reciclados. Atualmente a resolução CONAMA e Política Nacional de Resíduos Sólidos abordam o assunto, no entanto são superficiais e generalistas, não introduzem um real incentivo à reciclagem de resíduos da construção civil e não configuram um planejamento a longo prazo com metas quantitativas.

A demanda pequena e específica força a redução do preço e assim piora a qualidade do investimento em usinas e aumenta o risco do negócio.

Por fim, é possível verificar um cenário favorável para a reciclagem de agregados. A tendência dos últimos anos revela um claro investimento no setor, assim, com uma forte atuação do governo e entidades reguladoras, fiscalização e punição de informalidades, é possível melhorar a gestão dos resíduos da construção na RMSP. O aparecimento de um mercado e a consolidação da indústria de reciclagem é praticamente inevitável considerando o cenário atual de elevação de preços de agregados naturais e a crescente necessidade de obtenção de selos verdes para marketing de empreendimentos e empresas.

Em termos da análise de emissão de CO₂, recomenda-se para próximos estudos ampliar a amostra de dados a fim de se obter um valor com maior representatividade média de emissões.

No estudo não estão englobadas emissões indiretas de CO₂, que podem possuir uma grande importância no resultado final. Dependendo da aplicação, um agregado de melhor qualidade possibilita um menor consumo de cimento no concreto, que por sua vez possui elevado índice de emissão. O maior consumo de cimento na utilização dos agregados reciclados pode elevar a emissão unitária final do concreto além da emissão caso se estivessem usando agregados naturais. Esta diferença poderia ser estudada mais a fundo tomando como base o estudo realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de; LUZ, Almeida Adão Benvindo da; **Manual de Agregados para Construção Civil**. Rio de Janeiro: Centro De Tecnologia Mineral - CETEM e Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, 2012.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição**. 2000. 115p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 187p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S. C. et al. **Desenvolvimento de Novos Mercados para a Reciclagem Massiva de RCD**. 2002.

ANGULO, S. C. et al.; **Metodologia de Caracterização de Resíduos de Construção e Demolição**. In: VI Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações. 2003.

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. São Paulo. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.114. Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. São Paulo. 2004.

ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição); IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). **Lista das usinas de reciclagem no Brasil**. 2012.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. 1997. 185p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BRASIL. Decreto Federal nº 97.632/1989. **Dispõe sobre Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do Relatório do Impacto Ambiental – RIMA.**

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.**

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA. RESOLUÇÃO n. 1, de dezembro de 1986.**

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA. RESOLUÇÃO n. 237, de dezembro de 1997.**

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA. RESOLUÇÃO n. 307, de dezembro de 2002.**

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA. RESOLUÇÃO n. 369, de dezembro de 2006.**

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.** 2011.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. (a). **Relatório Técnico 30 - Perfil de brita para construção civil.** 2009.

Disponível em:

http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construcao_civil.pdf. Acesso em 10 de setembro de 2012.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – MMA. (b). **Relatório Técnico 31 - Perfil de areia para construção civil.** 2009.

Disponível em:

http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P22_RT31_Perfil_de_areia_para_construcao_civil.pdf. Acesso em 10 de setembro de 2012.

CATERPILLAR, Caterpillar Performace Handbook Edition 29, Caterpillar Inc. Illinois, U.S.A, 2012.

COYLE, Michael. **Effects of Payload on the Fuel Consumption of Trucks**. Department for Transport. Inglaterra. 2007.

CRUVINEL, Rodrigo Rosa da Silva. et al. **Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros**. Journal of Transport Literature. Manaus. 2012.

EPA (United States Environmental Protection Agency). Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/>>. Acesso em janeiro de 2013.

FARINA, Elizabeth. M. M. Q. et al. **Padrão de concorrência e competitividade da indústria de materiais de construção**. São Paulo: Editora Singular, 1997. 266 p.

FERNANDES, César Augusto Becker de Araújo. **Gerenciamento de Riscos em Projetos: Como Usar o Microsoft Excel para Realizar a Simulação Monte Carlo**. 2005. Paraná: Universidade Técnica do Paraná – UTFPR.

FGV (Fundação Getúlio Vargas). **Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. São Paulo: 2012.

FIRJAN, **Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil?**; Estudos para o Desenvolvimento do Rio de Janeiro nº8. Rio de Janeiro: agosto de 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GORE, A. **Uma verdade inconveniente**. Barueri: Manole, 2006.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo 2010**. Brasília, 2010.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Texto para discussão: 1606. Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros**. Brasília: 2011.

JADOVSKI, I; **Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. 2005. 178p. Dissertação

(Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.– Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

KULAIF, Y. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais: estudo de caso da indústria de pedras britadas do Estado de São Paulo**. 2001. 144p. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LA SERNA, Humberto Almeida.; REZENDE, Márcio Marques. **Agregados para a Construção Civil**. ANEPAC (Associação Nacional de Produtores de Agregado para Construção), 2009.

Disponível em:

<http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2012.

LELLES, Leandro Camillo de et al. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d' água**. Sociedade de Investigações Florestais. Viçosa.2005.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

MELO, Adriana Virgínia Santana. **Diretrizes para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil**. Dissertação (mestrado). 232 p. – Universidade Federal da Bahia– Escola Politécnica, Salvador, 2011.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach et al. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986 – 2008**. Porto Alegre: In: Ambiente Construído. 2009.

NETO, A. F. F. **Um processo para a determinação do fator de circuito: estudo de caso na cidade de Petrolina – PE**. 2010. 107p. Trabalho de Graduação. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2010.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

OLIVEIRA, L. S. et al. **Emissões de CO2 dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD): dois estudos de caso**. 3º Encontro Nacional Sobre Reaproveitamento de Resíduos na Construção Civil. São Leopoldo, 2013.

PINTO, T.P. **Gestão ambiental dos resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: SindusCon, 2005. 45p. São Paulo, 2005.

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

PINTO, T. P. **Relatório PT 1** [juntado ao Processo 2002 – 0120.686-9 da Prefeitura do Município de São Paulo]. São Paulo, 2003.

PINTO, T. P.; GONZÁLEZ, J. L. R. **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil**. Brasília: CAIXA, 2005.

Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/19473241/1-Manual-RCD-Ministerios-Vol1>. Acesso em 20 de novembro de 2012.

PRADO, C. **A cidade de São Paulo – geografia e história**. São Paulo: Brasiliense, 1983.

ROCHA-LIMA, João da; **Análise de Investimentos – Princípios e Técnicas para Empreendimentos do Setor da Construção Civil**. 1993. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SÁNCHEZ, L.H. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do meio ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental; Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP). Comitê de Meio Ambiente do SindusCon-SP . **Resíduos da Construção Civil e o Estado de São Paulo**. São Paulo-SP, 2012.

SÃO PAULO (Município).. **A questão Ambiental Urbana: cidade de São Paulo**. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, 1993.

SÃO PAULO (Município). Decreto Municipal Nº. 53.323. **Plano de gestão integrada de resíduos sólidos do município de São Paulo**.

SÃO PAULO (Município). Lei Municipal nº 13.430/2002. **Plano Diretor Estratégico no Município de São Paulo**.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 13.478/2002. **Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo**.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. 2003. 130p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SOUZA, D. M. O. M.; FALCÃO, C. M. B. B.; FERREIRA, J. Z.; MATAR, M. R.; SOUZA, R. R. **Análise da qualidade do investimento e emissões de CO₂ associadas à produção de agregados reciclados na Região Metropolitana de São Paulo**. 2013. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SOUZA, M. P. R. de. **Avaliação das emissões de CO₂ antrópico associadas ao processo de produção do concreto, durante a construção de um edifício comercial, na Região Metropolitana de São Paulo**. 2012. 127p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2012.

ULSEN, C. **Caracterização e Separabilidade de Agregados Miúdos Produzidos a Partir de Resíduos de Construção e Demolição**. 2011. 222p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FERNANDES, César Augusto Becker de Araújo. **Gerenciamento de Riscos em Projetos: Como Usar o Microsoft Excel para Realizar a Simulação Monte Carlo**. 2005. Paraná: Universidade Técnica do Paraná – UTFPR.

VANZOLINI (Fundação). **Referencial Técnico de Certificação**. Edifícios Habitacionais. São Paulo: 2010.

Disponível em:

<http://vanzolini.org.br/download/RT-Edif%C3%ADcios%20habitacionais-V1-fevereiro2010.pdf>. Acesso em 1 de dezembro de 2012.

WHITAKER, W. **Técnicas de Preparação de Areia para Uso na Construção Civil**. 2001. 153p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ANEXOS

ANEXO I: Roteiro de entrevistas

ANEXO II: Estudos de Casos

ANEXO III: Cotação de preço de agregados

ANEXO IV: Cotação de preço de terrenos

ANEXO I: Roteiro de entrevistas

Usina Móvel de Reciclagem de RCD

Produção:

- Produtividade média horária e mensal (real):
- Tempo de operação da usina diário e mensal:
- Custos dos equipamentos (valor de compra/aluguel dos principais equipamentos):
- Consumo mensal de diesel e custo relacionado:
- Consumo mensal de energia elétrica e custo relacionado:
- Consumo mensal de água e custo relacionado:
- Equipamentos utilizados (marca e modelo): Vide tabela abaixo
- Quantos funcionários são necessários para operar? Salário?
- Qual a metragem aproximada do local para guardar o equipamento?
- Quais os custos de manutenção dos equipamentos?

Venda e distribuição:

- O serviço de entrega é próprio ou terceirizado?
- Raio de distribuição de agregados (distâncias médias e máximas de distribuição do produto):
- Número de viagens diárias:
- Custo de transporte:
- Modelo e capacidade dos caminhões:
- Idade da frota:
- Percentagem do total reciclado utilizado no próprio local de operação
- Quanto é cobrado pelo resíduo recebido? Há distinção no tipo de entulho?
- Quanto é cobrado por m³ ou tonelada de agregado reciclado vendido? Há distinção de preços entre os tipos de agregados vendidos?

Equipamentos	Quantidade	Combustível usado	Consumo	Unidade	Tempo de operação diária
Retro-escavadeira				litros/hora	
Britador					
Outros					

Equipamentos móveis (internos)

Equipamentos	Quantidade	Capacidade (m³ ou ton.)	Combustível usado	Consumo	Unidade	Tempo de operação diária
Caminhões (capacidade)			Óleo Diesel		litros/hora	

Usina Fixa de Reciclagem de RCD

Recepção do resíduo:

- Quanto é cobrado pelo resíduo recebido? Há distinção no tipo de entulho?
- Distância (média e máxima) entre a origem do resíduo e a usina
- Quantidade diária e mensal recebida

Produção:

- Área da planta e custo de aluguel ou compra do terreno:
- Produtividade média horária e mensal (real):
- Tempo de operação da usina diário e mensal:
- Custos dos equipamentos e implantação da usina:
- Consumo mensal de diesel e custo relacionado:
- Consumo mensal de energia elétrica e custo relacionado:
- Consumo mensal de água e custo relacionado:
- Equipamentos utilizados (marca e modelo): Vide tabela abaixo
- Quantos funcionários são necessários para operar? Salário?
- Qual a metragem aproximada do local para guardar o equipamento?
- Quais os custos de manutenção dos equipamentos?

Venda e distribuição:

- O serviço de entrega é próprio ou terceirizado?
- Raio de distribuição de agregados (distâncias médias e máximas de distribuição do produto):
- Número de viagens diárias e quantidade vendida:
- Custo de transporte:
- Modelo e capacidade dos caminhões:
- Idade da frota:
- Quanto é cobrado por m³ ou tonelada de agregado reciclado vendido? Há distinção de preços entre os tipos de agregados vendidos?
- Há receitas extras consideráveis com outros materiais?
- Quanto em média é gasto com imposto mensalmente?

