



Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto

Avaliação de Ciclo de Vida Modular



www.cbcs.org.br



www.abcp.org.br



www.blocobrasil.com.br

APRESENTAÇÃO

“A indústria do bloco de concreto tem vivenciado e seguido as diferentes fases da Construção Civil. Passamos pela fase da normatização dos sistemas construtivos nas décadas de 70 e 80, com as primeiras normas ABNT para os materiais de construção. Nas décadas de 90 e anos 2000, o movimento da cadeia foi o da qualidade, com a criação dos selos de qualidade e dos programas setoriais de qualidade – PSQ. Nesse contexto, os blocos de concreto sempre contaram com normas de produtos e dos sistemas construtivos atualizados, e em relação à qualidade, o Selo ABCP e o PSQ de blocos de concreto gerenciado pelo Sinaprocim são referências importantes para o mercado que procura fornecedores qualificados.

Quando o foco da construção civil foi a racionalização e a industrialização de processos, o bloco de concreto demonstrou ser uma excelente opção construtiva. Agora, vivemos o momento em que toda a cadeia de Construção Civil se volta para a sustentabilidade, cujos pilares social, econômico e ambiental confluem para a ecoeficiência dos produtos e sistemas.

E é com uma iniciativa como esta, partilhada entre BlocoBrasil e ABCP, de colocar a indústria de blocos de concreto como o primeiro setor da Construção Civil, de entender e executar os passos necessários para se atingir o equilíbrio da ecoeficiência, que este importante trabalho realizado pelo CBCS para nosso setor se apresenta como a ferramenta ideal para a avaliação ambiental da indústria.”

Ramon O. Barral

Presidente da BlocoBrasil

“A indústria de cimento no Brasil é reconhecida por sua eficiência energética e é referência mundial na produção de cimento com baixa emissão de carbono. A ABCP, em seu papel de fomentar o desenvolvimento de produtos e sistemas construtivos à base de cimento, incentiva que a mesma eficiência seja também alcançada nas cadeias que utilizam o cimento como matéria-prima.

Estamos seguros que ao aliar cimentos com baixa emissão de carbono com produtos fabricados de forma otimizada - isto é, justo consumo de matérias-primas com baixa geração de resíduos - é possível obter sistemas construtivos à base de cimento de elevada contribuição à sociedade e ao meio ambiente.

O trabalho pioneiro, desenvolvido pelo CBCS e aplicado na indústria de blocos de concreto, deve ser multiplicado por toda a cadeia dos produtos à base de cimento, o que permitirá destacar ainda mais a indústria brasileira de cimento e sua cadeia produtiva como referências mundiais.”

Renato José Giusti

Presidente da ABCP

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS – RELATÓRIO ACV-M

| | |
|------------|---|
| ACV | Avaliação do Ciclo de Vida |
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRAMAT | Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção |
| ACV-m | Avaliação do Ciclo de Vida Modular |
| ANTT | Agência Nacional de Transportes Terrestres |
| BCE | Blocos de Concreto para Alvenaria Estrutural |
| BCP | Blocos de Concreto para Pavimento Intertravado |
| BCV | Blocos de Concreto para Alvenaria de Vedação |
| BEN | Balanco Energético Nacional |
| BRE | Building Research Establishment |
| CBCS | Conselho Brasileiro de Construção Sustentável |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CLF | Carbon Leadership Forum |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CSI | Cement Sustainability Initiative |
| Deconcic | Departamento da Indústria da Construção |
| ELCD | European Reference Life Cycle Database |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| EPD | Product Category Rules |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| FIESP | Federação das Indústrias do Estado de São Paulo |
| GRI | Global Reporting Initiative |
| IEMA | Instituto Estadual de Meio Ambiente |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| ISO | International Organization for Standardization |
| MCT | Ministério da Ciência e Tecnologia |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| PBACV | Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida |
| PCR | Product Category Rule |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| PURA | Programa de Uso Racional de Água |
| SINDIBRITA | Sindicato da Indústria de Mineração de Brita do Estado do RJ |
| UF | Unidade Funcional |
| WBCSD | World Business Council for Sustainable Development |

SUMÁRIO

A realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é fundamental para o levantamento dos principais potenciais impactos ambientais causados por um produto ou serviço. Essa quantificação somente é possível pelo conhecimento dos fluxos de entrada e saída de um processo produtivo. A simplificação do método de ACV permite que esse estudo seja realizado em sistemas que não possuam todos os dados mensuráveis disponíveis. O uso de dados secundários e a redução do sistema considerado são caminhos para tornar a realização de uma ACV factível e representativa, além de estimular nas empresas a cultura de registrar informações importantes da produção, que possam contribuir para melhorias contínuas no desempenho de cada uma delas.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) teve a iniciativa de desenvolver um projeto para levantamento de impactos ambientais causados pela indústria brasileira de materiais de construção, nomeado de Projeto ACV Modular (ACV-m). Com parceria da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e da Associação Brasileira da Indústria de Blocos

de Concreto (Bloco Brasil), o projeto foi inicialmente implementado no setor de blocos de concreto para alvenaria e para pavimento. Esse projeto é considerado o piloto para o estabelecimento de uma plataforma nacional de ACV simplificada proposta pelo CBCS.

O objetivo do Projeto ACV-m é estimar faixas dos cinco principais indicadores do setor de blocos de concreto: uso de materiais, consumo de energia e água, emissão de CO₂ e geração de resíduos no processo de produção. Os **blocos de concreto** selecionados para o estudo são **blocos estruturais e de vedação e blocos para pavimentos intertravados com 35 MPa**. Para o estudo foi utilizada a metodologia da avaliação do ciclo de vida simplificada, denominada modular, por representar uma primeira etapa, com um escopo específico, para a execução de uma ACV completa no futuro.

Os dados analisados foram coletados em 33 fábricas de blocos, localizadas em diferentes regiões do Brasil. Com as informações declaradas pelas empresas, foram calculados os principais indicadores ambientais referentes aos produtos mais representativos no mercado nacional.

ÍNDICE

| | | | |
|---|-----------|--|-----------|
| Apresentação | 1 | 6 Metodologia | 24 |
| Lista de abreviaturas e siglas – Relatório ACV-m | 2 | 6.1 Levantamento dos dados..... | 24 |
| Sumário..... | 3 | 6.2 Treinamento | 24 |
| 1 Introdução | 6 | 6.3 Definição das unidades dos insumos .. | 24 |
| 2 Projeto ACV Modular | 8 | 6.4 Fator de emissão de CO ₂ e energia incorporada dos insumos | 26 |
| 2.1 Introdução à ACV | 8 | 6.4.1 Eletricidade e Combustíveis..... | 26 |
| 2.2 Abordagem modular | 9 | 6.4.2 Matérias-primas | 28 |
| 2.3 Escopo mínimo da ACV-m..... | 10 | 6.5 Métodos para análise de inventário do ciclo de vida – Produtos analisados no estudo..... | 29 |
| 2.3.1 Emissões de CO ₂ | 10 | 6.5.1 Produção em massa..... | 31 |
| 2.3.2 Energia..... | 11 | 6.5.2 Produção em número de peças | 31 |
| 2.3.3 Água | 11 | 6.5.3 Produção em área | 31 |
| 2.3.4 Resíduos..... | 11 | 6.5.4 Teor de cimento por peça | 31 |
| 2.3.5 Uso de matérias-primas | 12 | 6.5.5 Teor de cimento em % da massa..... | 32 |
| 3 ACV de Blocos de Concreto | 13 | 6.5.6 Teor de cimento em kg/m ³ | 32 |
| 3.1 Produtos estudados | 13 | 6.5.7 Consumo de água por peça | 32 |
| 3.2 Universo de empresas representadas .. | 14 | 6.5.8 Consumo de água em % da massa..... | 32 |
| 3.3 Fronteira do estudo | 15 | 6.5.9 Consumo de água em litro/m ² | 33 |
| 4 Resíduos | 16 | 6.6 Estimativa da quantidade total de produtos da fábrica..... | 33 |
| 4.1 Perdas de processo | 16 | 6.6.1 Produção total da fábrica em m ² | 34 |
| 4.2 Alocação dos impactos..... | 17 | 6.6.2 Produção total da fábrica em m ³ | 34 |
| 5 Pegada de água..... | 18 | 6.7 Estimativa de combustível pelo transporte das matérias-primas..... | 34 |
| 5.1 Pegada de água no âmbito da ACV-m.. | 20 | 6.7.1 Transporte por caminhão..... | 35 |
| 5.1.1 Quantidade de água doce retirada/ captada classificada por fonte | 20 | 6.7.2 Transporte por trem..... | 36 |
| 5.2 O caso da produção de blocos de concreto | 21 | 6.8 Cálculo dos indicadores | 36 |
| 5.2.1 Uso indireto de água – nos insumos.... | 21 | 6.8.1 Indicador de cimento | 36 |
| 5.2.2 Uso direto – na fábrica | 22 | 6.8.2 Indicador de agregados | 37 |
| | | 6.8.3 Energia..... | 37 |
| | | 6.8.4 Emissão de CO ₂ | 39 |
| | | 6.8.5 Água | 40 |

| | | | |
|---|-----------|---|-----------|
| 6.8.6 Resíduos | 41 | 14.3 Incerteza da massa informada do produto | 80 |
| 7 Análise de consistência dos dados - Balanço de massa entre insumos e produtos informados | 43 | 14.4 Estimativa do volume do produto quando o teor de cimento foi informado em kg/m ³ | 81 |
| 8 Análise da massa informada por produto..... | 50 | 14.5 Incerteza quanto às considerações realizadas para o levantamento da água de composição por peça..... | 81 |
| 9 Tipos de cimentos utilizados e cura térmica..... | 54 | 14.6 Estimativas de quantidades de insumos transportadas e veículo utilizado | 82 |
| 10 Análise das perdas e resíduos informados | 56 | 14.7 Levantamento de alguns combustíveis utilizados na fábrica | 82 |
| 11 Indicadores setoriais | 58 | 14.8 Imprecisão na definição de perdas e resíduos de produção total..... | 82 |
| 12 Indicadores da ACV-m..... | 59 | 14.9 Outros resíduos, que não oriundos das perdas de produção | 83 |
| 12.1 Indicador de energia incorporada | 59 | 14.10 Metodologia para realização das auditorias | 83 |
| 12.2 Indicador de Emissão de CO ₂ | 61 | 15 Conclusões – Projeto ACV-m | 84 |
| 12.3 Indicador de Água | 63 | 15.1 Indicador de energia incorporada | 84 |
| 12.3.1 Consumo de água de composição do concreto por peça | 63 | 15.2 Indicador de emissão de CO ₂ | 84 |
| 12.3.2 Consumo de água total da fábrica..... | 67 | 16 Referências | 85 |
| 13 Sobre os intervalos de incerteza | 79 | Anexos | 87 |
| 14 Análise crítica da metodologia | 80 | Sobre o CBCS | 90 |
| 14.1 Escopo limitado do projeto | 80 | CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável..... | 90 |
| 14.2 Unidade de produção total da fábrica | 80 | Missão | 90 |
| | | Ficha técnica..... | 90 |

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais impacta o meio ambiente, consumindo recursos naturais mais do que qualquer outro setor industrial. Os resíduos gerados pelo setor correspondem a quase metade dos resíduos sólidos urbanos. De 5 a 10% das emissões de gases do efeito estufa de um país estão associadas ao uso em larga escala do cimento e do concreto (JOHN, 2011).

Dentre os diversos atores presentes na cadeia da construção civil (fabricantes de materiais, construtoras, usuários, empresas de manutenção, entre outros) e as diferentes etapas do ciclo de vida (fabricação de materiais, construção, uso, demolição, destinação final), a seleção de materiais e componentes durante a etapa de projeto e construção do edifício no Brasil tem impactos significativos em termos de emissão de gases do efeito estufa.

A ferramenta consolidada e internacionalmente difundida para quantificar os impactos ambientais associados à fabricação dos materiais é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Dados brasileiros baseados em ACV não foram desenvolvidos para a quase totalidade dos setores. A ausência de dados para análise e diagnóstico faz com que referências internacionais sejam empregadas pelo mercado nacional. Adotar os dados de outras realidades produtivas pode gerar um falso cenário, cuja utilização

para tomada de decisão é equivocada e pode causar enormes impactos.

Essa realidade traz a necessidade de empregar a ACV Modular (**ACV-m**), que trabalha apenas com os aspectos ambientais mais críticos. O objetivo é reduzido, mas é mantida a sincronia com o método de ACV tradicional. Assim, a característica principal e a sua importância não são perdidas, obtendo uma redução de tempo e de custo.

O Projeto ACV-m tem como objetivo avaliar os impactos ambientais da indústria de materiais de construção, sendo inicialmente implementado no setor de blocos de concreto. Em princípio, os produtos cimentícios em foco são blocos para pavimentação, de alvenaria estrutural e de vedação, onde foram selecionados os tipos de produtos mais representativos no mercado consumidor.

A metodologia adotada gera múltiplos produtos. Auxiliará os usuários na avaliação dos principais impactos ambientais das construções que utilizam os componentes de concreto. Uma inovação importante é que o resultado público não se resume a um único valor típico, mas apresenta toda a faixa de variação observada no mercado, o que cria um alerta aos consumidores para a importância de selecionar fornecedores comprometidos com qualidade e meio ambiente.

Como o processo envolveu um grande número de empresas, será pos-



sível a cada fabricante participante que: a) avalie, de forma quantitativa, o potencial dos impactos ambientais mais relevantes dos produtos; b) compare o desempenho da empresa com as demais participantes; c) controle o processo produtivo com intervenções fundamentadas em critérios ambientais; e d) estabeleça metas internas de desempenho e melhoraria do desempenho geral da empresa. As associações setoriais poderão analisar o desempenho agregado do setor. Como muitos aspectos ambientais implicam em custos, está implícita uma comparação econômica, o que aumenta a atratividade. Uma vez estabelecida uma metodologia que seja simples e robusta, a coleta dos dados poderá

ser feita periodicamente, indicando a evolução do setor e das empresas individuais, criando um movimento pela ecoeficiência setorial, com benefícios para toda a sociedade.

O projeto pode ser apontado como um instrumento para a formação da metodologia da simplificação, que poderá facilitar a execução de uma ACV mais completa no futuro. O método desenvolvido é compatível com o adotado pelo Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) e poderá ser adotado pelas indústrias de materiais de construção e construtoras brasileiras.

A Associação Brasileira de Cimento Portland e a Bloco Brasil são pioneiras nesta abordagem.

2 PROJETO ACV MODULAR

O projeto ACV Modular (ACV-m) faz parte do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), sendo responsável pelo inventário dos materiais e componentes de construção civil. Esta atividade é coordenada pela ABRAMAT e FIESP-Deconcic.

2.1 INTRODUÇÃO À ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta de medida dos impactos ambientais aceita mundialmente. Ela é baseada em uma lista de fluxos¹ de massa e energia de todas as etapas, ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço. Estes fluxos de massa são combinados, permitindo a avaliação do impacto do ciclo de vida de um produto por meio de diferentes categorias de impactos ambientais.

As categorias mais comuns são: esgotamento de recursos abióticos, aquecimento global, destruição da camada de ozônio, toxicidade humana, toxicidade em meio aquático, acidificação, eutrofização, entre outras. Entretanto, uma avaliação que contemple todas essas categorias necessita de dados específicos, o que requer equipamentos sofisticados por um longo período, além de uma equipe especializada, que não estão disponíveis em muitas partes do

mundo. Em regiões onde sua realização é possível, muitas informações podem não estar disponíveis nos primeiros estágios de desenvolvimento de um produto (SUN; RYDH; KAEERNICK, 2003), onde a ACV poderia ser uma ferramenta muito útil.

Todos estes fatores diminuem a participação da Avaliação do Ciclo de Vida nas tomadas de decisões de mercado, reduzindo sua capacidade de contribuir na diminuição dos impactos ambientais. Adotar soluções simplificadoras é uma imposição nos dias atuais. Para essa ação, três vias são possíveis: (a) qualitativa; (b) dados secundários e escopo completo e (c) redução do escopo.

A ação qualitativa é também chamada de ACV conceitual, pois é mais simples e dispensa o levantamento de dados. O uso de dados secundários com o escopo completo é adotado em muitos estudos de caso que utilizam a ACV, apesar de não serem divulgados como sendo uma simplificação. A redução do escopo possibilita que os resultados encontrados pela sua adoção sejam mais simples, visando compreender o setor em que a ACV é aplicada. Ela também reduz a necessidade do uso de dados secundários. Esse tipo de abordagem tem baixo custo e continua sendo quantitativa, mas permite a realização de inventários em um grande número de processos.

1 Os fluxos de massa e energia são também chamados de aspectos ambientais.

Na prática, é possível e até necessário combinar as diferentes formas de ACV simplificada. É também possível ampliar progressivamente o conteúdo de uma ACV de escopo reduzido, tornando-a gradativamente mais completa. Esta proposta evolutiva é adotada pela ACV-m.

2.2 ABORDAGEM MODULAR

A avaliação do ciclo de vida modular (ACV-m) é uma evolução da ACV. Em seu nível básico, as empresas participantes listam apenas os impactos ambientais mais críticos. O escopo é reduzido, mas continua sincronizado com o método de ACV tradicional e, na medida em que a empresa e o setor ganhem experiência, pode ser rapidamente ampliado. Assim, não se perde sua característica essencial e nem a sua importância. Além disso, ao reduzir o tempo de execução, permitem que o inventário seja atualizada continuamente. Ao se reduzir o custo e a complexidade, faz com que as pequenas e médias empresas possam integrar esta ferramenta de gestão ambiental ao dia a dia da empresa.

Uma característica muito importante da abordagem da ACV-m é evitar associar as emissões de um produto a um valor “representativo”²,

² Na realidade, nos dias de hoje, poucos inventários realizados em uma amostra significativa de fabricantes em um determinado mercado permitem estimar uma média de forma objetiva. Assim, a escolha do “representativo” reflete frequentemente o dado existente ou uma escolha com variado grau de arbitrariedade, dentro da hipótese de que rotas tecnológicas são comparáveis.

mas associá-lo às faixas de variação dos impactos esperados no mercado. A adoção de um valor médio, típico da simplificação baseada em utilização de dados secundários e adotado quase universalmente (inclusive pelo ELCD - *European Reference Life Cycle Database*), tem inúmeros problemas. O valor médio se baseia na hipótese de que “rotas tecnológicas” iguais levam a impactos ambientais que podem ser comparados.