Equipamentos internos:

Descrição da Fonte	Quantidade	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m ³ /h	Tempo de Operação (horas/dia)
Escavadeiras						
Caminhões basculantes						
Britador						
Demais veículos internos					-	
Administração e outras instalações					-	
Outros equipamentos						

Pedreiras**Produção:**

- Produtividade horária e mensal:
- Tempo de operação diária e mensal :
- Área da mina:
- Consumo mensal de diesel:
- Consumo mensal de energia elétrica:
- Venda e distribuição:

- Raio de distribuição de agregados (distâncias médias e máximas de distribuição do produto):
- Caminhão volta carregado? Com que frequência?
- Número de viagens diárias:
- Modelo e capacidade dos caminhões:
- Idade da frota:

Equipamentos internos:

Descrição da Fonte	Quantidade	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas/dia)
Escavadeiras						
Caminhões basculantes						
Britador						
Demais veículos internos					-	
Administração e outras instalações					-	
Outros equipamentos						

ANEXO II: Estudos de Casos

1. PEDREIRAS

1.1. LAFARGE

Nome: Indústria e Comércio de Extração de Areia Khouri Ltda. - Concretam S/A (nome fantasia: Lafarge Unidade Cajamar)

Endereço: - Estrada Flavio Beneducce, s/nº. Cajamar - SP

Site: http://www.lafarge.com.br/wps/portal/br/3_B_8-Contacts_AND_locations

Data da visita: 18/03/2013

Contato: Eng. Mariana Batalim - Coordenadora de Manutenção e Produção

1.1.1. Sobre a unidade

A mina iniciou suas atividades em 1954 e, décadas depois, foi vendida à Lafarge, que passou a operá-la. Atualmente conta com 50 funcionários e produz 95 mil toneladas de agregados por mês. A rocha extraída é a calcária, que é de boa qualidade para a construção civil e que permite preço acima da concorrência.

A unidade produz britas em diversas granulometrias, pedrisco e bica corrida. Parte de seu fornecimento vai diretamente, por esteiras, para a Votorantim, produtora de concreto usinado, que é sua vizinha. O restante é distribuído para clientes diversos, em municípios como São Paulo, Jundiaí, Itupeva e Loureira. Estima-se que 80% de sua produção é distribuída dentro de um raio de 60 km, porém chegam a atender clientes até 120km. A empresa credita esse seu raio de distribuição de 60km à qualidade de seu produto, e acredita que o raio de distribuição de outras pedreiras seja em torno de 50km.

O preço médio de seu produto é R\$30,00/tonelada (sem o frete), sendo que o pedrisco custa R\$38,00/ton. e a bica corrida, R\$17,00/ton. Foi informado que o preço do pedrisco da concorrência é R\$27,00/ton. devido à qualidade inferior.

Um fato relevante que vem acontecendo nesta unidade é que a única mina existente no momento já foi largamente escavada ao longo deste meio século de operação, por isso está bem profunda e estreita, fatores que dificultam e limitam a viabilidade de sua operação. Assim, foram iniciadas escavações para uma nova

mina, porém, até que se chegue à rocha a ser explorada, é necessário eliminar todo o solo e rocha fraturada que se encontram sobre a rocha. Atualmente, a escavação de solo para a nova mina demanda 40% dos equipamentos (caminhões, escavadeiras), ao passo que apenas 60% dos equipamentos estão de fato sendo utilizados para a extração de rocha. Estima-se que a escavação de solo seja atividade relevante por mais três anos, pois a rocha sã encontra-se a mais de 15 metros de profundidade.

1.1.2. Impactos Ambientais

A visita não foi focada no levantamento dos impactos ambientais de forma geral, e sim no levantamento do consumo de diesel e energia elétrica, a fim de calcular as emissões de CO₂. Pode-se, porém, inferir alguns dos impactos particulares desta unidade.

Além dos aspectos comuns às atividades de mineração de rocha, ressaltam-se, no caso da Lafarge, a proximidade de habitações e o alto volume de material inerte gerado.

Quando há proximidade de habitações, a geração de material particulado configura-se como problema. Na visita, foi perceptível a camada deste material que se depositava nas vias de acesso, pois era um dia chuvoso, e este foi transformado em considerável quantidade de lama. Em dias secos, o material particulado pode propiciar doenças respiratórias na população, além de causar desconforto, no sentido de sujar as casas. Observa-se que outro impacto à população é a degradação das vias, que se deterioram devido ao fluxo de caminhões de alta tonelagem. Quanto às detonações, grandes causadoras de conflitos, não foi informada a técnica utilizada, nem se já houve problemas com a população.

O outro impacto relevante no atual momento da mina é a alta geração de solo a ser descartado. As distâncias percorridas não são tão grandes como no caso da Serveng Barueri, pois o solo é disposto em bota-fora dentro dos limites da propriedade da Lafarge. Ainda assim, a atividade se configura como impacto pelas emissões de CO₂ que gera através da operação de escavadeiras e caminhões, que representa praticamente metade das atividades da mina.

1.1.3. Dados obtidos

Tabela 84 - Dados obtidos na pedreira Lafarge

Produção		
Equipamentos Estacionários	Alimentação	Observação
2 perfuratrizes	Diesel	
4 britadores (1 primário, 2 secundários, 1 terciário)	Elétrico	Produtividade: 600 t/h
4 peneiras vibratórias	Elétrico	
Equipamentos Móveis	Alimentação	Observação
8 caminhões + 1 reserva	Diesel	<ul style="list-style-type: none"> • 5 do ano 2011, 4 de 2010. • Modelo: Ford Truck, basculante, 3 eixos. • Capacidade: 25 t. • Tempo de operação: 6h às 18h. • Distância mina-britador: 2200m. • 26 a 30 viagens/dia/caminhão
2 escavadeiras	Diesel	
1 carregadeira	Diesel	
1 caminhão pipa	Diesel	
1 comboio	Diesel	
Decapeamento (retirada de vegetação e solo)		
Equipamentos Móveis	Alimentação	Observação
6 caminhões	Diesel	Tipo: basculante, 3 eixos
2 escavadeiras	Diesel	

Transporte externo (terceirizado)
Clientes: São Paulo, Jundiaí, Itupeva, Louveira
Raio de distribuição: <ul style="list-style-type: none"> • até 60 km (em 80% dos casos) • Pode chegar até 120 km • Acreditam que o raio médio de outras pedreiras é de até 50 km
Frete: para Cajamar-Jundiaí, representa 30% do preço do produto
Caminhões: <ul style="list-style-type: none"> • 6 eixos • Idade: aproximadamente 10 anos • Modelos: <ul style="list-style-type: none"> - Volvo FH12 380 (ou seria 38D?) - Volvo FH 440 - Mercedes Axos 2544 e2540 - Iveco 330

Consumos
<ul style="list-style-type: none"> • CONSUMO ENERGÉTICO: R\$ 100 000/ mês - 368 000 kWh - R\$0,26106 é o valor unitário da energia
<ul style="list-style-type: none"> • CONSUMO DE DIESEL MENSAL: 40000 a 52000 litros de diesel/mês
<ul style="list-style-type: none"> • CONSUMO DE ÁGUA: 57 l/ tonelada de agregado produzido (50% da rede, 50% caminhão pipa)

1.1.4. Relatório fotográfico



Figura 56 - Imagens da pedreira Lafarge

1.2. INTERCEMENT BARUERI

Nome: Intercement

Endereço: - Estrada da Pedreira, s/nº. Barueri - SP

Data da visita: n/a (entrevista por email)

Contato: Rosiany da Paixão Silva - Gerência de Desenvolvimento e Tecnologia

1.2.1. Dados obtidos

Produção:

- Produtividade horária e mensal:
 - 500 t/h
 - 90.000 t/mês
- Tempo de operação diária e mensal :
 - 9 h/dia
 - 189 h/mês
- Área da mina:
 - 12 ha
- Consumo mensal de diesel:
 - 50.000 l/mês
- Consumo mensal de energia elétrica:
 - 140.000 Kw/h mês

Venda e distribuição:

- Raio de distribuição de agregados (distâncias médias e máximas de distribuição do produto):
 - 25 Km
- Caminhão volta carregado? Com que frequência?
 - Não
- Número de viagens diárias:
 - 3
- Modelo e capacidade dos caminhões:
 - Todas
- Idade da frota:
 - 5 anos

Equipamentos internos:

Descrição da Fonte	Quantidade	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas)
Escavadeiras	1	Diesel	40	l/h	400	9
Caminhões basculantes	5	Diesel	14	l/h	18	9
Britador	4	Energia Elétrica			335	9
Demais veículos internos	2	Diesel	8	l/h	NA	9
Administração e outras instalações					-	
Outros equipamentos	4	Diesel	18	l/h	3	9

- Outros Equipamentos:
 - 3 pás carregadeiras
 - 1 patrol
- Veículos Internos:
 - 1 caminhão comboio
 - 1 caminhão pipa

2. USINAS FIXAS

2.1. CRCD

Nome: Centro de Referência de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolições - CRCD

Endereço: - Rua Sérgio Ribeiro da Silva S/N – Osasco - SP

Site: <http://inac.org.br/crcd1/>

Data da visita: 16/11/2012

Contato: Daniel Toniate - Pesquisador Ambiental

2.1.1. Sobre a unidade

A usina CRCD iniciou suas atividades em 13 de maio de 2009 e foi formada da parceria do Banco do Brasil com o Instituto Nova Ágora de Cidadania – Inac, a Prefeitura de Osasco e a Companhia de Seguros Aliança Brasil – BB Seguros. Segundo o entrevistado, o acordo foi considerado um modelo único de parceria que uniu o terceiro setor, poder público e entidade privada em um projeto que preza pela sustentabilidade.

São recicladas, em média 180 toneladas RCD/dia, o que equivale a uma produção mensal média de 3600 ton., sendo que 2000 ton./mês são destinadas às obras da prefeitura e as outras 1600 ton., comercializadas. Os agregados produzidos são: areia, pedrisco, brita, bica corrida e rachão (pedaços de rocha com diâmetro maior que brita). O preço dos produtos é R\$28,00/tonelada e o mesmo deve ser retirado (não há entrega).

A CRCD aceita resíduos da Classe A da Resolução Conama 307. O recebimento de RCD pode ser feito por empresas de coleta que realizem cadastro na CRCD. Para pequenas quantidades (menos de 15 toneladas/quinzena), a taxa de recebimento é de R\$75,00/caçamba. Para quantidades acima de 15 toneladas/quinzena, a taxa é de R\$8,00/tonelada.

Em termos de área construída, produtividade e custos operacionais a CRCD se assemelha a outras usinas, porém, ela conta com uma série de particularidades que fazem com que dados financeiros sejam discrepantes dos outros estudos de caso.

A primeira particularidade é que por ser pública, a maior parte de sua produção é utilizada nas próprias demandas do município e o montante comercializado deve servir para pagar as despesas de funcionamento da usina.

A segunda particularidade é que, ainda por ser pública, seu terreno foi doado. Pelos estudos desenvolvidos, o preço do terreno é fator muito impactante na análise de qualidade do investimento. Os equipamentos, por sua vez, também foram doados, porém pelo Banco do Brasil.

Logo, a CRCD configura-se como um caso muito particular, no qual a maior parte dos investimentos foi cedida. Assim é difícil estimar se uma usina que não contasse com doações e operasse nas mesmas condições de produtividade que a CRCD conseguiria viabilizar-se financeiramente.

2.1.2. Dados obtidos

Dados obtidos na visita, utilizados para as análises de AQI e de emissões de CO₂.

Descrição	Gasto mensal
Elétrica	R\$ 10.000,00
Água (envolvida no processo)	R\$ 2.000,00
Folha de pagamento de funcionários	R\$ 20.000,00
Diesel	R\$ 2.000,00
Graxa	R\$ 150,00
Filtro	R\$ 300,00
Óleos e lubrificantes	R\$ 500,00
Correias	R\$ 100,00
Manutenção geral (Parafusos e soldas)	R\$ 300,00
TOTAL MÉDIO MENSAL	R\$ 35.350,00

2.1.3. Relatório Fotográfico





Figura 57 - Imagens da usina CRCD

2.2. URBEM

Nome: URBEM - Usina de Reciclagem e Beneficiamento de Entulho e Materiais

Endereço: Passagem de Servidão Toyota – São Bernardo do Campo - SP

Site: <http://www.urbem.com.br>

Data da visita: 09/03/2013

Contato: Marcelo Baldini – Administrador da usina

2.2.1. Sobre a unidade

A URBEM é uma empresa privada de reciclagem e iniciou suas atividades em 2004. Instalada em um terreno de 7000m², conta com 18 funcionários e sua produtividade é de 40 toneladas/hora (ou 34 m³/h). Produz areia, pedrisco, brita, rachão e bica corrida, que são todos vendidos a R\$32,00/m³, acrescidos do frete, que é de R\$0,65/km.m³.