Em primeiro lugar, **o valor médio do produto tende a se tornar uma verdade e passa a ser associado pelo consumidor (e até pelo fabricante) como sendo uma característica daquele produto.** Basta lembrar que até hoje permanecem na literatura brasileira, e em apostilas de muitos cursos, informações de que a produção de cimento utiliza 6 GJ/t e emite 1 tCO₂/t de produto, valores típicos dos anos 70 e que são 40% superiores à média do setor atualmente. Este tipo de informação permitiu a proliferação de estudos e artigos comparando aritmeticamente os impactos de sistemas construtivos baseados em diferentes materiais, muitas vezes apresentando informações aleatórias. A ACV passa a ser então um instrumento de competição entre as cadeias industriais, um problema quando se sabe que, devido à enorme demanda por materiais de construção, **não é possível imaginar um futuro em que algum dos materiais mais populares não tenha mercado.**

Em segundo lugar, esta prática falha em alertar o consumidor sobre o **potencial de diminuir os impactos ambientais pela simples seleção de fornecedores**, sem mudança de tecnologia. Do ponto de vista do fabricante (e dos agentes públicos), falha em alertar o potencial de melhoria dos processos produtivos.

Em terceiro lugar, **igualamos empresas com compromissos ambientais muito diferentes**. Mais do que isto, ao divulgar somente um valor, o procedimento claramente protege as empresas com impactos ambientais maiores que a média. Ao fazê-lo, expõe as empresas mais comprometidas com a proteção ambiental – as quais são de interesse da sociedade proteger – atribuindo a elas a responsabilidade e o custo de reunir evidências e divulgar que elas são melhores que a média, em uma luta desigual, que exige recursos que muitas vezes não possuem.

Por outro lado, ao divulgar apenas as faixas de impacto ambiental, a abordagem da ACV-m mostra à sociedade e ao fabricante o potencial de diminuição de impactos que existe dentro desta mesma tecnologia. Ao não “rotular” um produto como tendo determinado impacto, ela facilita ao fabricante a tarefa de informar seus próprios impactos. Ao adotar o escopo mínimo simplificado, abre espaço para pequenas e médias empresas realizarem suas listas para o levantamento dos seus impactos ambientais.

Na metodologia ACV-m sempre que forem usados dados genéricos a incerteza deve ficar clara, apresentando-se a faixa de variação em que é provável que o impacto do produto ou serviço em questão se encontre. Assim, o objetivo é, a partir do inventário de um número razoável de empresas, estimar faixas, com valores mínimos e máximos dos consumos de matérias-primas, energia e água, das emissões de CO₂ e de resíduos gerados.

O Projeto ACV-m está sendo colocado em prática primeiramente no setor de blocos de concreto. Em princípio, os produtos cimentícios contemplados são blocos para pavimento, de alvenaria estrutural e de vedação, selecionando-se os mais representativos no mercado consumidor.

A seguir é apresentado o escopo mínimo da metodologia de ACV-m. Setores industriais e empresas poderão, a seu critério, realizar estudos em escopo ampliado para atender suas necessidades de identificação dos impactos ambientais mais importantes.

2.3 ESCOPO MÍNIMO DA ACV-M

2.3.1 EMISSÕES DE CO₂

O impacto do homem no clima, colaborando para um aquecimento global de desastrosas consequências, é uma das preocupações mais importantes da humanidade. Uma série de gases que podem ser liberados por atividades humanas (chamados gases antropogênicos) contribuem para a mudança no

clima. Segundo o IPCC, devido à larga escala de produção, o CO₂ – gás carbônico – é responsável por 76,6% do aquecimento global, seguido pelo metano (14,3%) e N₂O – óxido nitroso – (7,9%) (IPCC, 2007).

As emissões de CO₂ de um processo são relativamente simples de estimar. Vários métodos estão disponíveis e fatores de emissão são razoavelmente bem estabelecidos para os combustíveis mais importantes. Muitas empresas já realizam esta medição como parte do sistema de gestão ambiental usando metodologias largamente aceitas, como a do *GHG Protocol*. Por esta razão, o módulo “básico” da metodologia de ACV-m inclui obrigatoriamente as emissões de CO₂.

2.3.2 ENERGIA

A energia não é um impacto ambiental, mas sua produção está, invariavelmente, fortemente relacionada a impactos ambientais importantes. Isto inclui a produção de energias renováveis, como a hidrelétrica e a fotovoltaica.

Além disso, a energia elétrica, por exemplo, exige no Brasil elevados investimentos governamentais, trazendo custos à sociedade. Eficiência energética é uma meta nacional para a maioria dos países. Está no centro de todas as certificações ambientais voltadas para edifícios. No Brasil, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) é o mais antigo programa governamental com forte impacto am-

biental e possui muitas ações voltadas para edifícios.

A energia é também um elevado custo para empresas. Por esse motivo, invariavelmente, o consumo é medido permanentemente. Energia é um dos indicadores mínimos da ACV-m.

2.3.3 ÁGUA

Água é um recurso escasso, particularmente nas regiões onde existe grande concentração populacional, como as metrópoles brasileiras. O governo federal mantém o Programa de Uso Racional de Água (PURA). Apenas recentemente a água foi incorporada na metodologia de ACV com a emissão da norma ISO 14046:2014.

Água e esgoto são também importantes itens de custo para as empresas. Consumo de água é também um item do escopo mínimo do projeto ACV-m. O item “Pegada de água” será detalhado a seguir.

2.3.4 RESÍDUOS

A geração de resíduos faz parte de qualquer processo de produção e consumo. A massa de resíduos, associada ao ciclo de vida de um produto, é sempre maior que a do próprio produto, que certamente será resíduo ao final da sua vida útil.

Os resíduos das atividades de construção e demolição são tratados pelas resoluções Conama 307 e 348. Em 2013, o Congresso Nacional aprovou a Política Nacional de Resíduos Sólidos, fazendo desse tema uma prioridade na-

cional. O custo de gestão dos resíduos vem crescendo.

Resíduos são também parte do escopo mínimo de ACV-m.

2.3.5 USO DE MATÉRIAS-PRIMAS

A construção é o maior usuário de matérias-primas naturais do planeta. Progressivamente, a fração dos materiais que é destinada para a construção civil cresce em relação à retirada total. Gradualmente também usamos mate-

riais não renováveis. Próximo aos grandes centros urbanos, o preço elevado da terra e a necessidade de proteção ambiental vêm tornando escassos os materiais que são considerados abundantes. Este é o caso da areia em São Paulo e em outros locais. A desmaterialização da atividade de construção é uma necessidade.

A eficiência no uso dos recursos materiais é também parte do escopo mínimo da ACV-m.

3 ACV DE BLOCOS DE CONCRETO

3.1 PRODUTOS ESTUDADOS

Para o estudo foram selecionados blocos de concreto para pavimento intertravado (**bcp**), retangular e 16 faces, e blocos de concreto para alvenaria, (estrutural - **bce** e de vedação - **bcv**),

considerados mais representativos junto ao mercado consumidor brasileiro. Essa seleção foi realizada pela ABCP e pela Bloco Brasil. As especificações dos produtos do estudo encontram-se na Tabela 1 e na Tabela 2.

Tabela 1 – Blocos de concreto para pavimento selecionados para o estudo.

| Produto | Formato | Espessura (cm) | Resistência (MPa) |
|--|------------|----------------|-------------------|
| Blocos de concreto para pavimentação (bcp) | Retangular | 6 | 35 |
| | | 8 | |
| | | 10 | |
| | 16 faces | 6 | |
| | | 8 | |
| | | 10 | |

Tabela 2 – Blocos estruturais e de vedação selecionados para o estudo.

| Produto | Tipo | Largura (cm) | Comprimento (cm) | Espessura (cm) | Resistência (MPa) |
|-----------------------------------|------------------|--------------|------------------|----------------|-------------------|
| Blocos de concreto para alvenaria | Estrutural (bce) | 14 | 39 | 19 | 4 |
| | | | | | 6 |
| | | | | | 8 |
| | | | | | 10 |
| | | | | | 12 |
| | Vedação (bcv) | 14 | 39 | 19 | 2 |
| | | | | | 9 |

Para a simplificação da ACV também foram definidas previamente as principais matérias-primas utilizadas para a produção de blocos de concreto, que são cimento e agregados. O levantamento das fontes de consumo energético e

de água e suas respectivas quantidades também foram limitados, mas sem prejudicar o alcance do objetivo do projeto.

O período de análise para a coleta de dados foi fixado em 12 meses, sem necessariamente que esse período fos-

se em um ano fechado. Esse estabelecimento foi feito considerando que, em um ano, a fábrica pode ter períodos de maior e de menor produção. Verificou-se também que períodos chuvosos ou secos podem influenciar no processo, em um maior ou menor consumo de energia e água. O objetivo foi diluir essas variações, considerando o mesmo período de coleta de dados para todas as participantes. Empresas que informaram dados referentes a um período de tempo menor não tiveram seus resultados incorporados nos resultados do projeto.

3.2 UNIVERSO DE EMPRESAS REPRESENTADAS

As empresas participantes do Projeto ACV Modular - localizadas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste - são associadas à Bloco Brasil e possuem o selo de qualidade da ABCP. A Tabela 3 apresenta a lista de empresas participantes.

Trata-se de um conjunto de 33 fábricas que operam formalmente, e contam com sistemas de gestão da qualidade organizados. **Desta forma, o estudo não representa a parcela significativa do mercado de empresas menos organizadas, que operam em graus variados de informalidade.** Estas empresas menores tendem a ter menor capacidade técnica e administrativa do que as empresas participantes deste estudo. Em consequência, espera-se que estas empresas apresentem graus de eficiência ambiental inferiores aos aqui descritos.

Tabela 3 – Lista de empresas participantes, por estado da federação.

| Empresa | Estado |
|---------------------|--------|
| Arevale | SP |
| Aroucatec | SP |
| Calblock | SP |
| Exactomm | SP |
| Glasser | SP |
| Intercity | SP |
| JB Blocos | SP |
| Oterprem | SP |
| Prensil | SP |
| Presto | SP |
| Quitaúna | SP |
| Tatu | SP |
| Tinari | SP |
| Casalit | RJ |
| FLG | RJ |
| Multibloco | RJ |
| Pavibloco | RJ |
| Pentágono | RJ |
| Blojaf | MG |
| Sigma | MG |
| Uni Stein | MG |
| Pavimenti - Filial | PR |
| Pavimenti - Matriz | PR |
| Tecpaver | PR |
| Valleblock | PR |
| Vanderli Gai e Cia. | PR |
| Kerber | SC |
| Vale do Selke | SC |
| Votorantim | SC |
| Prantomix | RS |
| Tecmold | RS |
| Civil | BA |
| Original | DF |

Obs.: Por motivos operacionais, os resultados de uma das empresas participantes foram suprimidos dos gráficos. Os mesmos passarão por futura avaliação em auditoria.

3.3 FRONTEIRA DO ESTUDO

A fronteira do sistema é responsável por determinar quais processos e unidades dos processos serão incluídos no inventário da ACV, ou seja, quais atividades que transformam as entradas em saídas devem ser consideradas.

O sistema analisado para a produção dos blocos de concreto foi limitado como sendo **“do berço ao portão”**, ou seja, da extração das matérias-primas até o portão da fábrica, com o produto acabado. Assim, fora algumas exceções – especificamente no uso de água e geração de resíduos - onde não foi possível encontrar dados confiáveis destes aspectos relativos à etapa de fabricação dos insumos (realizada fora dos portões da empresa, e, portanto, indiretas) – foram incluídos os impactos associados ao ciclo “berço ao portão” dos insumos. Os aspectos associados ao transporte dessas matérias-primas, desde a porta do fornecedor até

a fábrica, foram sempre incluídos, assim como as etapas de produção dos blocos e pavimentos.

Os impactos causados pela distribuição do produto pronto (após a saída do portão) não foram analisados devido à complexidade que a grande variação das distâncias de transporte ocasionaria para se alcançar o resultado final. A Figura 1 representa o sistema de produto para a fabricação de blocos de concreto.

Unidade funcional (UF) é a quantificação da unidade de produto, ou seja, um (1) bloco com dimensões modulares de 20 x 40 cm para alvenaria, 1 m² de bloco para piso. Um dos principais objetivos da UF é fornecer uma referência para as entradas e saídas do sistema (ABNT, 2009). Nesse estudo, as unidades funcionais utilizadas serão o m² para os blocos para pavimento, e a unidade de produto para os blocos para alvenaria, estruturais e de vedação.

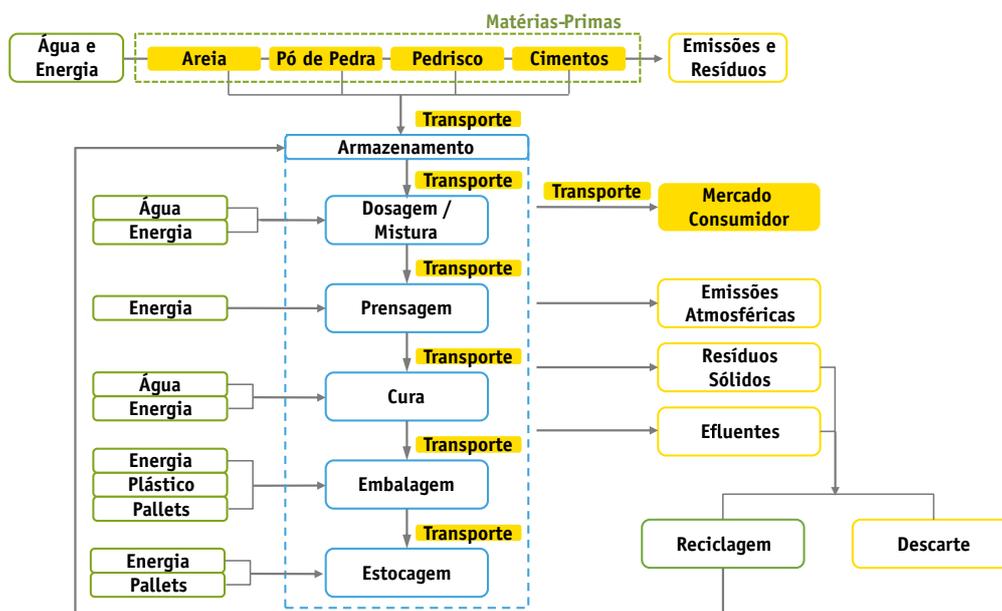


Figura 1 – Sistema de produto para a fabricação de blocos de concreto para pavimento e para alvenaria.

4 RESÍDUOS

Adota-se nesse trabalho a definição de que resíduo é toda a matéria resultante do processo produtivo que não aquela que é o objetivo pelo qual se montou o processo.

A *Product Category Rule* para produtos à base de cimento, elaborada pela **Cement Sustainability Initiative** (SCI/WBCSD), apresenta uma definição menos clara, definindo como resíduo aquilo que (a) não tem uso definido, (b) não tem valor econômico, (c) não possui critérios técnicos que permitam seu aproveitamento ou (d) contém substâncias perigosas acima dos limites estabelecidos pelas legislações, causando efeitos ambientais adversos (EPD, 2013). Esta definição, de uma forma geral, não considera resíduo tudo aquilo que consegue entrar na economia. Adotada esta definição, um mesmo material poderia ser resíduo em uma cidade ou região do Brasil, pois lá não tem mercado, e um produto em outra. Isto traz considerável confusão para o processo de ACV, ainda mais em um estágio inicial.

Uma classificação objetiva sobre o que é resíduo não exclui a divulgação precisa daqueles resíduos que são enviados para a reciclagem, reúso ou até mesmo os que são transformados em energia, como pode ser visto na lista de indicadores de resíduos apresenta-

dos pela EN 15804:2012 (BRE, 2013):

- a) Resíduos perigosos
- b) Resíduos não perigosos
- c) Resíduos radioativos (que podem ser classificados de acordo com o nível de radioatividade)
- d) Materiais para reciclagem
- e) Componentes para reúso
- f) Materiais para recuperação energética

Assim, a ACV-m apresenta a medida objetiva do que é resíduo, discriminando sua periculosidade (perigosos, não perigosos, radioativos) e sua destinação: reciclagem, reúso, recuperação energética ou aterro.

Nas fábricas de blocos, os óleos de máquinas (empilhadeiras, escavadeiras, etc.) são resíduos. O mesmo acontece com rejeitos cimentícios, produtos defeituosos ou quebrados, areia, cimento e pallets.

4.1 PERDAS DE PROCESSO

Do ponto de vista a permitir ao setor analisar a eficiência do processo de produção, é interessante também registrar a fração de produtos defeituosos que podem retornar ao processo produtivo – como ocorre com os blocos ainda não curados, que quebram devido a falhas de reologia ou manuseio. Tecnicamente estes materiais não são resíduos do

processo, pois não saem do portão da fábrica e são incorporados integralmente dentro do produto. São, portanto, registrados como perdas de processo, mas não são contabilizadas como resíduos.

4.2 ALOCAÇÃO DOS IMPACTOS

Alocação, ou atribuição de impacto, para coprodutos ou subprodutos, resíduos que possuem aplicação de mercado já consolidada – como escória de alto-forno, cinzas volantes, sucata de aço - tem sido uma tendência na comunidade Europeia. No entanto, diferentes critérios de alocação podem levar a conclusões muito diferentes e um só critério de alocação não parece ser adequado para todos os resíduos.

As normas EN 15.804 e EN ISO 14.044 (ISO, 2006) apresentam regras

para alocação de impactos considerando os subprodutos ou coprodutos dos processos industriais. A PCR do CSI estabelece em seu item 2.3.5.3 a alocação opcional, mesmo quando o resíduo tem valor econômico. Neste mesmo sentido, a *Product Category Rule* norte-americana para concreto (CLF, 2012) estabelece no seu item 3.7 que a alocação não é necessária se os produtos são considerados resíduos.

Na ausência de acordos setoriais nacionais entre as cadeias produtivas envolvidas na produção e reciclagem, que estabeleçam claramente os critérios de alocação, o Projeto ACV-m não aloca impacto para os resíduos, tanto para os que entram como insumos, como aqueles que saem para a reciclagem.

5 PEGADA DE ÁGUA

Existem diversas metodologias para o cálculo da pegada de água, como o *The Water Footprint Network* e a norma ISO 14046:2014, além de diretrizes para a avaliação do desempenho ambiental que incluem a gestão de água das empresas. A seguir são apresentados alguns métodos existentes que realizam o levantamento do consumo de água. No entanto, há divergências entre as definições adotadas por cada sistema. Nenhuma ferramenta para a avaliação do uso de água possui critérios consolidados para o levantamento do consumo de água de um sistema de produto.

A norma **ISO 14046:2014** (ISO, 2014), que é o método mais recente e será utilizado pelo Projeto ACV Modular como base, define a pegada de água como um conjunto de indicadores que quantificam os impactos ambientais potenciais relacionados com a água. Esta metodologia é o novo padrão internacional que especifica os princípios, requisitos e orientações para avaliação e informações sobre a pegada de água. Sua metodologia é aplicada a produtos, processos e organizações com base em avaliações do ciclo de vida.

Já o conceito de pegada de água foi introduzido por Hoekstra em 2002 (HOEKSTRA *et al.*, 2009) e é até hoje promovido pela ***The Water Footprint Network***. Nessa metodologia, a pegada de água é definida como o total de água doce utilizada para produzir os bens e

serviços consumidos, medido ao longo da cadeia de produção e abastecimento.

As ***Product Category Rules (PCR)*** são documentos de orientação que definem regras e requerimentos para gerar uma declaração ambiental de produto (***EPD – Environmental Product Declaration***), que apresentam as informações sobre o impacto ambiental. As ***PCR*** descrevem as fases do ciclo de vida de um produto concreto, define regras para a prestação de informações adicionais para permitir que outras fases do ciclo de vida sejam avaliadas. Na EPD de concreto (EPD, 2013) são descritos como são realizados os inventários de água, por fonte, e como deve ser realizado o levantamento do consumo de água potável. No entanto, não deixa claro quanto ao levantamento do consumo dos demais tipos de água.

O ***Sustainability Reporting Guidelines*** (GRI, 2013) é a metodologia de avaliação de desempenho ambiental mais popular no mundo. Suas diretrizes oferecem princípios, conteúdos básicos e um manual de práticas para a elaboração de relatórios de sustentabilidade por organizações que queiram divulgar seu desempenho ambiental, independentemente do tamanho, setor ou localidade. Empresas cimenteiras, como a Holcim e o Grupo Lafarge, utilizam essa metodologia em seus relatórios ambientais. Apesar de esse método re-

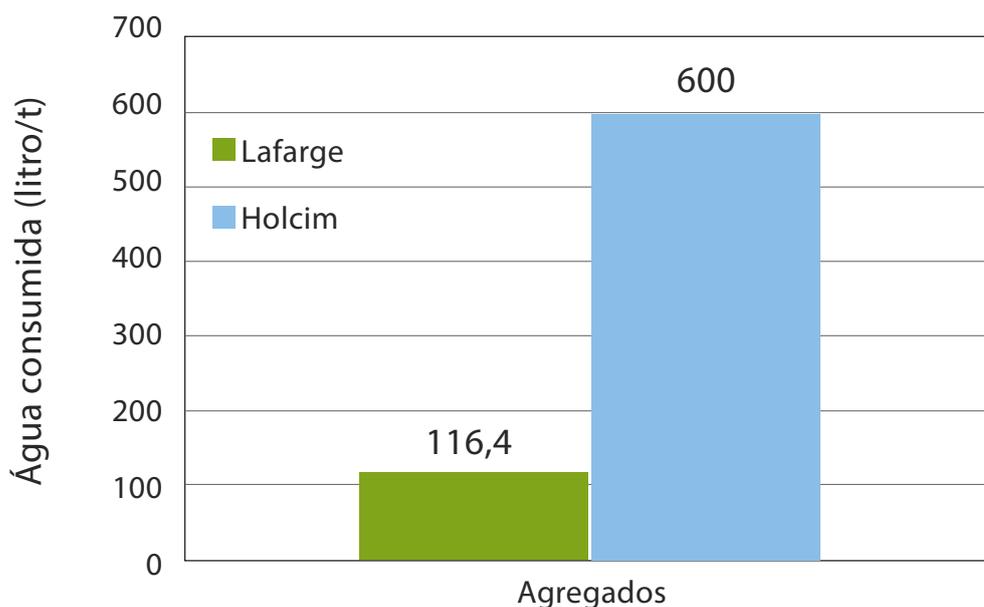


Figura 2 – Consumo de água da Lafarge e da Holcim para a produção de agregados no ano de 2011.

gistrar a quantidade total de água por fonte, não define como devem ser realizados os levantamentos dos consumos de água em um processo (GRI, 2013).

A falta de uma metodologia consistente é observada pelas diferentes abordagens adotadas para o levantamento do impacto ambiental de um produto. Isso é evidenciado pela Figura 2, que apresenta a comparação entre as empresas Lafarge (LAFARGE, 2011) e Holcim (HOLCIM, 2011) em relação ao consumo de água na produção de agregados no ano de 2011. Apesar do relatório de ambas as empresas terem adotado a metodologia de *Sustainability Reporting Guidelines*, observa-se uma diferença significativa no consumo de água levantado, uma vez que os processos de produção para os agregados são semelhantes.

A seguir, algumas definições de água estabelecidas pela ISO 14046:2014 quanto à origem da água.

- **Água superficial:** toda a água no escoamento superficial e de armazenamento, por exemplo, rios e lagos, excluindo a água do mar.
- **Água subterrânea:** água que está sendo contida e que pode ser recuperada a partir de uma formação subterrânea (poço, por exemplo).
- **Retirada ou captação de água:** água removida por ação humana de uma bacia de drenagem ou corpo de água, mesmo que temporariamente. Pela definição da norma, observa-se que *deve incluir a umidade presente nos minerais. Por outro lado, não inclui água combinada em minerais naturais ou água retirada do ar por condensação.*

Neste trabalho será adotada como água retirada aquela que a empresa informou como utilizada na fábrica, que vem da concessionária de serviço pú-

blico, de rios ou lagos, de poço ou de chuva. Não será abordada a questão da água consumida, ou seja, a que fica retida no produto, evapora ou é eliminada em uma fonte que seja diferente a de sua origem (potável ou como efluente). Essas considerações ainda são muito complexas para levantamento, uma vez que são dados de difícil medição.

5.1 PEGADA DE ÁGUA NO ÂMBITO DA ACV-M

Com base nas metodologias estudadas e nos dados informados pelas empresas, neste trabalho são consideradas as fontes e os usos de água descritos a seguir.

5.1.1 QUANTIDADE DE ÁGUA DOCE RETIRADA/CAPTADA CLASSIFICADA POR FONTE

A água será classificada de acordo com as fontes utilizadas em:

- a) Escopo 1: Água captada diretamente pela empresa, como chuva, superficial, subterrânea ou de qualquer outro corpo de água. O reúso de água é também considerado uma fonte, uma vez que evita a captação diretamente pela empresa;
- b) Escopo 2: Água captada indiretamente pela empresa e fornecida pela concessionária;
- c) Escopo 3: Água captada indiretamente pela empresa em consequên-

cia das atividades dos seus fornecedores, inclusive água de reúso utilizada pelos fornecedores.

A água obtida da concessionária (Escopo 2) sempre é medida. No entanto, as quantidades de águas captadas pelas empresas (Escopo 1) frequentemente não são medidas de forma precisa, o que dificulta a sua avaliação. Neste caso, é necessário o registro de que a empresa utiliza esta prática, auxiliando na explicação da variação de pegada de água. O escopo 3 não será obrigatoriamente reportado quantitativamente em um primeiro momento.

Na Figura 3 é ilustrado o balanço de água no processo de produção de blocos de concreto. A água que retorna para a mesma fonte, atendendo aos limites legais, não é considerada parte da pegada de água. A mesma é registrada apenas para permitir um balanço de massa.

No entanto, nesse trabalho não será abordada a pegada de água, pois os dados levantados junto às empresas apenas tratam da água retirada. Informações sobre o consumo de água nos produtos foram informadas de modo incompleto por falha no formulário de coleta de dados, o que impossibilitou essa análise. Além disso, não fez parte desse módulo da ACV o levantamento de dados de efluentes da fábrica.

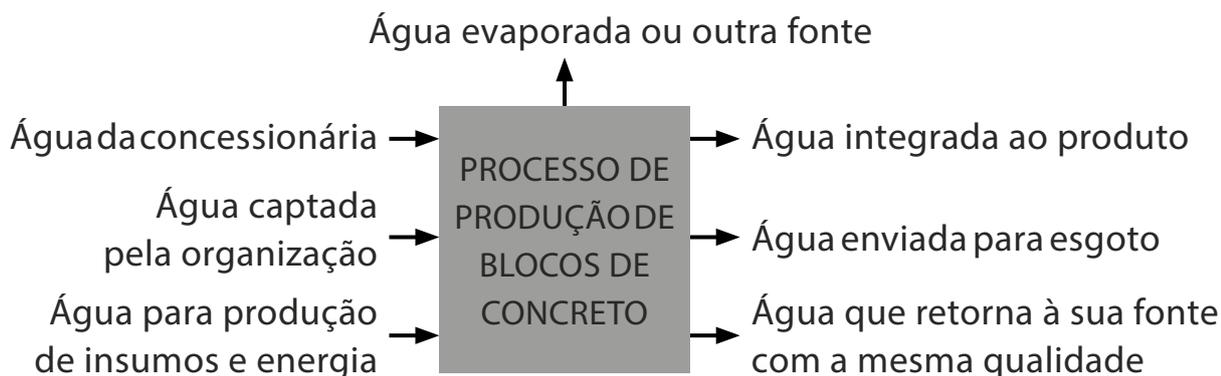


Figura 3 – Entradas e saídas de água no processo de produção de blocos de concreto.

5.2 O CASO DA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

Nesse estudo não foram considerados os consumos individuais da água decorrentes de cada etapa da produção de blocos de concreto. Os cálculos dos resultados e as análises foram realizados apenas com base nos dados de água retirada/captada pela empresa, de maneira geral. Até o momento, não existem informações disponíveis de consumo de água para o processamento das matérias-primas utilizadas, nem métodos de quantificação consolidados para verificação do consumo de água em cada etapa da fábrica.

A seguir são descritos os possíveis usos de água dentro da fábrica, mas os mesmos não foram quantificados individualmente.

5.2.1 USO INDIRETO DE ÁGUA – NOS INSUMOS

A produção de agregados envolve o uso da água de diferentes formas. A água nesse setor é utilizada no desmonte das jazidas de areia, no abatimento de poeira em operação de desmonte e de fragmentação da rocha para a produção de agregados artificiais (britas, areia artificial), na lavagem de agregados para remoção de finos, nas operações de limpeza e nos escritórios. A água também é bombeada das cavas de mineração, mas caso ela seja simplesmente desviada e permaneça na mesma bacia de drenagem, o PCR do CSI/WBCSD recomenda não contabilizá-la, exceto a quantidade evaporada. Além disso, agregados são estocados usualmente ao ar livre e recebem água de chuva, retida em quan-



Figura 4 – Origem e proporção da água de mistura do concreto dos blocos.

tidade incerta. Os dados sobre a pegada de água para a produção de agregados são escassos e contraditórios, conforme é mostrado na Figura 2.

A moderna produção de cimento utiliza predominantemente método a seco. Assim, o uso de água ocorre principalmente para o controle de pó, operações de limpeza e administração. Os relatórios ambientais dos grupos Holcim e Lafarge reportam médias globais entre 257 e 317kg/t de cimento nos anos 2010 e 2011.

De maneira geral, a água presente na forma de umidade ou combinada no cimento que chega até a fábrica de blocos de concreto não é considerável.

5.2.2 USO DIRETO – NA FÁBRICA

5.2.2.1 Água de mistura do concreto

A mistura do concreto exige a adição de água de mistura para garantir não apenas a reação de hidratação do cimento, mas principalmente garantir a trabalhabilidade. Segundo a ABCP³, a produção de blocos por vibroprensa exige um teor de água em torno de 6% da massa dos materiais secos.

No entanto, parte da água de mistura provém da umidade dos agregados. Esta umidade inclui a água indireta (originária do fornecedor), mas também pode incluir a água de chuva captada quando o agregado já está em poder da empresa fabricante, armazenado a céu aberto. Es-

tudos realizados por Petrucci (2005) concluíram que a umidade média da areia natural é 4,2%, com desvio padrão de 1%.

Além disso, existe a água dos aditivos e pigmentos. Como estes produtos são utilizados em pequenos volumes, este item pode ser na maioria das vezes desconsiderado.

A Figura 4 ilustra a proporção da água de diferentes origens utilizada para a produção do concreto dos blocos.

Sendo assim, a água adicionada ao misturador é inferior à água de mistura. É possível que, em situações extremas, a água presente nos agregados seja suficiente para realizar a mistura.

Parte da água de mistura irá evaporar, parte ficará na forma combinada com o cimento e parte permanecerá como umidade.

5.2.2.2 Água de cura

A cura dos blocos de concreto normalmente é realizada em câmaras úmidas, ou seja, por meio da aspersão de água. Uma alternativa é a cura térmica a vapor, que é um dos mecanismos utilizados na indústria de pré-moldados para acelerar o ganho da resistência. O processo de cura pode incluir água da chuva captada por material em estoque, mesmo que estes não estejam oficialmente no processo de cura. Esta água precisaria ser contabilizada, já que é desviada do seu curso natural. **Considera-se que a água de cura irá evaporar, exceto a retida na umidade de equilíbrio com a atmosfera.**

5.2.2.3 Abatimento de material particulado

Para amenizar a quantidade de material disperso no ar, devido ao transporte interno de materiais na fábrica, costuma-se borrifar água para o abatimento da poeira nas áreas destinadas ao deslocamento.

Apesar dessa água não ser usada diretamente no produto, seu levantamento deve ser feito por ser um volume que não retorna à fonte de origem, pois **em sua quase totalidade evapora**. Além disso, seu registro permite verificar a logística da fábrica, através da análise das áreas que precisam de maior consumo de água para o abatimento do pó. O rastreamento das etapas responsáveis pela produção de pó possibilita a adoção de medidas que minimizem esse tipo de resíduo.

5.2.2.4 Água de limpeza de equipamentos

No processo produtivo é necessária a lavagem de equipamentos, como betoneiras, formas, vibroprensas, entre outros, cuja não execução pode influenciar na qualidade do produto. Além disso, é realizada a limpeza dos veículos que realizam o transporte dos produtos, externa ou internamente.

O registro do consumo dessa água é fundamental, pois além da água não

retornar à sua fonte de origem, que pode ser diversa e deve ser destacada, ela gera um volume de efluente.

5.2.2.5 Limpeza do ambiente

Assim como os equipamentos, o ambiente da fábrica necessita de limpeza devido à grande circulação de material composto de partículas, seja em grandes quantidades ou associado aos equipamentos e veículos utilizados. Assim como para a lavagem dos equipamentos, o registro do consumo da água utilizada para a limpeza do ambiente é importante, visto que a água não retorna à sua fonte de origem e gera um volume de efluente. A origem da água deve ser registrada. Parte desta água evapora, e parte vai para o esgoto.

5.2.2.6 Administração

Apesar de o consumo ser muito inferior ao da fábrica, é importante registrar o volume de água utilizado nas instalações destinadas aos escritórios, cozinha, banheiros, etc. . Apesar de não estar sendo utilizada diretamente no produto, essa quantidade de água serve à infraestrutura do processo produtivo. Além disso, seu uso gera um efluente. A fonte de origem também deve ser registrada. A maior parte desta água vai para o esgoto.

6 METODOLOGIA

6.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

A obtenção dos dados junto às empresas participantes foi realizada por meio de um formulário padrão, desenvolvido em Excel. Os dados referem-se a um período de 12 meses, determinado pela empresa.

O formulário foi dividido em quatro partes: **Cadastro**, **Práticas da empresa**, **Produto** e **Inventário**. Na planilha “Cadastro” foram coletadas informações da empresa, da unidade produtora e do responsável pelo preenchimento do formulário. Na segunda foram fornecidas informações classificatórias e qualitativas sobre as práticas da empresa. Em “Produto” foram solicitados dados referentes à composição e à quantidade fabricada dos produtos selecionados para o estudo. Também foram requisitadas algumas informações da produção total da fábrica para permitir a alocação dos insumos gerais da empresa nos produtos analisados. Na planilha “Inventário” foram coletados os consumos totais da fábrica dos principais insumos energéticos e matérias-primas.

O preenchimento do formulário padrão necessitou de algumas revisões para confirmação ou retificação de certos dados. Essa foi uma preocupação constante para se alcançar resultados com qualidade e de acordo com a realidade.

Durante o desenvolvimento do trabalho foram solicitados dados individu-

ais complementares via e-mail ou telefone junto aos responsáveis de cada empresa, com objetivo de ampliar e assegurar a análise dos indicadores. O mesmo procedimento foi utilizado durante as revisões dos dados.

6.2 TREINAMENTO

Após o preenchimento preliminar dos formulários, as empresas participaram de *workshops* ministrados pela equipe técnica. Nesses eventos foram transmitidos aos representantes das empresas os objetivos do projeto e a metodologia da avaliação de ciclo de vida, visando esclarecer sobre o preenchimento do formulário e garantir a qualidade dos dados recebidos. A partir das informações recebidas, foi solicitado às empresas verificar o formulário e revisar seus dados.

Para possibilitar que todas as empresas participassem do treinamento foram realizados dois *workshops* na cidade de São Paulo, um na cidade do Rio de Janeiro e um na cidade de Florianópolis.

6.3 DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DOS INSUMOS

Para facilitar o preenchimento do formulário pelas empresas, permitiu-se que algumas unidades de medida fossem especificadas pelo responsável pelo preenchimento. No entanto, ou-

tras unidades foram fixadas, por serem consideradas mais usuais, sendo elas as referentes aos consumos de água (m^3), eletricidade (kWh), óleo diesel (litro), gasolina (litro), álcool (litro) e cimento (t). A fim de padronizar as unidades dos insumos energéticos, algumas conversões foram realizadas. Para os agregados, decidiu-se que a unidade padrão seria a tonelada, convertendo os consumos fornecidos em volume. A seguir são apresentadas as unidades definidas como padrão e os dados considerados para as conversões que foram necessárias.