A URBEM aceita apenas resíduos de concreto e de rocha natural como sobras de brita ou blocos e peças pré-moldadas de concreto. A taxa de recebimento deste RCD é de R\$60,00/caçamba.

Diferentemente do observado em outras usinas fixas de reciclagem, e como mencionado anteriormente, a URBEM está situada em uma área urbanizada, próxima a importantes vias e em uma zona industrial que conta com atividades de maior valor agregado, como a sua vizinha, Toyota. A escolha por essa localização se deu, segundo a empresa, de forma estratégica.

Em primeiro lugar, São Bernardo do Campo é uma região que não conta com áreas de mineração ou aterros de inertes próximos, o que propicia a inserção de agregados reciclados em um mercado menos competitivo. Em segundo, a escolha por um imóvel melhor localizado, e com maior custo de aluguel, em detrimento de um mais periférico e menor custo, é compensada pelo menor custo de frete, pois assim estão mais próximos dos consumidores.

Os pontos geradores de RCD que a URBEM atende são: Região do ABC, Mauá, Ipiranga, Sapopemba e Brás. Eventualmente recebe RCD de maiores distâncias, como os gerados no acidente em Congonhas e na demolição do edifício São Vito. Entre seus clientes citam principalmente grandes empreendimentos como o coletor-tronco do ABD, o Rodoanel e o estacionamento da USP Leste.

2.2.2. Observações apontadas durante entrevista

Na entrevista realizada com o administrador da URBEM, foram discutidos alguns pontos sobre a reciclagem de RCD.

Entre as dificuldades apontadas pela empresa, cita-se que tanto a oferta, quanto a demanda são sazonais: houve momentos em que o pátio ficou vazio e outros em que ficou entupido. Isso se deve ao descompasso entre as quantidades recebidas e vendidas que pode ocorrer.

A empresa observa ainda que a utilização de agregados reciclados para obras de pequeno porte pode não compensar pelos seguintes fatores:

- Pequena economia com o agregado mais barato;
- Pequeno consumo;
- Falta de espaço para armazenamento;
- Um mesmo tipo de agregado (natural) serve para várias funções na obra: argamassas, concreto, etc;
- Perigo de utilização de agregados reciclados em locais impróprios.

2.2.3. Dados obtidos

Dados obtidos na visita, utilizados para as análises de AQI e de emissões de CO₂.

Equipamentos e produtividade:

1) Quais os equipamentos utilizados? Marca? Modelo?

Britador e peneira. Marca: MAQ Brit, reformados.

2) Qual a fonte de energia dos equipamentos de beneficiamento?

Equipamentos elétricos.

3) Qual a produtividade teórica (máxima) desses equipamentos?

Qual a produtividade real?

50 t/hora = ~42 m³/hora, produtividade real é cerca de 80%. Britador funciona por cerca de 10 horas por dia.

4) Quantidade média de entulho recebido por mês/ano?

Tentam atingir o objetivo, que é de 300m³/dia.

5) Quantidade média de agregado vendido por mês/ano?

Tentar atingir o objetivo que é de cerca de 300m³/ dia, mas esses valores não são computados.

Custos:**6) Qual a metragem aproximada do terreno e custo?**

7000 m². Aluguel: R\$ 40.000,00 por mês.

7) Investimentos:

Britador com peneiras e correias, nivelamento do terreno, fundação e montagem

+ instalação = R\$ 500.000,00 (valores de 2004).

O tapume de contenção de material particulado foi feito posterior à instalação da usina, e não está inserido nos R\$500.000,00 iniciais.

8) Gastos com água e luz.

Luz: R\$2500,00 (hoje), mas já chegaram a gastar R\$6.000,00 quando a empresa era nova.

Água: 3 caminhões por dia, que custam 100,00 reais/dia.

9) Quais os gastos com manutenção dos equipamentos?

Periódica/preventiva do britador: R\$2.000,00/ mês.

Reposição de martelos e manutenção corretiva: R\$ 4.000,00 o jogo/mês, conforme época do ano (quanto mais chove, maior a frequência de troca).

Pás: R\$6000,00/ mês.

Valores por mês, não incluem manutenção corretiva eventual, os gastos com o desgaste do martelo são para um mês em época de seca, quando em época de chuva, pode ser utilizado um jogo (10 martelos a R\$400,00 cada) a cada 20 dias.

10) Quais impostos são cobrados?

É cobrado Imposto de Indústria Extrativa. Cerca de 11% do faturamento mensal / mês.

O IPTU está embutido no aluguel.

11) Quantos funcionários? Salário?

18 funcionários, com salário médio de R\$1.500,00 por mês, incluindo os encargos. 2 mecânicos, 2 operadores de pás-carregadeira, 8 no pátio, 2 guardas, 2 administração.

12) Quanto é cobrado por m³ ou tonelada de entulho recebido? Há distinção no tipo de entulho recebido?

Não há distinção no preço do entulho recebido, que custa cerca de R\$ 60,00 por caçamba.

13) Quanto é cobrado por m³ ou tonelada de agregado reciclado vendido? Há distinção de preços entre os tipos de agregados vendidos?

Não há distinção na venda por tipo de material. R\$32,00/m³.

14) Há receitas extras consideráveis com outros materiais?

Há venda de aço, mas a receita não é considerável (cerca de R\$2000,00 por mês) e geralmente revertida para os funcionários.

Transporte e Frete:

15) Transporte próprio ou fretado? Custo? Distancia média trabalhada.