- a) **GLP:** tonelada. A densidade adotada é a divulgada pelo Balanço Energético Nacional 2013 (EPE; MME, 2013), que é $0,552 \text{ t}/m^3$.
- b) **Gás natural:** m^3 . A densidade adotada é a divulgada pelo Balanço Energético Nacional 2013 (EPE; MME, 2013) para o gás natural seco, que é $0,74 \text{ kg}/m^3$.
- c) **Óleo BPF:** m^3 . A densidade adotada é a divulgada pelo Balanço Energético Nacional 2013 (EPE; MME, 2013) para o óleo combustível, que é $1.000 \text{ kg}/m^3$.
- d) **Óleo de xisto:** tonelada. A densidade adotada foi levantada junto ao site de algumas empresas pesquisadas⁴, que é $0,97 \text{ t}/m^3$.
- e) **Lenha:** tonelada. A densidade da madeira utilizada como lenha pode variar por uma série de motivos, como tipo madeira e umidade. Com isso, por causa das incertezas em relação à origem da lenha utilizada pelo setor de blocos de concreto, algumas considerações foram necessárias. Entre as fábricas analisadas, cinco informaram que utilizam lenha em seu processo industrial. Dessas, apenas uma informou seu consumo em massa. Entre as que forneceram seu dado em m^3 , uma informou que utiliza eucalipto, mas não especificou se o valor se encontra em m^3 estéreo (medida de madeira empilhada). Com isso, decidiu-se adotar para essa empresa a pior situação, a densidade do eucalipto verde, que é de $1,10 \text{ t}/m^3$. Dizer que a madeira é verde significa que a mesma possui teor crítico de umidade (60%) (PUNHAGUI, 2014). Duas fábricas informaram que obtiveram o valor de lenha consumida através do valor pago por m^3 de lenha e dos volumes totais utilizados no período. No entanto, não informaram dados sobre a madeira. Assim, decidiu-se utilizar a densidade verde adotada para diferentes tipos e origens de madeira (pinus, eucalipto e nativas), que é de $0,97 \text{ t}/m^3$ (PUNHAGUI, 2014). Uma das empresas não informou sobre o tipo de lenha utilizada, dado soli-

4 Empresas: Ravato (www.ravato.com.br/v2/documentos/especificacoes_xisto.pdf) e Betunel (www.betunel.com.br/pdf/oleo_xisto.pdf) – acessos em julho de 2014.

citado por contatos via telefone e *e-mail*. Para esta decidiu-se adotar a densidade média para diferentes tipos e origens de madeira (pinus, eucalipto e nativas).

- f) **Areia natural:** a densidade aparente das areias fina, média e grossa foi levantada no *website* de dois fornecedores⁵. Adotou-se o valor médio calculado entre os dados pesquisados, que foi de 1,46 t/m³, pois o tipo de areia não foi especificado.
- g) **Areia industrial:** adotou-se a densidade aparente adotada pelo Sindibrita⁶, que é de 1,70 t/m³.
- h) **Brita 0:** adotou-se a densidade aparente média do pedrisco misto, apresentada por um fornecedor⁷ e o Sindibrita⁷, que é 1,54 t/m³.
- i) **Pedrisco de seixo:** a única empresa que o utiliza esse tipo de agregado informou a densidade aparente do mesmo, que é 1,5 t/m³.
- j) **Pó de brita:** adotou-se a densidade aparente média apresentada por um fornecedor⁸ e pelo Sindibrita⁷, que é 1,53 t/m³.

- k) **Agregado reciclado:** apenas uma empresa informou o consumo de agregado reciclado em volume. Com isso, adotou-se a densidade aparente média calculada com base nos dados de Ryu (2002), que resultou em 1,45 t/m³.

6.4 FATOR DE EMISSÃO DE CO₂ E ENERGIA INCORPORADA DOS INSUMOS

6.4.1 ELETRICIDADE E COMBUSTÍVEIS

Na Tabela 4 são apresentados os dados utilizados para o cálculo das emissões de CO₂ e do consumo energético devido à produção dos blocos de concreto. Nesse levantamento foi verificado como os dados foram calculados e quais considerações feitas pelos autores. Quando possível, foi considerado o ciclo de vida dos combustíveis para a composição desses dados, além das emissões diretas e do poder calorífico resultante do consumo direto desses insumos. Nesse caso se enquadram diesel, gasolina, álcool hidratado, gás natural, lenha, GLP e óleo BPF.

5 Fornecedores de areia: Ertcon (www.ertcon.com.br/pages/produtos); Pirâmide (www.areiapiramide.com.br/index.php/produtos.html) – acesso em julho de 2014.

6 Dados técnicos do Sindibrita: www.sindibrita.org.br/destaque/svp.htm – acesso em julho de 2014.

7 Fornecedor de brita 0: Ertcon (www.ertcon.com.br/pages/produtos/p:pedrisco-misto) – acesso em julho de 2014.

8 Fornecedor de pó de brita: Ertcon (www.ertcon.com.br/pages/produtos/p:po-pedra) – acesso em julho de 2014.

Tabela 4 – Fatores de emissão de CO₂ e energia incorporada dos insumos energéticos.

| Fonte | Unidade Funcional (UF) | Energia (MJ/UF) | Fator de Emissão (kgCO ₂ /UF) | Fonte Energia | Fonte Fator de Emissão de CO ₂ |
|---------------------------------|------------------------|-----------------|--|---|---|
| Diesel | l | 37,3 | 3,3 | SILVA, 2013 (EPA-2010 e CETESB-2010) | SILVA, 2013 (Wang et al-2004) |
| Gasolina | l | 34,8 | 2,7 | SILVA, 2013 (EPA-2010 e CETESB-2010) | SILVA, 2013 (Wang et al-2004) |
| Álcool hidratado | l | 21,5 | 0,4 | MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008 | MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008 |
| Gás natural | m ³ | 41,3 | 5,4 | MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008 | IPCC, 2006; Planilha do GHG Protocol ⁹ ; MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008 |
| Lenha (plantada torete) | t | 6.204,3 | 689,9 | PUNHAGUI, 2014 | PUNHAGUI, 2014 |
| | | 13.734,3 | 1.512,2 | | |
| Lenha (resíduo-plantada/nativa) | t | 6.073,0 | 0,0 | PUNHAGUI, 2014 | Resíduo de floresta plantada ou nativa |
| | | 12.980,0 | 0,0 | | |
| Eletricidade | kWh | 6,0 | 0,06 | Cálculo com base nos dados BEN 2013 ¹⁰ | MCT - média dos anos de 2011, 2012 e 2013 ¹¹ |
| GLP | t | 56.140,0 | 3.759,6 | SILVA, 2013 (Wang et al-2004; Dario-2006; BEN 2010) | SILVA, 2013 (Wang et al-2004; Dario-2006; BEN 2010) |
| Lixívia (licor negro) | t | 11.970,0 | 0,0 | EPE; MME, 2013 | Resíduo da indústria de celulose |
| Óleo BPF | m ³ | 49.786,0 | 3.835,0 | MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008 | MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008 |
| Óleo de xisto | t | 38.100,0 | 2.792,7 | IPCC, 2006 | Planilha do GHG Protocol ⁹ |

9 Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol: <http://ghgprotocolbrasil.com.br>.

10 EPE; MME, 2013: para o calculo foram consideradas as principais fontes responsaveis pela producao de eletricidade no Brasil: hidreletrica, biomassa, gas natural, petroleo, nuclear e carvao e seus derivados.

11 www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora.

6.4.2 MATÉRIAS-PRIMAS

Na Tabela 5 são apresentados os dados usados para os cálculos da emissão de CO₂ e da energia referentes à produção das matérias-primas. Os valores foram levantados apenas em fontes que forneciam essas informações para o cenário nacional. Para o levantamento desses dados foram

consideradas as etapas de extração e processamento. Como nesse primeiro módulo da ACV-m foram selecionados apenas os consumos das principais matérias-primas, os dados considerados foram extração e processamento dos agregados e a produção do cimento. Esses valores não consideram o transporte do material.

Tabela 5 – Fatores de emissão de CO₂ e energia incorporada das matérias-primas.

| Matérias-primas | Fator de Emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /t) | | Energia incorporada (MJ/t) | | Fontes - Fator de Emissão de CO ₂ e Energia |
|--------------------|--|--------|----------------------------|--------|--|
| | mínima | máxima | mínima | máxima | |
| Areia natural | 4,2 | 9,6 | 55,3 | 109,0 | SOUZA, 2012 |
| Areia industrial | 1,3 | 1,9 | 17,1 | 42,1 | FALCÃO <i>et al.</i> , 2013 |
| Brita 0 | 1,2 | 1,9 | 13,5 | 55,3 | ROSSI, 2013 |
| Cinza volante | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Resíduo de outro setor |
| Pedrisco de seixo | 1,3 | 1,9 | 14,6 | 42,1 | FALCÃO <i>et al.</i> , 2013 |
| Pedrisco | 1,3 | 1,9 | 14,6 | 42,1 | FALCÃO <i>et al.</i> , 2013 |
| Pó de pedra | 1,3 | 1,9 | 17,1 | 42,1 | FALCÃO <i>et al.</i> , 2013 |
| Agregado reciclado | 0,8 | 1,8 | 13,8 | 20,7 | OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013 |
| Cimento CP II-F | 716,4 | 804,4 | 3.096 | 3.240 | HEINRICHS ¹² ; WBCSD ¹³ |
| Cimento CP II-Z | 599,8 | 804,4 | 2.592 | 3.240 | HEINRICHS ¹² ; WBCSD ¹³ |
| Cimento CP II-E | 433,2 | 804,4 | 1.872 | 3.240 | HEINRICHS ¹² ; WBCSD ¹³ |
| Cimento CP III | 174,9 | 545,2 | 756 | 2.196 | HEINRICHS ¹² ; WBCSD ¹³ |
| Cimento CP IV | 344,3 | 723,9 | 1.476 | 2.916 | HEINRICHS ¹² ; WBCSD ¹³ |
| Cimento CP V | 758,0 | 858,0 | 3.276 | 3.456 | HEINRICHS ¹² ; WBCSD ¹³ |

12 Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos estruturais, de autoria de Vanessa C.H.C. Oliveira – dissertação de mestrado em andamento. Escola Politécnica da Universidade São Paulo, 2014.

13 Para o cálculo desses valores foi adotado o valor médio do consumo energético para a produção de uma tonelada de clínquer (últimos cinco anos - 2008 a 2012) publicado pelo WBCSD (www.wbcscement.org/GNR-2012/Brazil/GNR-Indicator_329-Brazil.html) e os teores de clínquer permitidos pelas normas brasileiras.

No caso do cimento, o levantamento da emissão de CO₂ e a energia incorporada considerou os teores de clínquer permitidos por norma (NBR

11578, NBR 5735, NBR 5736 e NBR 5733). A Figura 5 ilustra como o tipo de cimento pode influenciar na emissão de CO₂.

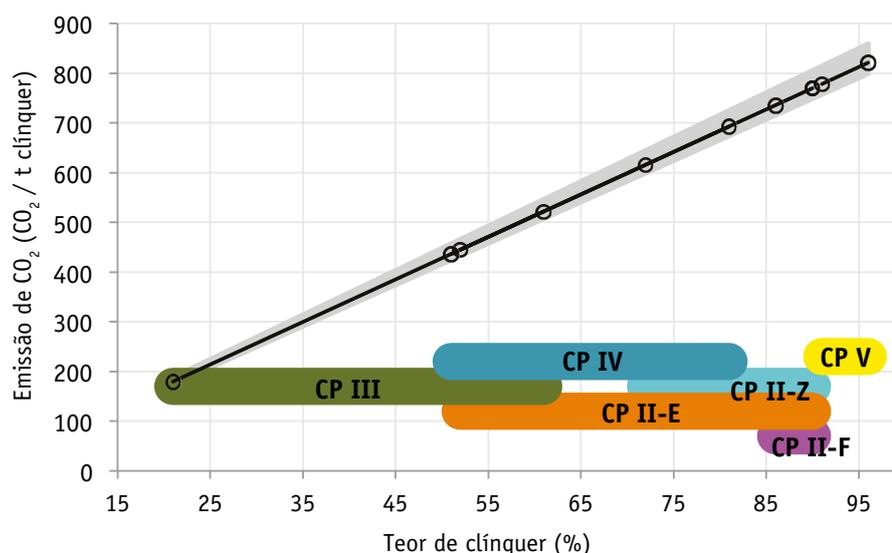


Figura 5 – Variação da emissão de CO₂ por tipo de cimento, considerando a faixa de teor de clínquer permitido por norma (Heinrichs et al., 2014¹⁴).

14 Artigo "Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos", aceito em 2014 pela revista Ambiente Construído, de autoria de Vanessa Carina Heinrichs Chirico Oliveira, Bruno Luis Daminieli, Vahan Agopyan, Vanderley Moacyr John.

6.5 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA – PRODUTOS ANALISADOS NO ESTUDO

Para facilitar o preenchimento do formulário, algumas unidades de medida foram definidas pela própria empresa.

- A **quantidade comercializada** de cada produto no período em análise poderia ser informada em **m², m³, tonelada** ou **mil peças**.

Algumas empresas adotaram mais de uma opção, uma para os blocos para pavimento e outra para os blocos para alvenaria. Nenhuma empresa adotou o m³ como unidade de produção dos produtos selecionados.

- O **teor de cimento** por tipo de produto poderia ser informado em **% da massa, kg/m³** ou **kg/peça**.
- O **consumo de água de composição por peça** tinha as opções apenas em **volume** (m³ ou litro), mas

algumas empresas informaram em **% da massa** ou **litro/m²**.

As análises desses dados e o cálculo dos indicadores foram feitos nas seguintes unidades:

- Produção vendida: número de peças e tonelada;
- Teor de cimento: kg/peça;
- Água: litro/peça.

Para isso, foram necessárias algumas conversões e estimativas.

As tabelas a seguir apresentam como as empresas informaram as

unidades de alguns itens solicitados pelo formulário. Na Tabela 6 são apresentadas as unidades de produção, por tipo de produto, informadas pelas empresas. Na Tabela 7 são apresentadas as unidades de consumo de cimento por peça e as unidades escolhidas para informar o consumo de água de composição por peça são apresentadas na Tabela 8. Os números sublinhados na Tabela 6 indicam as empresas que utilizaram unidades diferentes para apresentar a produção de blocos para pavimento e de blocos para alvenaria.

Tabela 6 – Unidade de produção informada por tipo de produto pelas empresas.

| Unidade de produção informada por tipo de produto analisado | Empresas |
|---|---|
| massa (tonelada) | 3, 5, 7, 12, 16, 33 |
| quantidade de peças (milheiro ou unidades) | 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 14, <u>15</u> , 18, 19, 20, 21, 22, 23, <u>24</u> , 25, <u>26</u> , <u>27</u> , 29, <u>30</u> , <u>31</u> , <u>32</u> , 34 |
| m ² | <u>15</u> , 17, <u>24</u> , <u>26</u> , <u>27</u> , 28, <u>30</u> , <u>31</u> , <u>32</u> |

Tabela 7 – Unidades de consumo de cimento (por peça) informadas pelas empresas.

| Unidade de consumo de cimento informada | Empresas |
|---|--|
| kg/peça | 1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 12, 14, 19, 21, 22, 24, 25, 28, 30, 32, 33 |
| % da massa | 5, 8, 10, 13, 15, 18, 20, 23, 26, 27, 29 |
| kg/m ³ | 16, 17, 30, 31 |

Tabela 8 – Unidades de consumo de água (por peça) informadas pelas empresas.

| Unidade de consumo de cimento informada | Empresas |
|---|--|
| litro/peça | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 30, 31, 32, 33, 34 |
| % da massa | 10, 29 |
| litro/m ² | 26, 27 |

6.5.1 PRODUÇÃO EM MASSA

Os indicadores desse estudo foram calculados tendo como referência as unidades funcionais definidas para cada tipo de bloco de concreto, para pavimento em m² e para alvenaria em unidade de peça. Por esse motivo, quando a produção total foi informada em tonelada, para se calcular a quantidade de peças, a massa total informada foi dividida pela massa unitária do produto, como expresso na equação a seguir.

$$qtd_{total.pç} = \frac{massa_{total}}{massa_{unitária.pç}}$$

6.5.2 PRODUÇÃO EM NÚMERO DE PEÇAS

A alocação dos consumos de energia (eletricidade e combustíveis) e de água e da geração de resíduos foi realizada em massa. Para isso, quando a produção comercializada por tipo de produto foi informada em milheiro (mil peças), a massa total foi calculada multiplicando a quantidade de peças pela massa unitária.

$$massa_{total} = qtd_{total.pç} \times massa_{unitária.pç}$$

6.5.3 PRODUÇÃO EM ÁREA

Quando a produção foi informada em área, primeiramente levantou-se a quantidade de peças por m² de cada empresa, através de contato via e-mail ou em sua *homepage*. Assim, para se obter o número total de peças produzidas, multiplicou-se a área total pela quantidade de peças por m². Com o número de peças calculado, levantou-se a massa total para cada produto selecionado para o estudo.

$$qtd_{total.pç} = área_{total} \times qtd_{pç} / m^2$$

$$massa_{total} = qtd_{total.pç} \times massa_{unitária.pç}$$

6.5.4 TEOR DE CIMENTO POR PEÇA

O teor de cimento em massa (kg), por peça, foi considerado a unidade de referência para o cálculo dos indicadores. Algumas empresas passaram esse dado já em quilo, não sendo necessário realizar conversões.

6.5.5 TEOR DE CIMENTO EM % DA MASSA

Quando o teor de cimento foi informado em % da massa, baseou-se na massa seca da peça para estimar a quantidade de cimento por produto. Para isso, considerou-se que a massa informada pela empresa se encontrava em equilíbrio com a umidade do ar, adotada como igual a 5%. Assim, a massa de água contida na peça e a massa seca foram expressas pelas equações a seguir.

$$m_{\text{água,pc}} = \text{massa}_{\text{pc}} \times 0,05$$

$$\text{massa}_{\text{seca,pc}} = \text{massa}_{\text{pc}} - \text{massa}_{\text{água,pc}}$$

Logo, a massa de cimento é estimada pela multiplicação da massa seca estimada pelo teor de cimento informado em porcentagem, cálculo expresso pela seguinte equação:

$$\text{massa}_{\text{cimento,pc}} = \text{massa}_{\text{seca,pc}} \times \% \text{teor cimento}$$

6.5.6 TEOR DE CIMENTO EM KG/M³

Para o teor de cimento informado em kg/m³, primeiramente foi necessário estimar o volume de cada peça. Para cada tipo de produto foi adotado um procedimento.

- **bcp retangular:** o volume da peça foi calculado com base na geometria informada, por se tratar de uma peça com formato regular.
- **bcp de 16 faces:** o volume foi calculado a partir da quantidade de peças por m². Com esse dado estimou-se a área de uma peça e, em seguida, com a espessura de cada peça, seu volume.
- **bce e bcv:** o volume de cada bloco foi calculado com base na geometria informada e na espessura de paredes especificada pela NBR 6136 (ABNT, 2007).

Com o volume de cada peça, multiplicou-se esse valor com o teor de cimento fornecido em kg/m³, como apresentado na equação a seguir:

$$\text{massa}_{\text{cimento,pc}} = \text{volume}_{\text{estimado,pc}} \times \text{teor cimento (kg/m}^3)$$

6.5.7 CONSUMO DE ÁGUA POR PEÇA

O consumo de água em volume (litro), por peça, foi considerado a unidade de referência para o cálculo dos indicadores. Algumas empresas passaram esse dado em litro, não tendo sido necessário realizar conversões.

6.5.8 CONSUMO DE ÁGUA EM % DA MASSA

Quando o consumo de água por peça foi informado em % da massa, a mes-

ma consideração adotada para calcular a quantidade de cimento, quando o teor também foi informado em porcentagem, foi feita. Como se baseou na massa seca da peça para estimar a quantidade de água por produto, considerou-se que a massa informada pela empresa estava equilibrada com a umidade do ar, adotada como sendo 5%.

A massa de água é calculada por meio da multiplicação da massa seca estimada pela porcentagem de água informada, cálculo expresso pela seguinte equação:

$$\text{massa}_{\text{água,pc}} = \text{massa}_{\text{seca,pc}} \times \% \text{água}$$

6.5.9 CONSUMO DE ÁGUA EM LITRO/M²

Quando a quantidade de água informada referia-se ao m² de peças, fez-se necessário obter a quantidade de peças por m² da empresa, através de sua *homepage* ou por contato com o responsável pelos dados. Com essas informações foi possível estimar o consumo de

água por peça, calculado pela equação apresentada a seguir:

$$\text{água}_{\text{pc}} = \frac{\text{água}/\text{m}^2}{\text{qtd}_{\text{pc}}/\text{m}^2}$$

6.6 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE TOTAL DE PRODUTOS DA FÁBRICA

Para realizar os procedimentos de alocação dos insumos energéticos e análise da consistência dos dados de matérias-primas informados, a produção total da fábrica foi solicitada. Permitiu-se que esse valor fosse informado em algumas unidades para facilitar o preenchimento do formulário pela empresa: **tonelada, mil peças, m² e m³**. Na Tabela 9 são apresentadas as considerações de cada empresa.

No entanto, quando a quantidade total da fábrica foi informada em m² ou m³, para calcular a massa total da fábrica, foi necessário fazer algumas conversões para estimar o número total de peças. Essas estimativas foram realizadas para possibilitar o cálculo dos indicadores do estudo.

Tabela 9 – Unidades de produção total da fábrica informadas pelas empresas.

| Unidade de produção total informada | Empresas |
|-------------------------------------|--|
| tonelada | 3, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 20, 25, 26, 27, 30, 33, 34 |
| número de peças | 1, 2, 4, 6, 11, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 29 |
| m ² | 15, 17, 28 |
| m ³ | 31 |

6.6.1 PRODUÇÃO TOTAL DA FÁBRICA EM M²

Estimou-se o número total de peças produzidas para cada categoria de produto a partir da quantidade de peças por m². Essa informação foi obtida pela empresa através de contato com o responsável ou dos dados disponíveis no *site* da empresa. Calculou-se a quantidade média de peças por m² pela divisão do número total de produtos do estudo (QTD_{TP}) pela somatória das áreas informadas (Área_{TP}). Com a área total de peças produzidas na fábrica (Área_{TPF}) e a quantidade média de peças por m², estimou-se o número total de peças produzidas pela empresa no período analisado.

$$QTD_{\text{média}}/m^2 = \frac{QTD_{TP}}{\text{Área}_{TP}}$$
$$QTD_{TP} = \text{Área}_{TPF} \times QTD_{\text{média}}/m^2$$

6.6.2 PRODUÇÃO TOTAL DA FÁBRICA EM M³

Estimou-se o volume por peça com base na geometria informada (peças retangulares), na quantidade de peças por m² (peças de 16 faces) e na geometria e espessura da parede especificada em norma (blocos estruturais e de vedação). Através desses volumes e do número total de cada produto analisado (dado informado), calculou-se o volume total dos blocos analisados no projeto (Volume_{TP}) e, em seguida, o volume médio por peça. Com o volume total de produtos fabri-

cados (Volume_{TPF}) e o volume médio, estimou-se o número total de peças produzidas no período.

$$\text{Volume}_{\text{médio}} = \frac{\text{Volume}_{TP}}{QTD_{TP}}$$
$$QTD_{TP} = \frac{\text{Volume}_{TPF}}{\text{Volume}_{\text{médio}}}$$

6.7 ESTIMATIVA DE COMBUSTÍVEL PELO TRANSPORTE DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Para a estimativa do consumo de combustível (óleo diesel) devido ao transporte das matérias-primas foi solicitada das empresas a distância média de deslocamento e a cidade onde cada fornecedor está localizado. Essa informação foi verificada com o auxílio da ferramenta *online Google Maps*.

O formulário não solicitou as quantidades de insumos entregues a cada pedido da fábrica a seus fornecedores e o tipo de veículo utilizado. Essas informações foram solicitadas através de contatos com as empresas por *e-mail* ou telefone. Nos casos em que não houve sucesso no levantamento dessas informações, foi estimada uma faixa de massa total de transporte (massa do caminhão e massa da carga). Esses valores foram baseados nas quantias de insumos entregues por pedido das empresas que retornaram, bem como nas massas dos tipos de veículos informados. Para o cimento, as massas totais de transporte consideradas foram 39 e 64 toneladas. Para os agregados, a faixa variou de 21 a 64 toneladas.

O transporte das matérias-primas é realizado majoritariamente por meio de caminhões. Houve apenas um caso em que há a associação de dois tipos de transporte no fornecimento de cimento, onde um trecho do percurso é realizado por trem e outro trecho por caminhão.

6.7.1 TRANSPORTE POR CAMINHÃO

Com as quantidades totais de cada matéria-prima (QTD_{mp}) e as quantidades entregues a cada pedido ($QTD_{transp.}$), o número de viagens necessárias foi estimado como apresentado na equação a seguir:

$$n^{\circ}viagens = \frac{QTD_{mp}}{QTD_{transp}}$$

A maioria das empresas informou um valor fixo de carga transportada por pedido. Para elas, a faixa de consumo de combustível (CD) foi estimada de acordo com as equações a seguir:

$$CD_{\min} = \frac{FC_{\min} \times n^{\circ}viagens \times MTT_{\min} \times DIST}{QTD_{mp}}$$

$$CD_{\max} = \frac{FC_{\max} \times n^{\circ}viagens \times MTT_{\max} \times DIST}{QTD_{mp}}$$

Onde:

FC = faixa de consumo de diesel.

MTT = massa total de transporte, carga transportada mais a massa do caminhão.

No entanto, algumas empresas informaram que a quantidade de insumos entregues por pedido aos seus fornecedores é variável. Essas empresas foram as de numeração 1, 4, 11, 22, 23, 25, 29, 31 e 32. As empresas 12, 19 e 33

declararam apenas a variação no fornecimento do cimento. Para esses casos, foram consideradas as equações a seguir para se estimar o consumo de combustível. Essa diferença foi considerada porque o caminhão que apresenta maior capacidade de carga realiza menos viagens para entregar a mesma quantidade de material e, consequentemente, consome menos combustível:

$$CD_{\min} = \frac{FC_{\min} \times n^{\circ}viagens_{\min} \times MTT_{\max} \times DIST}{QTD_{mp}}$$

$$CD_{\max} = \frac{FC_{\max} \times n^{\circ}viagens_{\max} \times MTT_{\min} \times DIST}{QTD_{mp}}$$

Devido à variação de modelos de veículos utilizados pelo setor, da capacidade de carga e da distância percorrida, decidiu-se adotar um valor mínimo e um valor máximo, ao invés de um valor médio. O consumo devido ao transporte feito por meio de caminhão varia de 0,006 a 0,022 l/t.km (CAMPOS, 2012).

Essa faixa de consumo de diesel por tonelada-quilômetro adotada foi estimada com base em dados de revistas do segmento de veículos de transporte de cargas e pessoas, entrevistas com algumas empresas que comercializam produtos de madeira e comunicação governamental (CAMPOS, 2012). Essas informações foram comparadas com alguns dados referentes ao transporte das matérias-primas do setor de blocos de concreto. Com isso, observou-se que a faixa de variação de consumo de diesel por km de transporte é similar.

Como o estudo considerado realizou um levantamento de dados maior para o cálculo da faixa, decidiu-se adotar seus resultados.

A massa total de transporte foi estimada com base na quantidade de cada matéria-prima entregue por pedido e do tipo de veículo utilizado. A massa do caminhão foi levantada nos manuais técnicos da Ford e da Volkswagen. A massa das carrocerias foi levantada em manuais técnicos, sites e contatos com fabricantes de implementos rodoviários (Guerra, Randon, Bruscal, Norma).

6.7.2 TRANSPORTE POR TREM

O consumo de combustível pelo transporte realizado por trem foi calculado com base na faixa do fator de emissão de CO₂ disponível no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas (ANTT; IEMA, 2012). Esse valor é fornecido em kgCO₂/t.ku e varia de 0,0049 a 0,0364. Sendo assim, calculou-se a quantidade de CO₂ total emitida conforme a equação a seguir.

$$CO_{2 \text{ mín}} = \frac{FET_{\text{mín}} \times n^{\circ} \text{ viagens} \times M_{\text{transp}} \times DIST}{QTD_{\text{mp}}}$$

$$CO_{2 \text{ máx}} = \frac{FET_{\text{máx}} \times n^{\circ} \text{ viagens}_{\text{máx}} \times M_{\text{transp}} \times DIST}{QTD_{\text{mp}}}$$

Onde:

FET = fator de emissão de CO₂ devido ao transporte ferroviário fornecido pelo 1º Inventário.

M_{transp} = massa de matéria-prima transportada por viagem.

No inventário, o combustível utilizado para o levantamento do fator de emissão de CO₂ é o óleo diesel. Assim, com o valor total de CO₂ encontrado e o fator de emissão do CO₂ do diesel (FE_{diesel}), calcula-se a quantidade de combustível (CD) necessária para o transporte unitário da matéria-prima em questão. Esse cálculo é expresso pela equação dada a seguir:

$$CD = \frac{CO_2}{FE_{\text{diesel}}}$$

6.8 CÁLCULO DOS INDICADORES

Para o cálculo e divulgação dos indicadores foi estabelecida como unidade funcional (unidade de referência) o **m² para os blocos para pavimento e unidade de peça para os blocos estruturais e de vedação.**

6.8.1 INDICADOR DE CIMENTO

Para a análise de dados definiu-se que a unidade padrão do teor de cimento é a quantidade em massa por m² (kg/m²) para os bcp e por peça (kg/pç) para os bce e bcv.

Algumas empresas forneceram seus dados nessa unidade, sendo que para as demais os consumos foram convertidos nas unidades comuns a elas. Para o cálculo do indicador por m², multiplicou-se a quantidade de cimento por peça pela quantidade de peças que compõe 1 m², referente a cada empresa.

6.8.2 INDICADOR DE AGREGADOS

Os dados de consumos de agregados solicitados pelo formulário se referiam à produção total da fábrica no período, não apenas aos blocos selecionados para o estudo. Assim, o consumo de agregados por tipo de produto foi estimado com base na massa unitária informada para cada peça.

Para isso, considerou-se que a massa do produto é constituída por cimento, agregados e água. Essa última parcela é composta pela água que reage com o cimento (20% da massa de cimento) e a água de equilíbrio com a umidade do ar (adotado 5%). A massa de agregados necessária para cada tipo de produto, por peça, foi calculada pela equação a seguir.

$$massa_{\text{agregados.pç}} = massa_{\text{unitária.pç}} - massa_{\text{cimento.pç}} - massa_{\text{água}}$$

Sendo:

$$massa_{\text{água}} = 20\% (massa_{\text{cimento.pç}}) + 5\% (massa_{\text{unitária.pç}})$$

Como não foi exigida de cada empresa a proporção dos agregados em cada tipo de produto, estimou-se a parcela de cada agregado através do consumo total da fábrica. Esses cálculos são representados nas equações a seguir:

$$massa_{\text{agregados.fábrica}} = massa_{\text{agregado.1}} +$$

$$massa_{\text{agregado.2}} + \dots + massa_{\text{agregado.n}}$$

$$\%_{\text{agregado.n}} = \frac{massa_{\text{agregado.n}}}{massa_{\text{agregados.fábrica}}}$$

Assim, com a massa total de agregados calculada em cada produto e a proporção estimada de cada tipo de agregado, os consumos para uma peça puderam ser estimados, apresentados na equação abaixo. Assim como o indicador de cimento, o indicador de agregados é apresentado em kg/peça para os blocos para alvenaria e em kg/m² para os blocos para pavimento. Para o cálculo do indicador por m², multiplicou-se a quantidade de agregados por peça pela quantidade de peças que compõe 1 m², referente a cada empresa.

$$massa_{\text{agregado.n.pç}} = \%_{\text{agregado.n}} \times massa_{\text{agregados.pç}}$$

O consumo informado refere-se ao total de agregados. Não é apresentado consumo por tipo de agregado, por haver variação entre as composições apresentadas pelas empresas.

Essas massas foram importantes para determinar quanto do impacto referente ao transporte de cada tipo de agregado está direcionado a cada produto.

6.8.3 ENERGIA

O consumo de energia da peça foi estimado com base em três origens: transporte das matérias-primas, a produção das mesmas e a energia consumida pela fábrica. Sendo assim, o indicador de energia total da peça é calculado como apresentado na equação a seguir. As energias embutidas dos insumos foram apresentadas no item 6.4.

$$\text{Energia}_{\text{total.pç}} = \text{Energia}_{\text{transporte.pç}} + \text{Energia}_{\text{mp.pç}} + \text{Energia}_{\text{fábrica.pç}}$$

Esse cálculo resulta no indicador de energia em MJ/peça. Para a obtenção do mesmo em MJ/m², multiplicou-se a quantidade de energia por peça pela quantidade de peças que compõe 1 m², referente a cada empresa.

6.8.3.1 Transporte

Com as faixas de volumes estimados de óleo diesel para transportar cada tonelada de matéria-prima (CD – valores mínimos e máximos), calculou-se o consumo de combustível utilizado para transportar cada insumo contido em uma peça (CD_{pç}). Esse cálculo é apresentado na equação a seguir:

$$\text{CD}_{\text{pç}} = \text{CD} \times \text{massa}_{\text{insumo.pç}}$$

Com o valor de energia embutida (EE) do óleo diesel, calcula-se a energia incorporada por peça referente ao transporte das matérias-primas.

$$\text{Energia}_{\text{transporte.pç}} = \text{EE}_{\text{diesel}} \times \text{CD}_{\text{pç}}$$

6.8.3.2 Materiais

A energia incorporada no produto, devido ao consumo de cimento e agregados, foi calculada através das massas de matérias-primas estimadas por peça (massa_{mp.pç}), ou seja, por meio dos indicadores de materiais. Os diferentes tipos de agregados foram relacionados às suas respectivas energias embutidas. Para o cimento houve diferenciação quanto ao

tipo de cimento, de acordo com a faixa de teor de clíquer permitida por norma.

$$\text{Energia}_{\text{mp.pç}} = \sum(\text{EE}_{\text{mp}} \times \text{massa}_{\text{mp.pç}})$$

6.8.3.3 Fábrica

Os dados da energia utilizada na fábrica foram informados através dos consumos de eletricidade e de combustíveis. Como essas informações se referem a toda produção da fábrica, primeiramente estimou-se a proporção em massa de cada produto do estudo (M_{TP}) em relação ao total da fábrica (M_{TPF}), como apresentado pela equação a seguir.

$$\% \text{produtos}_{\text{projeto}} = \frac{M_{\text{TP}}}{M_{\text{TPF}}}$$

Com essa relação e o consumo total de cada insumo energético da fábrica, realizou-se a alocação em cada produto selecionado para o estudo.

$$\text{consumo}_{\text{energia.prod}} = \% \text{produto}_{\text{projeto}} \times \text{consumo}_{\text{energia.fábrica}}$$

Dividindo-se esse consumo pela quantidade de peças produzidas para cada produto, no período em análise, obteve-se o consumo energético por peça.

$$\text{consumo}_{\text{energia.pç}} = \frac{\text{consumo}_{\text{energia.prod}}}{\text{QTD}_{\text{TP}}}$$

A energia incorporada por peça foi calculada através da multiplicação do consumo de energia por peça pela energia embutida do respectivo insumo energético.

$$\text{Energia}_{\text{fábrica,pc}} = \text{EE}_{\text{insumo,energ}} \times \text{consumo}_{\text{energia,pc}}$$

6.8.4 EMISSÃO DE CO₂

Os mesmos procedimentos adotados para a estimativa do indicador de energia foram utilizados para o levantamento do indicador de emissão de CO₂. A emissão da peça foi calculada com base no transporte das matérias-primas, na produção das mesmas e na energia consumida pela fábrica, conforme apresentado na equação a seguir. Os fatores de emissão de CO₂ dos insumos também foram apresentados no item 6.4.

$$\begin{aligned} \text{Emissão CO}_{2 \text{ total,pc}} &= \text{Emissão CO}_{2 \text{ transporte,pc}} + \\ &+ \text{Emissão CO}_{2 \text{ mp,pc}} + \text{Emissão CO}_{2 \text{ fábrica,pc}} \end{aligned}$$

Esse cálculo resulta no indicador de emissão de CO₂ em kgCO₂/peça. Para a obtenção desse cálculo em kgCO₂/m², multiplicou-se a quantidade de CO₂ por peça pela quantidade de peças que compõe 1 m², referente a cada empresa.