Trabalham com frete de caminhões terceirizados, ao custo de R\$0,65/km/m³. A distância média percorrida para distribuição é de 25 km. A viabilidade de preço de entrega é de 20 km.

Frota: 4 caminhões marca Ford; idade aproximada: 10 anos; capacidade: 18 m³.

Cada caminhão faz cerca de 6 viagens por dia e geralmente 1 quebra. Número médio de viagens por dia é 18.

A distância para calcular o valor do frete é medida apenas um vez (a distância entre dois pontos).

Observações:

- Tentam ao máximo praticar o Frete com Retorno (quando o caminhão leva o material e trás algum outro bem de outra empresa, ou vice versa), mas raramente conseguem (em torno de 10% das viagens).
- Para o administrador, é claro que não compensaria ter uma frota própria de caminhões para entrega, “dá muito trabalho”.
- Fator de empolamento dos produtos:
 - areia: 1,7
 - rachão: 1,3
 - bica: 1,5
 - média produtos / resíduo = 0,7

2.3. ECO-X

Nome: Eco-X

Endereço: Rua Madre Paulina, 16 - Guarulhos - SP

Site: <http://www.usinaecox.com/>

Data da visita: abril/2013

Contato: Sr. Pierre – Sócio da usina

2.3.1. Dados obtidos

Recepção do resíduo:

- Quanto é cobrado pelo resíduo recebido? Há distinção no tipo de entulho?
Sim, R\$120 por caminhão de 15m³
Só recebem resíduo de alvenaria e concreto.
- Distância (média e máxima) entre a origem do resíduo e a usina
Distância média: 20km
Distância máxima viável: 35km
- Quantidade diária e mensal recebida
Variável.
- Origem
Grande SP

Produção:

- Área da planta e custo de aluguel ou compra do terreno:
Terreno de 9000m² alugado. Não forneceu valor de aluguel, mas disse que está entre R\$2 e R\$3 o m²
- Produtividade média horária e mensal (real):
Produtividade média de 400 m³/dia, densidade 1,5 tonelada / m³
- Tempo de operação da usina diário e mensal:
Diária: 8h (horas extras quando necessário)
- Custos dos equipamentos e implantação da usina:
2,5 milhões
- Consumo mensal de diesel e custo relacionado:
Britador elétrico (não sabe quanto consome)
Escavadeira: 15 L/h
- Consumo mensal de energia elétrica e custo relacionado:
3700 kWh no último mês
- Consumo mensal de água e custo relacionado:

Não revelou.

- Equipamentos utilizados (marca e modelo): Vide tabela abaixo
- Quantos funcionários são necessários para operar? Salário?
9 funcionários
- Qual a metragem aproximada do local para guardar o equipamento?
Não perguntei
- Quais os custos de manutenção dos equipamentos?
Não revelou

Venda e distribuição:

- O serviço de entrega é próprio ou terceirizado?
Terceirizado
- Raio de distribuição de agregados (distâncias médias e máximas de distribuição do produto):
Máximo: 35km
- Número de viagens diárias e quantidade vendida:
Assumir caminhões de 15m³ e produtividade de 400 m³/dia
- Custo de transporte:
O custo varia (decrece para maiores distâncias) de 0,7 a 0,5 R\$/km/m³
- Modelo e capacidade dos caminhões:
Modelo: Não soube especificar
Capacidade: 15 m³
- Idade da frota:
Não soube especificar
- Quanto é cobrado por m³ ou tonelada de agregado reciclado vendido? Há distinção de preços entre os tipos de agregados vendidos?
Principais produtos: Bica corrida, britas 1 e 4, pedrisco e areia.
Preço de venda R\$38/m³
- Há receitas extras consideráveis com outros materiais?
Não revelou
- Quanto em média é gasto com imposto mensalmente?
- Não revelou

Equipamentos internos:

Descrição da Fonte	Quantidade	Combustível Usado	Consumo Unitário	Unidade	Produtividade m³/h	Tempo de Operação (horas/dia)
Escavadeiras	2	diesel	15	L/h		
Caminhões basculantes	0					
Britador	1	elétrico				
Demais veículos internos	0				-	
Administração e outras instalações					-	
Outros equipamentos						

3. USINA MÓVEL

3.1. RECINERT AMBIENTALE

Nome: Recinert Ambientale

Endereço: Al. Joaquim Eugênio de Lima, 187 cj. 41 – São Paulo - SP

Site: <http://www.recinertambientale.com.br/site/>

Data da visita: 12/11/2012

Contato: Vinícius e Egídio Buso, sócios da empresa. Vinicius também é diretor da ABRECON.

3.1.1. Sobre a empresa

A Recinert Ambientale é uma empresa de reciclagem móvel fundada em 2008. Mantém um escritório na região da Avenida Paulista. As usinas móveis ficam armazenadas nas obras, de forma que não alugam um galpão para tal. Conta com 5 funcionários operadores e 1 engenheiro para os dois equipamentos, além de dois administradores (os sócios fundadores).

A Recinert possui um britador tipo fresa, com capacidade produtiva de 160/ toneladas/hora, e um britador tipo mandíbula, com capacidade de 300/ toneladas/hora. Os dois equipamentos foram trazidos da Itália e são muito mais refinados em termos tecnológicos do que outros britadores levantados nos estudos de caso. Dessa forma, sua operação é feita por mão de obra própria, que foi capacitada para tal. A empresa detém contrato de representação com o fabricante das usinas, de forma que também é importador e assistência técnica autorizada no Brasil.

MODELO: CAMS UTM 60.12P

- ▶ Produção Horária: até 160 tons
- ▶ Peso: 21.6 tons
- ▶ Dimensões:
 - Comprimento: 11,50 m
 - Altura: 3,00 m
 - Largura: 2,50 m
- ▶ Potência instalada: 193 kW
- ▶ Eletroímã para separação de frações ferrosas
- ▶ processo de britagem com eixos rotativos paralelos e dentes intercambiáveis.