6.8.4.1 Transporte

Com as faixas de volumes estimados de óleo diesel para transportar cada tonelada de matéria-prima (CD – valores mínimos e máximos), calculou-se o consumo de combustível utilizado para transportar cada insumo contido em uma peça (CD_{pc}):

$$\text{CD}_{\text{pc}} = \text{CD} \times \text{massa}_{\text{insumo,pc}}$$

Com o valor do fator de emissão de CO₂ (FE) do óleo diesel, calcula-se a emissão de CO₂ por peça referente ao transporte das matérias-primas.

$$\text{Emissão CO}_{2 \text{ transporte,pc}} = \text{FE}_{\text{diesel}} \times \text{CD}_{\text{pc}}$$

6.8.4.2 Materiais

A emissão de CO₂ do produto, devido ao consumo de cimento e agregados, foi calculada através das massas de matérias-primas estimadas por peça (massa_{mp,pc}), ou seja, por meio dos indicadores de materiais. Os diferentes tipos de agregados foram relacionados aos seus respectivos fatores de emissão de CO₂. O cimento, principal responsável pela emissão de CO₂, teve sua análise realizada pelo tipo de cimento informado.

$$\text{Emissão CO}_{2 \text{ mp,pc}} = \sum (\text{FE}_{\text{mp}} \times \text{massa}_{\text{mp,pc}})$$

6.8.4.3 Fábrica

Os dados da energia utilizada na fábrica foram informados através dos consumos de eletricidade e de combustíveis. Como essas informações se referem a toda produção da fábrica, primeiramente estimou-se a proporção em massa de cada produto do estudo (M_{TP}) em relação ao total da fábrica (M_{TPF}), como apresentado pela equação a seguir.

$$\% \text{produtos}_{\text{projeto}} = \frac{M_{\text{TP}}}{M_{\text{TPF}}}$$

Com essa relação e o consumo total de cada insumo energético da fábrica, realizou-se a distribuição em cada produto selecionado para o estudo.

$$\text{consumo}_{\text{energia.prod}} = \text{\%produto}_{\text{projeto}} \times \text{consumo}_{\text{energia.fábrica}}$$

Dividindo-se esse consumo pela quantidade de peças produzidas para cada produto no período em análise, obtém-se o consumo energético por peça.

$$\text{consumo}_{\text{energia.pç}} = \frac{\text{consumo}_{\text{energia.prod}}}{\text{QTD}_{\text{TP}}}$$

A emissão de CO₂ por peça é calculada através da multiplicação do consumo de energia por peça pelo fator de emissão de CO₂ do respectivo insumo energético.

$$\text{Emissão CO}_{2\text{ fábrica.pç}} = \text{FE}_{\text{insumo.energ}} \times \text{consumo}_{\text{energia.pç}}$$

6.8.5 ÁGUA

Os dados de água solicitados no formulário foram o consumo de água por peça, na composição do concreto, e consumo de água total da fábrica. Relacionado a esse segundo consumo, solicitou-se a origem da água consumida, que poderia ser rede pública, rios ou lagos, poço, pluvial, represa e reúso. Nenhuma empresa indicou que utiliza água das duas últimas fontes.

No entanto, em relação ao consumo de água solicitado por peça, houve diferentes interpretações no preenchimento do formulário. A maioria das empresas (58%) informou a água total de composição, ou seja, considerou a água adicionada e a contida nos agregados. Algumas (24%) informaram apenas a água que foi adicionada aos materiais secos. As demais (18%) não especificaram como o dado foi levantado. As considerações da empresa no levantamento de água por peça foram apuradas por contato com os responsáveis pelo preenchimento. No entanto, algumas empresas que informaram apenas a água adicionada apresentaram consumo por peça muito alto, enquanto outras que consideraram a água de composição do concreto na sua estimativa possuíam consumo de água por peça muito baixo.

A ABCP informou que a água de composição representa em média 6% da massa seca (levantamento feito em trabalhos de dosagem realizado com alguns fabricantes¹⁵). Fernandes (2013) indica em seu livro, Blocos e Pavimentos – produção e controle de qualidade, que a umidade final da mistura fica em torno de 7% da massa total de materiais secos. Marchioni (2013) apresentou que a umidade para o concreto seco, utilizado para confecção de blocos, varia entre 6% e 8% da massa total. Decidiu-se adotar para as análises do presente

15 E-mail com o Eng. Claudio Oliveira Silva, da ABCP.

estudo a umidade definida pela ABCP por representar um valor médio.

Assim como foi distribuído o consumo de energia da fábrica (eletricidade e combustíveis) pela proporção em massa por produto ($\% \text{produto}_{\text{projeto}}$), realizou-se o mesmo procedimento para a água da fábrica. Com os consumos de água informados para toda a fábrica ($\text{água}_{\text{total.fábrica}}$), somando todas as fontes, multiplicou-se esse valor pela proporção de cada produto para se obter o consumo total de água por produto ($\text{água}_{\text{total.prod}}$).

$$\% \text{produtos}_{\text{projeto}} = \frac{M_{\text{TP}}}{M_{\text{TPF}}}$$

$$\text{água}_{\text{total.fábrica}} = \sum_{\text{fonte}_{\text{água}}}$$

$$\text{água}_{\text{total.prod}} = \% \text{produto}_{\text{projeto}} \times \text{água}_{\text{total.fábrica}}$$

Dividindo-se esse consumo pela quantidade de peças produzidas para cada produto no período em análise, obtém-se o consumo de água da fábrica, por peça.

$$\text{água}_{\text{fábrica.pç}} = \frac{\text{água}_{\text{total.prod}}}{\text{QTD}_{\text{TP}}}$$

O indicador de água representa apenas a água total da fábrica (retirada/captada pela empresa), visto que nesse primeiro momento não foi possível analisar a água consumida por peça no processo de produção, devido às diversas considerações feitas pelas empresas no levantamento da água de

composição do concreto. Esse indicador total de água da fábrica foi calculado em litro/peça, para os blocos para alvenaria e em litro/m², para os blocos para pavimento. Para a obtenção deste último, multiplicou-se a quantidade de água por peça pela quantidade de peças que compõem 1 m², referentes a cada empresa.

6.8.6 RESÍDUOS

Neste projeto, para estimar a geração de resíduos foi solicitado a cada empresa que informasse a porcentagem de cada produto que é perdida e a perda total de produção da fábrica (média dos últimos 12 meses). Esta definição não abrange a ampla gama de resíduos que podem ser gerados, como (a) agregados; (b) cimento; (c) embalagens e pallets; (d) perdas (quebras e sobras de produto formulado), seja no estado fresco ou endurecido. Isto ocorreu pelo fato de que, neste momento, boa parte das empresas não registra sistematicamente as quantidades de resíduos descartadas ou enviadas para a reciclagem.

Um complicador é que parte das perdas de produtos formulados da fábrica (quebras e sobras, estes últimos ainda não hidratados) *pode retornar* para a mistura, sendo reutilizado. Assim, as perdas incluem resíduo (material que não retorna ao processo) e material reutilizado. Estes valores são registrados de forma agregada, pois representam perda de produtividade da unidade fabril,

impactando diretamente nos custos. Assim, **não foi possível calcular um indicador de resíduo, sem considerar a parcela das perdas que é reutilizada.**

Deixou-se a critério da empresa a unidade de medida para informar a perda total de produção da fábrica. Para os casos em que essa perda foi passada em volume (m^3), para a conversão em massa adotou-se a densidade aparente média considerada para o agregado reciclado, que é de $1,45t/m^3$ (ver item 6.3).

Para estimar a perda de cada produto analisado, primeiramente calculou-se a massa total de peças perdidas ($perda_{prod}$), diretamente da massa total por produto (M_{TP}).

$$perda_{prod} = \%perda_{informada} \times M_{TP} \text{ (kg)}$$

Com a massa total de perda por produto, dividiu-se esse valor pelo número de peças fabricadas para se obter o indicador de perdas por peça ($perda_{pc}$), como indicado pela equação a seguir. Para calcular o indicador de perdas para os blocos para pavimento, multiplicou-se esse indicador pela quantidade de peças que compõe $1 m^2$, específico para cada empresa.

$$perda_{pc} = \frac{perda_{prod}}{QTD_{TP}}$$

7 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS - BALANÇO DE MASSA ENTRE INSUMOS E PRODUTOS INFORMADOS

Os dados fornecidos pelas empresas passaram por análise de consistência para verificar a uniformidade das informações coletadas. O objetivo foi comparar os dados informados dos produtos selecionados para o estudo com o total produzido pela fábrica. Algumas estimativas foram necessárias pelo fato dos dados informados pelas empresas se encontrarem em unidades diferentes das utilizadas na comparação.

As empresas informaram a produção total da fábrica em massa, unidades, m^2 ou m^3 . Para possibilitar a comparação com os totais de insumos da fábrica, foi necessário estimar a massa total dos produtos da empresa. Com a quantidade total em unidades (QTD_{TP}) e a massa total (M_{TP}) dos produtos analisados, calculou-se a massa média ($M_{média}$). Com base nessa massa e na quantidade de produtos da fábrica (QTD_{TPF}) em unidades, estimou-se a massa total de produção da fábrica (M_{TEF}).

$$M_{média} = \frac{M_{TP}}{QTD_{TP}}$$
$$M_{TEF} = M_{média} \times QTD_{TPF}$$

As empresas também informaram, em um percentual aproximado, a re-

presentatividade (faixa de valores) dos produtos analisados dentro do total da produção. Esse valor estava relacionado ao número de peças totais ou à massa total de produtos da fábrica. A representatividade calculada com os dados informados e estimados se encontra dentro ou próxima aos valores da faixa para a maioria das empresas.

A comparação entre os resultados percentuais de número de peças e a massa total mostrou-se incompatível para um grupo de empresas. As empresas 11, 14, 26 e 27 se apresentaram abaixo da faixa informada, enquanto a empresa 18 se mostrou acima dessa faixa. Essa diferença pode ser explicada pelo fato dos produtos selecionados apresentarem massa média maior do que os demais produtos, mas serem produzidos em menor quantidade. O contrário também poderia ter ocorrido, os produtos analisados possuindo massa média menor do que os outros produtos, mas sendo produzidos em maior quantidade.

A empresa 32 não informou a produção total da fábrica, apenas a representatividade dos produtos. Com isso, não foi possível estimar a massa total da fábrica, nem a representatividade

em massa. Pelas unidades escolhidas para comunicar a quantidade dos produtos analisados, essa representatividade deve estar em número de peças.

Como a empresa 19 não pôde informar a produção total da fábrica no período, nas análises de balanço de massa foi indicado que os produtos do estudo correspondem à produção total da fábrica, o que não corresponde à realidade. Isso foi considerado nas análises posteriores, sendo que alguns resultados não puderam ser calculados pela falta de dados sobre a produção total da fábrica.

Com os dados informados pelas empresas e as quantidades estimadas, calcularam-se as porcentagens de cimento, agregados e de materiais secos para os produtos analisados. Esses valores são comparados com a repre-

sentatividade da massa total desses produtos em relação à massa total da fábrica, para avaliar a qualidade e precisão dos dados.

Analisando o consumo de cimento total da fábrica e o calculado, com os dados informados para os produtos analisados, estimou-se a parcela de cimento da fábrica destinada a esses produtos. Comparando esse valor com a representatividade em massa da fábrica, algumas observações são importantes, e estão apresentadas na Tabela 10. Essas informações são ilustradas na Figura 6, onde os pontos em vermelho são os consumos totais de cimento calculados para os produtos em análise e os pontos em azul indicam a representatividade desses produtos na produção total da fábrica.

Tabela 10 – Análises de consumo de cimento: comparação entre o consumo total da fábrica e o consumo nos produtos em análise.

| Observação | Empresas |
|--|--|
| % cimento \approx % produtos | 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 20, 21, 26, 27, 28, 29, 30, 34 |
| % produto (100%) > % cimento | 2, 5 |
| % produto (100%) < % cimento | 22, 33 |
| % cimento (\approx 100%) > % produtos | 17 |
| % cimento (>100%) > % produtos | 23, 24 |
| % cimento (\approx 100%): % produtos não informados | 32 |
| % cimento > % produtos (>20%) | 14 |
| % cimento < % produtos (>20%) | 18, 25, 31 |

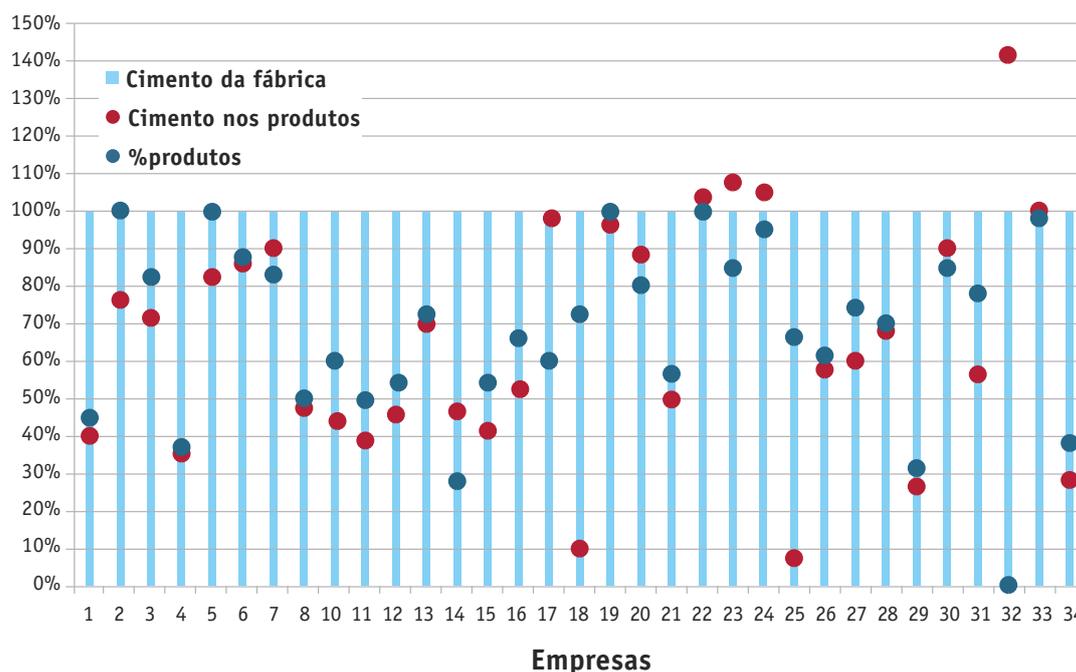


Figura 6 – Comparação entre a massa de cimento utilizada na fabricação dos produtos em análise com a massa de cimento total empregada pela fábrica e a porcentagem que os produtos analisados representam na massa total dos produtos.

Quando os pontos estão próximos, significa que a representatividade do consumo de cimento nos produtos em análise está proporcional à representatividade desses produtos na produção total da fábrica. Já quando esses pontos estão distantes, pode significar que mais ou menos de todo o cimento consumido pela fábrica é destinado à fabricação apenas desses produtos. Se o ponto em vermelho está acima do ponto em azul, significa que é consumido mais cimento nos produtos analisados do que nos demais produtos. Quando o ponto vermelho está abaixo do azul, ocorre o contrário. Observa-se pela figura que quando o ponto vermelho está localizado fora da barra azul significa que o consumo calculado para os produtos é superior ao consumo total da fábrica, o que pode indicar erro no inventário.

Analisando o consumo de agregados totais da fábrica e o calculado para os produtos analisados com base nos dados informados, estimou-se a parcela de agregados da fábrica destinada a esses produtos. Comparando esse valor com a representatividade dos produtos na fábrica, algumas questões são observadas, apresentadas na Tabela 11 e ilustradas na Figura 7. Os pontos em vermelho são os consumos totais de agregados estimados para os produtos em análise e os pontos em azul correspondem à representatividade desses produtos na produção total da fábrica.

Quando os pontos estão próximos, significa que a representatividade do consumo de agregados nos produtos em análise é proporcional à representatividade desses produtos na produção total da fábrica. Já quando esses

pontos estão distantes, pode significar que quase todo agregado consumido pela empresa é destinado apenas à fabricação desses produtos. Se o ponto vermelho está acima do ponto em azul, significa que são consumidos mais agregados nos produtos analisados do que nos demais produtos.

Quando o ponto vermelho está abaixo do azul, ocorre o contrário. Observa-se pela figura que quando o ponto vermelho está localizado fora da barra azul, significa que o consumo calculado para os produtos é superior ao consumo total da fábrica, o que pode indicar erro no inventário.