Confidential

13

RecinertAmbientale
Tecnologia em Reciclagem**MODELO: OMTrack Ulisse**

- ▶ Produção Horária: até 300 tons
- ▶ Peso: 36 tons
- ▶ Dimensões:
 - Comprimento: 13,50 m
 - Altura: 3,80 m
 - Largura: 2,50 m
- ▶ Eletroímã para separação de frações ferrosas
- ▶ processo de britagem com sistema de mandíbulas.



Confidential

14

Figura 58 - Usinas móveis da Recinert Ambientale. Fonte: Recinert Ambientale, 2012

Os serviços prestados pela empresa são o aluguel e a operação conjunta das unidades recicladoras. Mais especificamente, existem as seguintes possibilidades de negócios:

- Disposição correta: cliente contrata a Recinert, que brita seu RCD e fica com o produto, responsabilizando-o por sua venda/reutilização;
- Compra de agregados reciclados (continuação do item anterior): Recinert vende o agregado reciclado proveniente de uma obra para outra;
- Reaproveitamento: a obra apenas contrata o serviço de britagem da Recinert, reaproveitando seu próprio RCD.

O transporte, tanto das unidades recicladoras, quanto do agregado reciclado, é custeado pela empresa e o valor é embutido no preço ao cliente. Ambos transportes são terceirizados.

Antes do início da britagem na obra, é necessário que o RCD já tenha passado por correto processo de demolição e pré-triagem. Essa etapa necessita ser feita com qualidade porque as usinas móveis são de pequeno porte e, portanto menos rústicas que britadores maiores. A pré-triagem pode ser feita pela obra ou pela mesma empresa responsável pela demolição. Após problemas com a qualidade desses processos prévios, hoje em dia, a Recinert trabalha apenas com empresas de demolição parceiras.

3.1.2. Observações apontadas durante entrevista

A Recinert apontou algumas dificuldades no início de suas operações. Entre elas, destaca-se o desconhecimento e desconfiança do mercado a respeito deste tipo de produto. Assim, foram conseguindo seus clientes através de trabalho de disseminação de informações sobre a reciclagem de RCD. Seus principais clientes, assim como a URBEM, são grandes empresas/empreendimentos, nos quais as quantidades consumidas são maiores, viabilizando a utilização de diversos tipos de agregados em uma mesma obra (por exemplo, reciclados para pavimentação e naturais para fins estruturais).

Outra dificuldade apontada, conforme já mencionado, foi em relação à qualidade da demolição e da pré-triagem dos resíduos. Para qualidade final do agregado, minimização de riscos para os britadores e produtividade adequada, faz-se necessário a pré-triagem, a demolição dos resíduos em pedaços uniformes e a organização deste material no canteiro. Assim, após alguns anos de operação, a

Recinert passou a trabalhar com empresas específicas de demolição, que atendem suas necessidades.

Sobre a viabilidade de um negócio para a empresa, apontaram os seguintes fatores:

- Quantidade: mais de 1.000m³ de RCD/obra;
- Venda: até distância de 40 km de distância da obra geradora.

Ressaltam, conforme observados nos outros estudos de caso, que esses fatores não são uma regra e que podem variar conforme a estratégia da empresa, a relevância do cliente/ da oportunidade, etc.

3.1.3. Dados obtidos

Consumo de diesel		
Britador fresa (21 toneladas)	11	l/h
Britador mandibula (35 toneladas)	17	l/h
Retro-escavadeira	20	l/h
Empolamentos		
fator de empolamento antes da britagem	1,6	m ³ /m ³
fator de empolamento depois da britagem	1,2	m ³ /m ³
fator de empolamento antes da demolição	1,0	m ³ /m ³
Custo por caminhão		
custo por caminhão	R\$	500,00

4. CONSUMIDOR

4.1. CONSTRUTORA CAMARGO CORRÊA

Nome: Construções e Comércio Camargo Corrêa S/A.

Endereço: Av. Brigadeiro Faria Lima, 1669 – São Paulo - SP

Site: <http://www.camargocorrea.com.br/>

Data da visita: 02/04/ 2013

Contato: Ricardo Sampaio – Engenheiro de Meio Ambiente

4.1.1. Sobre a empresa

A Camargo Corrêa foi fundada em 1939 e tem atuação principal no setor de obras pesadas e infraestrutura, como estradas e usinas hidrelétricas. Atua também na construção de edificações residenciais e comerciais. Entre as obras estudadas na entrevista, encontra-se a usina hidrelétrica de Jirau, em Rondônia e o empreendimento comercial Viol Spe, na região da Vila Olímpia, em São Paulo.

A empresa é certificada na norma ISO 14.001 de sistema de gestão ambiental e deve realizar, de acordo com a legislação brasileira, plano de gerenciamento de resíduos sólidos em suas obras.

Pautados por iniciativas internas na área de meio ambiente, surge assim, em 2011 o projeto chamado “Bolsa de Resíduos”, que é um site no qual as obras se cadastram para ofertar seus resíduos e interessados se cadastram para comprá-los. O valor pelo qual o resíduo será comercializado depende da oferta e da demanda, como em uma bolsa de valores, daí o nome do projeto.

4.1.2. Reciclagem

Para que a Bolsa de Resíduos pudesse ser criada, foi necessária a existência de obras preparadas e organizadas para terem condições de comercializar seus resíduos (RCD e outros resíduos sólidos em geral). Isso implica um trabalho prévio de triagem, com iniciativas como coleta seletiva e, no caso de grandes obras, instalação de centrais de triagem e aterros sanitários, entre outras estruturas de gestão de resíduos sólidos. Assim, uma obra que não consegue se organizar para tal, não terá condições de participar do projeto. A obra mais participativa da Bolsa é a usina hidrelétrica de Jirau, inclusive por seu grande porte, que faz dela grande geradora de resíduos.

O site da Bolsa foi preparado para comercializar todos os tipos de resíduos sólidos passíveis de reciclagem gerados em uma obra. São eles: papel, plástico, metal, vidro, RCD, sobras de madeira, etc.