Tabela 11 – Análises de consumo de agregados: comparação entre fábrica e produtos analisados.

| Observação | Empresas |
|--|--|
| % agregados ≈ % produtos | 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 21, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 34 |
| % produto (100%) > % agregados | 2, 5 |
| % produto (100%) < % agregados | 22 |
| % agregados (≈100%) > % produtos | 17 |
| % agregados (>100%) > % produtos | 20, 22, 23, 24, 30 |
| % agregados (≈100%): % produtos não informados | 32 |
| % agregados > % produtos (>20%) | 14 |
| % agregados < % produtos (>20%) | 18, 25 |

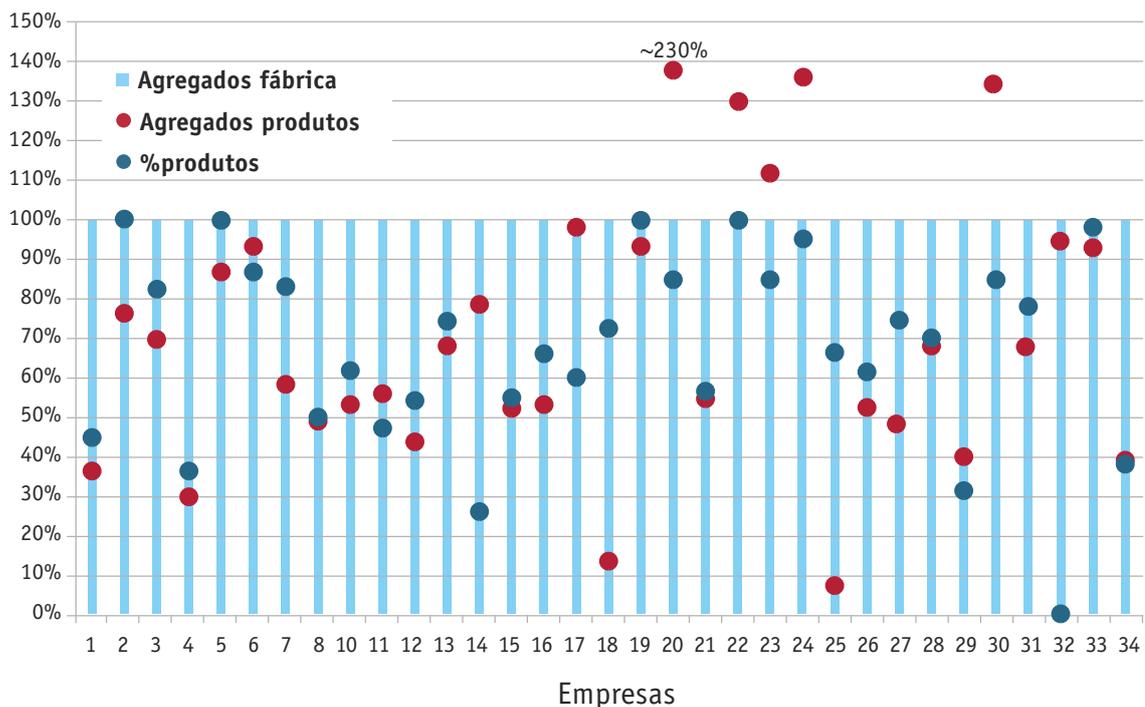


Figura 7 – Comparação entre a massa de agregados utilizada na fabricação dos produtos em análise com a massa total de agregados empregados pela fábrica e a porcentagem que os produtos analisados representam na massa total dos produtos.

Analisando o consumo de materiais secos (cimento e agregados) totais da fábrica e o calculado com base nos dados informados para os produtos analisados, estima-se quanto da fábrica é destinado a esses produtos. Comparando esse valor com a representatividade dos produtos na fábrica, alguns resultados que são apresentados na Tabela 12 e na Figura 8 podem ser observados. Os pontos vermelhos são os consumos totais de materiais secos estimados para os produtos em análise e os pontos em azul correspondem à representatividade desses produtos na produção total da fábrica.

Quando os pontos estão próximos, significa que a representatividade do consumo de materiais secos nos produ-

tos em análise é proporcional à representatividade desses produtos na produção total da fábrica. Já quando esses pontos estão distantes, pode significar que quase todo o material seco consumido pela fábrica é destinado à fabricação desses produtos apenas. Se o ponto vermelho está acima do ponto em azul, significa que são consumidos mais matérias-primas nos produtos analisados do que nos demais produtos. Quando o ponto vermelho está abaixo do azul, o contrário pode ser pressuposto. Observa-se pela figura que quando o ponto vermelho está localizado fora da barra azul, significa que o consumo de matérias-primas estimado para os produtos é superior ao consumo total da fábrica, o que pode indicar erro no inventário.

Tabela 12 – Análises de consumo de materiais secos: comparação entre a fábrica e os produtos analisados.

| Observação | Empresas |
|--|---|
| % materiais secos \approx % produtos | 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 21, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 34 |
| % produto (100%) > % materiais secos | 2 |
| % materiais secos (>100%) > % produtos | 17, 20, 22, 23, 24, 30 |
| % materiais secos > % produtos (>20%) | 14 |
| % materiais secos < % produtos (>20%) | 18, 25 |

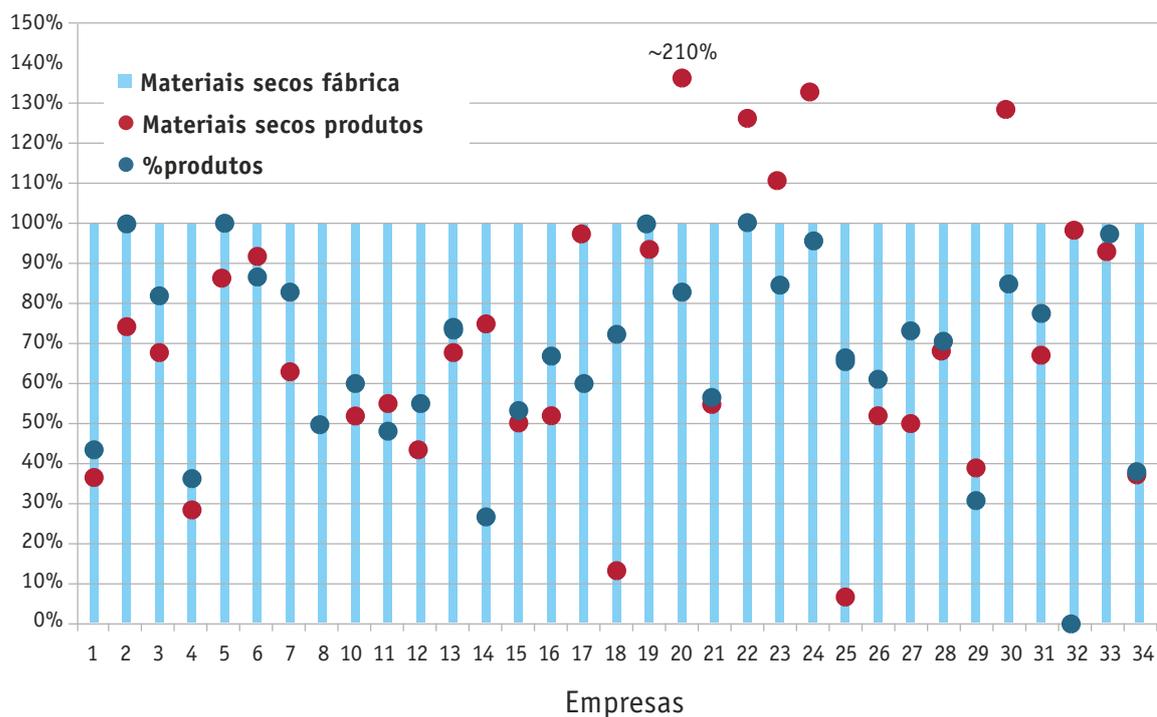


Figura 8 – Comparação entre a massa de materiais secos utilizados na fabricação dos produtos em análise com a massa total de materiais secos empregados pela fábrica e a porcentagem que os produtos analisados representam na massa total dos produtos.

A massa dos produtos é majoritariamente composta por cimento, agregados e água. Logo, a massa total dos produtos selecionados deve ser inferior à massa total de matérias-primas informadas como sendo da fábrica toda. Esse valor deve ser próximo, no caso da empresa produzir somente os produtos selecionados para o projeto.

As empresas 11, 14, 20, 22, 23, 24, 29 e 30 apresentaram o valor da massa total informada/estimada para todos os produtos da fábrica acima do valor de cimento e agregados informados como totais da empresa. Nas empresas 8, 21, 28 e 34 esses valores foram

próximos, o que pode ser causado pela presença de umidade do ar contida nas peças de concreto.

A empresa 17 informou que o cimento e agregados informados estão relacionados a toda a produção da fábrica, não apenas aos blocos analisados. No entanto, o levantamento das matérias-primas dos produtos do projeto corresponde ao consumo informado como total da fábrica.

A empresa 19 informou como produção total da fábrica apenas os produtos selecionados para o estudo, pois não foi possível fazer um levantamento sobre os demais produtos.

A empresa 20 apresentou um total de cimento dos produtos analisados coerente com o valor total utilizado na fábrica. No entanto, o total de agregados se encontra muito acima do total da fábrica.

A empresa 22 apresentou o consumo de cimento calculado um pouco superior ao total da fábrica. Como foi informado que os produtos selecionados para estudo correspondem a 100% da produção da fábrica, o dado está coerente, considerando que pode ter havido consumo um pouco superior de cimento em algum tipo de produto. Em relação ao consumo de agregados, observa-se que o consumo estimado está muito superior ao consumo total da fábrica.

As empresas 23 e 24 apresentaram tanto o consumo de cimento e de agregados dos produtos analisados superior aos valores informados, como os totais

da fábrica, apesar dos produtos do projeto não corresponderem à produção total da fábrica.

A empresa 30 apresentou o consumo de cimento dos produtos estudados coerente com o consumo total da fábrica. Já o consumo de agregados desses produtos se apresentou superior ao consumo total. O inverso pode ser observado com os produtos da empresa 32, que apresentou consumo de cimento superior ao total da fábrica, mas um consumo de agregados que pode ser considerado coerente.

Deve-se considerar que o único consumo informado referente aos blocos analisados foi o de cimento. O consumo de agregados e a proporção de cada tipo utilizado nos produtos foram estimados com base nos dados de massa e cimento da peça e das quantidades de cada tipo de agregado utilizado pela fábrica toda.

8 ANÁLISE DA MASSA INFORMADA POR PRODUTO

Alguns dados são estimados com base na massa da peça informada pela empresa. Eles são a estimativa do número de peças quando o total produzido é informado em massa e os consumos de cimento e água, quando suas quantidades são informadas em porcentagem. Sendo assim, qualquer erro de informação da massa pode ocasionar em erro nos resultados que dependem da massa da peça para serem obtidos. Por causa disso, fez-se necessário uma análise entre as massas dos produtos das empresas.

A ABCP forneceu uma tabela contendo a massa de referência de alguns produtos para comparação com as massas das empresas¹⁶. A variação das massas de blocos para pavimento retangulares de 35 MPa é ilustrada na Figura 9, apresentada por m². Observa-se que há dispersão entre as empresas, apesar de todos os produtos possuírem a mesma resistência e o mesmo formato. Comparando esses dados com os valores da ABCP para as peças de 6 cm,

verifica-se que as massas de todas as empresas encontram-se abaixo da massa seca de referência. Ao comparar as peças de 8 cm, nota-se que a massa de referência da ABCP tem valor próximo à mediana. Não foi informada a massa de referência para a peça de 10 cm, mas observa-se que uma empresa apresenta diferença de 50 kg/m² em relação à empresa que possui menor massa, cuja variação com as outras empresas é de no máximo 15 kg/m².

A Figura 10 apresenta a variação das massas por m² entre as empresas para os blocos para pavimento de 16 faces de 35 MPa. O mesmo observado nos blocos retangulares é verificado nesse caso, atentando para maior dispersão entre as empresas. Isso pode ser decorrente da maior variação nas dimensões das peças, pois não há uma padronização para as dimensões das mesmas, apesar de apresentarem o mesmo formato. Não foram informados os dados de massa de referência da ABCP para peças de 16 faces para comparar com os dados informados pelas empresas.

16 E-mail com o Eng. Claudio Oliveira Silva, da ABCP: dados levantados de trabalhos de dosagem realizados com alguns fabricantes.

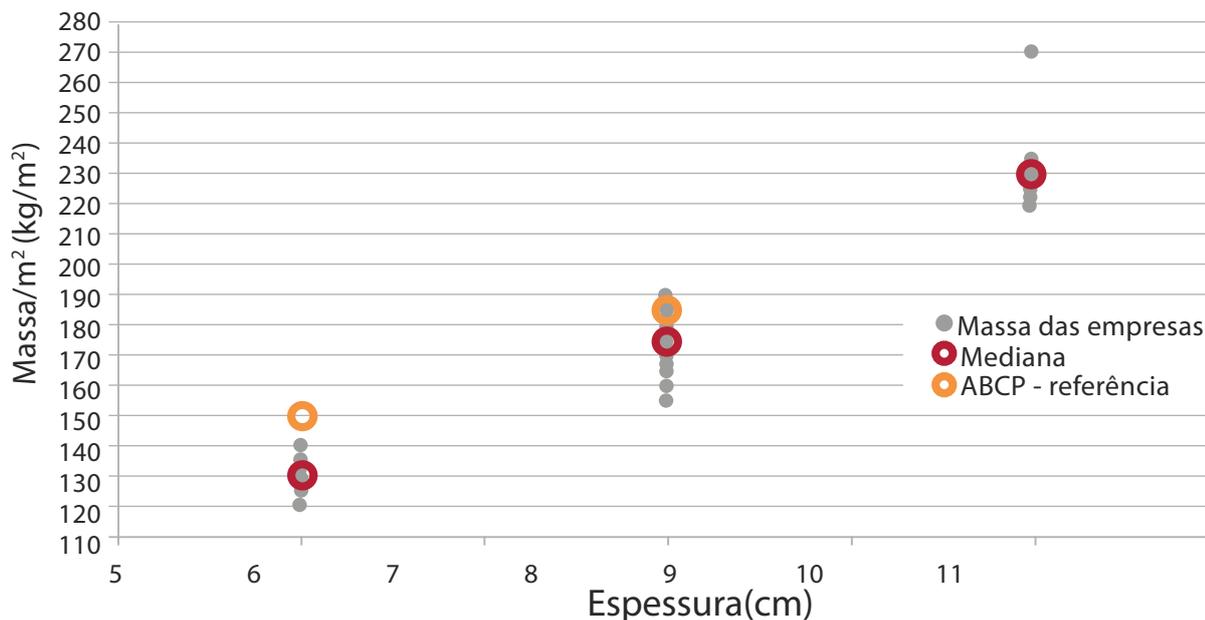


Figura 9 – Variação da massa informada e dado ABCP – Bloco para pavimento de 35 MPa. A variabilidade é função da variação da densidade das formulações e dos agregados.

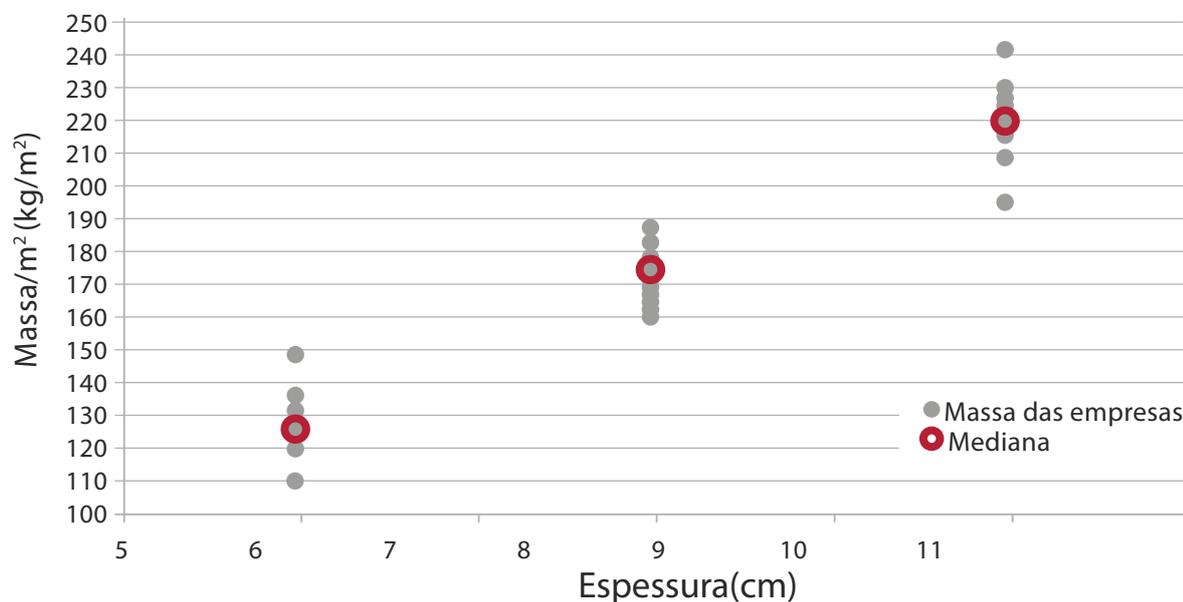


Figura 10 – Variação da massa informada – Blocos para pavimento de 16 faces (35 MPa). A variabilidade é função da variação das dimensões das peças e da variação da densidade das formulações e dos agregados.

Para os blocos estruturais, foi realizada a mesma análise apresentada na Figura 11. Observa-se que há grande

variação de massa entre as informações declaradas pelas empresas, apesar dos blocos apresentarem as mesmas resis-

tências e as mesmas dimensões. Isso pode ser resultado de uma série de fatores. O tipo de equipamento utilizado para a moldagem da peça influencia na massa da mesma, pois quanto mais eficiente for a compactação, menor a quantidade de poros, mais resistente é o concreto e maior a massa do bloco. A proporção e os tipos de agregados utilizados também são importantes na determinação da resistência do bloco, além de influenciar na massa do mesmo.

Apesar da NBR 6136 (ABNT, 2007) especificar as dimensões e as espessuras das paredes dos blocos, ela tolera pequenas variações, o que pode ocasionar uma considerável variação de mas-

sa da peça. Como algumas vibroprensas não apresentam a eficiência necessária para o alcance de algumas resistências, algumas empresas utilizam a tolerância da espessura das paredes para que seus produtos obtenham a resistência especificada para seu bloco.

A massa de referência da ABCP possui valor próximo ou igual à mediana dos valores informados pelas empresas.

A menor massa informada para os blocos de 8 MPa e 10 MPa pertencem à mesma empresa, sendo que esse valor é considerado baixo para as respectivas resistências. Já a maior massa levantada para o bloco de 12 MPa é considerada fora do normal.