A empresa informou que, no caso de Jirau, os resíduos com maior demanda são os metálicos, que por serem gerados principalmente em obras distantes dos centros urbanos, e em grande quantidade, acabam com um preço bem inferior ao praticado no mercado. Apontam a ocorrência, inclusive, da compra deste material por interessados das regiões Sul e Sudeste, que foram buscá-los em Jirau. Percebe-se que essa iniciativa apresenta claras vantagens financeiras para os envolvidos, porém deixa a desejar do ponto de vista ambiental, principalmente pelas emissões de CO₂ no transporte.

Outros resíduos, além dos metálicos, também estão sendo comercializados, com exceção do RCD. Apesar de o RCD estar disponível na Bolsa, ainda não houve interessados em adquiri-lo. Aponta-se que essa dificuldade está relacionada com o fato de as obras participantes estarem distantes de grandes centros (Jirau, por exemplo, localiza-se a 130 km de Porto Velho), o que tornaria o custo de frete inviável para um material com baixo valor agregado. A tonelada de RCD custa em torno de R\$30,00, ao passo que a sucata metálica custa R\$200,00 em Jirau, e chega a R\$400,00 no Sudeste.

Ainda em relação aos RCD, a sede da construtora adquiriu um britador de resíduos novo e enviou à Jirau, pois apesar de concluírem que a reciclagem deste material ainda não é economicamente viável, ela se justifica pelo valor ambiental. Ao falar em valor ambiental, citaram que o quantificam monetariamente, por isso decidiram que a reciclagem compensaria. Por problemas com a administração da obra, no entanto, o britador não foi instalado. A sede da empresa está estudando transferi-lo, portanto, para outra grande obra.

Se por um lado a reciclagem de RCD em obras pesadas apresenta suas dificuldades, ela está sendo realizada em obras urbanas como edifícios comerciais que buscam certificações como LEED ou AQUA.

O empreendimento de alto padrão Viol Spe, que está sendo construído na Vila Olímpia, um bairro com moradores/trabalhadores de alto poder aquisitivo, por

exemplo, busca certificação LEED, que dá pontos ao empreendimento que desvie os RCD de aterros e o reutilizem. Neste caso, por falta de espaço no canteiro (mesmo para a instalação de usina móvel, que também necessita de espaço para armazenamento dos produtos), os RCD estão sendo levados até usinas fixas particulares.

A empresa ressalta que o atendimento dos processos do LEED torna a construção mais cara, e a reciclagem não está sendo feita necessariamente pelo menor custo dos agregados, e sim para obter a certificação. Dessa forma, a reciclagem seria feita independente de ser mais cara ou não que a aquisição de agregados naturais.

Na visão do entrevistado, a reciclagem de RCD se mostra ambientalmente positiva, principalmente se forem contabilizados os impactos ambientais envolvidos. No entanto, enxerga que essa iniciativa só se fortalecerá quando o preço dos agregados naturais aumentar de tal forma que a vantagem financeira em adquirir o reciclado seja maior.

ANEXO III: Cotação de preço de agregados

Para trabalhar com uma maior amostragem de preço de agregados reciclados, foram realizados dois orçamentos:

Orçamento 1:

Data: 06/06/2013.

Vimos por meio desta informar nosso melhor preço e condições para fornecimento de AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUO SÓLIDO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, conforme especificação da Norma ABNT NBR 15115:

Produto	Preço por m ³ Material
Areia Reciclada	R\$ 47,00
Rachão Reciclado	R\$ 47,00
Brita Corrida Reciclada	R\$ 47,00

Condições:

Impostos inclusos;

Frete: Calculado para entrega em sua obra na Rua Conselheiro Nébias, 100

Base monetária: JUNHO/2013;

Validade da Proposta: 10 dias

Condição de pagamento: 28 (vinte e oito) ddl

Orçamento 2:

Data: 05/06/2013.

CONDIÇÕES COMERCIAIS – PREÇOS FOB:

<u>TABELA – ARCO ARQ</u>		
LOCAL OBRA	PRODUTO	RETIRADO (por m³)
RUA CONSELHEIRO NÉBIAS, 100 – CENTRO – SÃO PAULO/SP	AREIA PEDRISCO BRITA 1 BRITA 2 RACHÃO BICA CORRIDA GRADUADA BICA CORRIDA S/GRADUAÇÃO	R\$ 35,00/m³

CONDIÇÕES GERAIS:

- 1- Faturamento com 20 dias após emissão da nota fiscal e em boleto bancário;
- 2- Os valores mencionados acima se referem aos carregamentos realizados em nossa área de estocagem;
- 3- Todos os encargos sociais, tributos federais e estaduais e o carregamento são de responsabilidade da [REDACTED];
- 4- Frete: não incluído, é de responsabilidade do cliente. O valor para entrega é de R\$ 21,00/m³.
- 5- Devido às restrições de locomoção de caminhões no local da obra, todas as entregas serão realizadas no período noturno, a partir das 23h00, se a obra permitir;

ANEXO IV: Cotação de preço de terrenos

Pesquisa de terrenos em SP

Fonte:

- <http://cidadesaopaulo.olx.com.br/terreno-1-280-m2-sao-paulo-iid-500304397>

Preço: R\$1640/m²

Fonte:

- <http://cidadesaopaulo.olx.com.br/terreno-com-18-675-m2-no-belem-zeis-3-sao-paulo-sp-claudemir-iid-499179663>

Preço: R\$3500/m²

Fonte:

- <http://www.zap.com.br/imoveis/oferta/Terreno-Padrao-venda-SAO-BERNARDO-DO-CAMPO-JD-REPRESA-RUA-NITEROI/ID-3840777>

Preço: R\$ 1000/m²

Fonte:

- <http://cidadesaopaulo.olx.com.br/terreno-de-14900-m2-com-galpao-de-345m2-oportunidade-iid-502106450>

Preço: R\$ 550/m²

Fonte:

- <http://cotia.olx.com.br/area-4-300m2-industrial-a-900-metros-da-rap-tavares-km-29-iid-520064834>

Preço: R\$ 550/m²

Fonte:

- <http://www.zap.com.br/imoveis/oferta/Terreno-Padrao-venda-SAO-PAULO-CAPAO-REDONDO-RUA-FEITICO-DA-VILA/ID-3794145>

Preço: R\$ 500/m²

4.1.2.1.

Observação: acessos em junho de 2013.