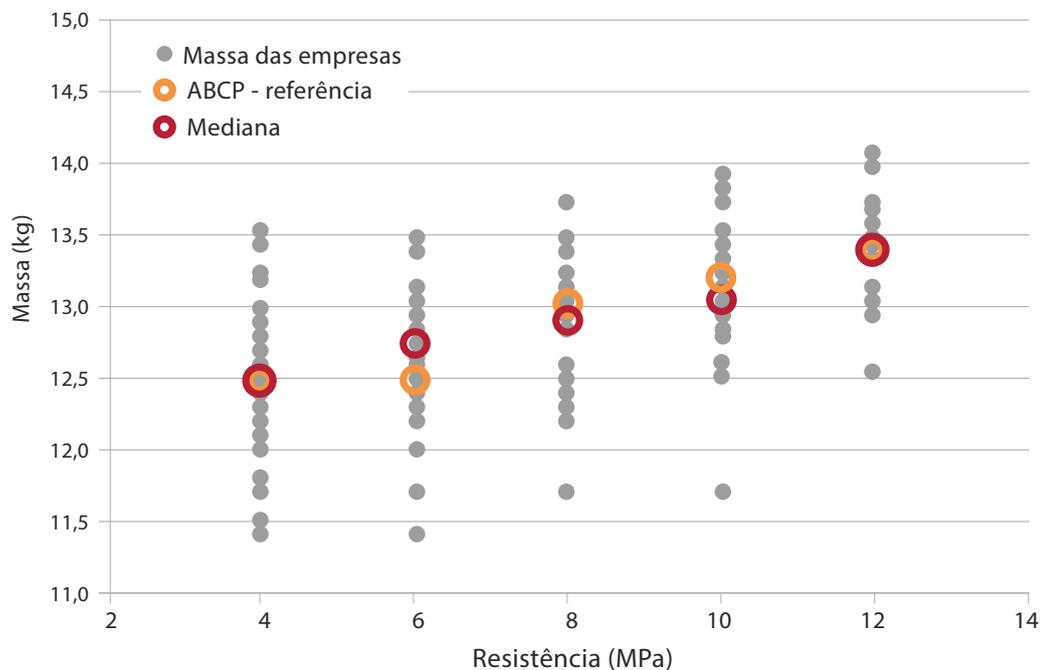


Figura 11 – Variação da massa informada – Blocos estruturais. A variabilidade é função da variação da densidade das formulações e dos agregados. Desgaste de formas é fator importante.

A Figura 12 apresenta a variação dos blocos de vedação de 2 MPa, com diferentes dimensões. Nesse caso pode-se observar uma dispersão maior em comparação com outros produtos, com diferença entre empresas superior a 3 kg.

Presume-se que o maior valor informado para o bloco com largura de 9 cm esteja incorreto, pois a empresa responsável (19) informou que tanto este bloco, quanto o de 14 cm de largura possuem a mesma massa.

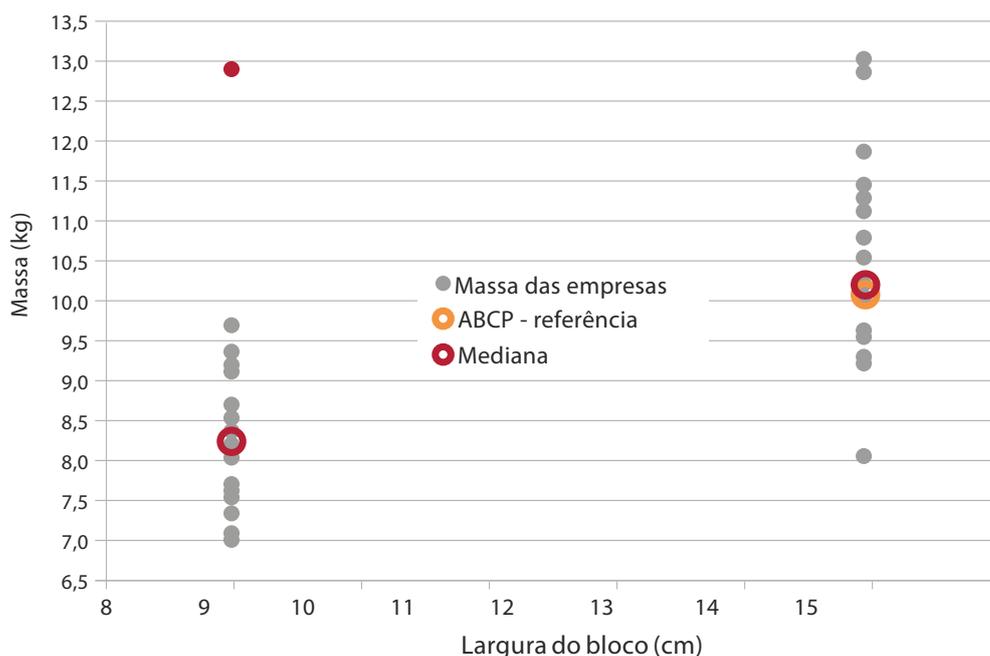


Figura 12 – Variação da massa informada – Blocos de vedação. A variação é associada à espessura da parede, além dos fatores de densidade. O dado referente a blocos de 9 cm com massa de 13 kg pertence à empresa 19, que forneceu o mesmo valor para blocos de 14 e 9 cm.

9 TIPOS DE CIMENTOS UTILIZADOS E CURA TÉRMICA

A Tabela 13 apresenta os tipos de cimento utilizados pelas empresas, onde se observa que uma mesma empresa pode utilizar mais de um tipo de cimento.

Apenas **12 das 33 empresas** regis-

traram o uso de cura térmica. Certamente, existem situações intermediárias, onde a cura térmica é usada na época de menor temperatura ou de alta demanda ou ainda, apenas em alguns produtos.

Tabela 13 – Tipos de cimento utilizados pelas empresas associados ao uso de cura térmica.

| Empresa | Tipos de cimentos | Realiza cura térmica |
|---------|-------------------|----------------------|
| 1 | CP V | X |
| 2 | CP V | |
| 3 | CP V | |
| 4 | CP V | |
| 5 | CP V | |
| 6 | CP V | X |
| 7 | CP II-Z | |
| 8 | CP II-Z; CP V | X |
| 10 | CP V | X |
| 11 | CP V | |
| 12 | CP V | X |
| 13 | CP V | |
| 14 | CP V | |
| 15 | CP V | |
| 16 | CP V | |
| 17 | CP II-E; CP V | |
| 18 | CP IV | X |
| 19 | CP V | |

Continua >

Tabela 13 – Tipos de cimento utilizados pelas empresas associados ao uso de cura térmica. – continuação

| Empresa | Tipos de cimentos | Realiza cura térmica |
|---------|-------------------|--------------------------------------|
| 20 | CP V | X |
| 21 | CP V | |
| 22 | CP V | |
| 23 | CP V | |
| 24 | CP V | X |
| 25 | CP III; CPV | |
| 26 | CP V | X |
| 27 | CP V | X |
| 28 | CP V | |
| 29 | CP V | X |
| 30 | CP V | |
| 31 | CP II-Z | |
| 32 | CP V | Não informou consumo de combustíveis |
| 33 | CP V | X |
| 34 | CP V | |

10 ANÁLISE DAS PERDAS E RESÍDUOS INFORMADOS

Dados de perdas de produção, referentes a todos os produtos da fábrica, foram solicitados no formulário. No entanto, a forma como essa informação foi pedida gerou dúvidas quanto aos dados a serem informados. Isso fez com que algumas empresas fornecessem dados de resíduos cimentícios que saem da fábrica, enquanto outras passassem seus valores de perdas de produção, que não necessariamente se tornam resíduos. A destinação que é dada a esse material permitiu observar que 97% das empresas que informaram dados referentes às perdas de material

cimentício reciclam esse montante, interna e/ou externamente.

No formulário não foram especificados os demais resíduos gerados devido às etapas de fabricação dos blocos de concreto. Essa informação foi preenchida por cada empresa, o que pode ter influenciado na quantidade de dados que retornaram, uma vez que nem todas as participantes indicaram a geração de outros resíduos que não os cimentícios. Na Tabela 14 são apresentadas as quantidades de empresas que informaram dados referentes aos resíduos que foram informados.

Tabela 14 – Levantamento do número de empresas que informaram dados de resíduos gerados no processo de fabricação dos blocos de concreto – cimentícios e outros.

| Empresa | Embalagem | | | | | Oleosos | | | Sucata metálica (aço incluído) | Material cimentício |
|----------------------------|-----------|---------|-----------|-----------------|----------|---------|-------|--------|--------------------------------|---------------------|
| | Pallets | Madeira | Plásticos | Papel e papelão | Tambores | Óleo | Graxa | estopa | | |
| Informou dados de resíduos | 9 | 4 | 6 | 3 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 | 29 |
| Recicla | 7 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 28 |
| Descarta | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| % recicla | 77,8 | 100,0 | 66,7 | 66,7 | 75,0 | 75,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 96,6 |

Apesar do número de empresas não ser representativo ao grupo participante do projeto (33 fábricas), observa-se elevada taxa de reciclagem de seus resíduos, tanto os referentes às perdas de processo quanto aos demais informados.

Com as informações levantadas observa-se que não existe padrão de

mercado na medida de resíduos e perdas de processo. Os dados revelaram a necessidade de uma metodologia padrão adequada a empresas de diferentes tamanhos e que seja confiante. Esta será desenvolvida em outra etapa do projeto.

11 INDICADORES SETORIAIS

Os indicadores setoriais são os resultados que indicam para a empresa, de modo simples e direto, a eficiência de seu processo produtivo comparada com as demais empresas participantes do projeto, sendo um indicador de desempenho. Esses indicadores também informam para as participantes que existem possibilidades de melhorar seu desempenho ambiental.

Estes indicadores correspondem ao consumo de materiais (cimento e agregados) e às perdas de produção. Por serem considerados resultados que indicam a eficiência da empresa, seus

valores apenas foram divulgados junto às empresas participantes.

Os consumos de materiais levantados foram considerados no cálculo dos indicadores de energia incorporada e emissão de CO₂.

Dados clara e objetivamente inconsistentes não são incluídos na análise. Algumas empresas passaram por auditoria para verificação dos dados informados nos formulários. No entanto, a metodologia seguida pela equipe de auditoria não conseguiu esclarecer algumas dúvidas ou dirimir inconsistências observadas.

12 INDICADORES DA ACV-M

Os indicadores da ACV-m são os resultados que indicam quantitativamente para a empresa os impactos ambientais originados devido à produção de blocos de concreto. Assim como os indicadores setoriais, eles também são apresentados em faixas compostas pelos menores e maiores resultados encontrados com os dados analisados.

Dados clara e objetivamente inconsistentes não são incluídos na análise. Algumas empresas passaram por auditoria para verificação dos dados informados nos formulários. No entanto, a metodologia seguida pela equipe de auditoria não conseguiu esclarecer algumas dúvidas ou dirimir inconsistência observadas.

12.1 INDICADOR DE ENERGIA INCORPORADA

O indicador de energia incorporada é composto pela energia total envolvida na obtenção dos insumos e fabricação da peça, ou seja, a energia estimada para o transporte das matérias-primas, a energia de extração e processamento das mesmas e a energia utilizada no processo produtivo dos produtos. As figuras a seguir apresentam, além dos valores que limitam a faixa energia incorporada, os resultados máximos (círculo vazado vermelho) e mínimos (círculo vazado verde) estimados para cada empresa.

As faixas são apresentadas na Figura 13 para os blocos para pavimento e na Figura 14 para os blocos estruturais e de vedação.

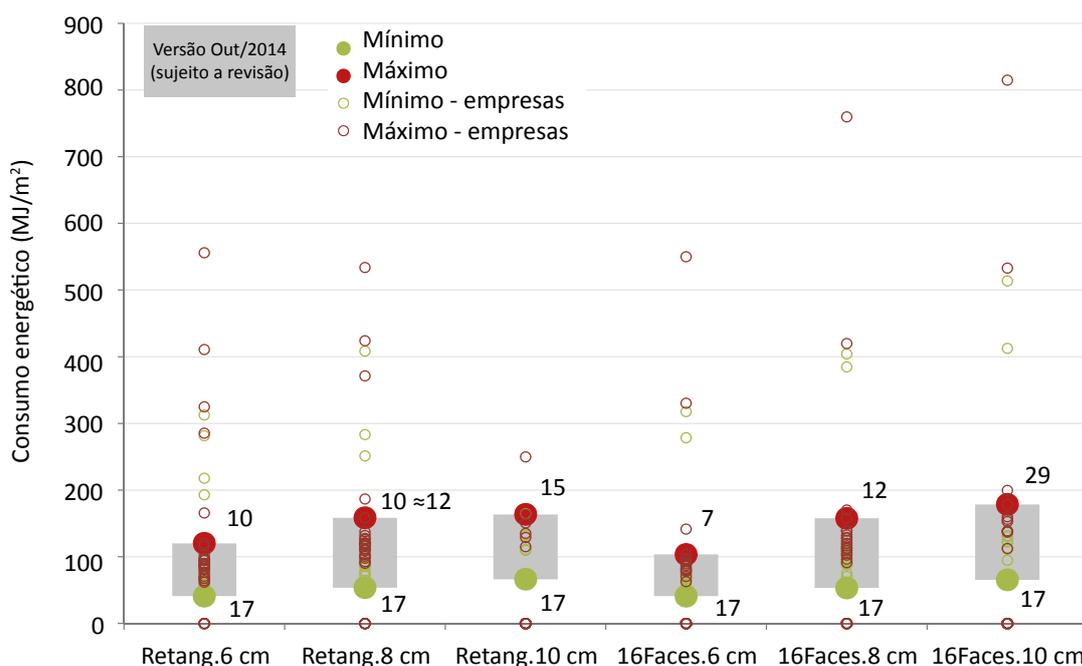


Figura 13 – Indicador de energia incorporada – Blocos para pavimento de 35 MPa. Alguns resultados não foram considerados por serem julgados produtos de erro de inventário.

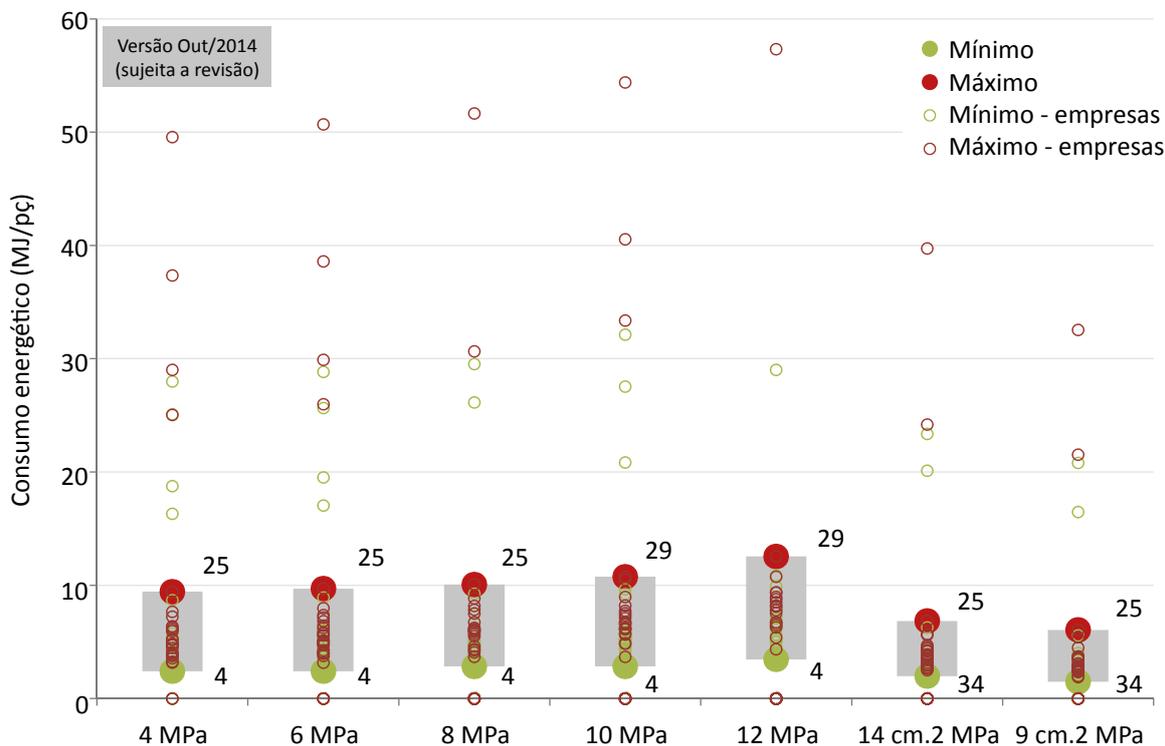


Figura 14 – Indicador de energia incorporada – Blocos estruturais e de vedação. Alguns resultados não foram considerados por serem julgados produtos de erro de inventário.

Os pontos que apresentam valores iguais a zero no gráfico representam as empresas que não produzem o produto em questão. Como os resultados foram calculados com base nas massas, total dos produtos analisados e total de produtos fabricados no período analisado, **não foi possível analisar os dados de energia das empresas 19 e 32**. A primeira não pôde informar a massa total de produtos fabricados no período e a segunda não informou dados de produção total da fábrica referente ao período de 12 meses.

Alguns resultados ilustrados nas figuras foram retirados da faixa de variação do indicador de energia in-

corporada por serem considerados produtos de erro de inventário. Os resultados das empresas 3, 18, 26 e 27 foram retirados da faixa, porque implicaria em blocos de concreto com maior energia incorporada do que a da produção de clínquer, se comparada a mesma quantidade de produtos em massa. Os resultados referentes aos blocos para pavimento da empresa 25 também não foram considerados, pois estes possuem grande influência do consumo de cimento informado, resultado que não foi considerado na composição da faixa desse indicador.

Os valores máximos e mínimos que limitam as faixas estimadas para os bcp pertencem a diferentes empresas.

Entre elas algumas tiveram a massa total de produção da fábrica estimada (15, 17 e 29). O resultado máximo da faixa do bcp retangular de 8 cm pertence a duas fábricas diferentes.

Em relação aos bce e bcv, os valores mínimos pertencem às empresas 4 e 34, onde a primeira teve sua massa total de produção estimada. totais de produtos da empresa também foram estimadas. Os valores máximos pertencem às empresas 25 e 29, cujas massas totais de produtos da empresa também foram estimadas.

As energias incorporadas, referentes tanto aos bcp quanto aos bce e aos bcv, apresentam como principal responsável o consumo de cimento informado pela empresa.

12.2 INDICADOR DE EMISSÃO DE CO₂

Assim como os indicadores de energia, o indicador de emissão de CO₂ é composto pela emissão total por peça, ou seja, a quantidade estimada procedente da queima de combustíveis para o transporte das matérias-primas, extração e processamento das mesmas e o CO₂ emitido devido ao funcionamento da fábrica. As figuras apresentam além dos valores que delimitam a faixa, os valores máximos (círculos vazados em vermelho) e mínimos (círculos vazados em verde) estimados para cada empresa. Na Figura 15 são apresentadas as emissões dos blocos para pavimento (35 MPa) e na Figura 16 as emissões dos blocos estruturais e de vedação.

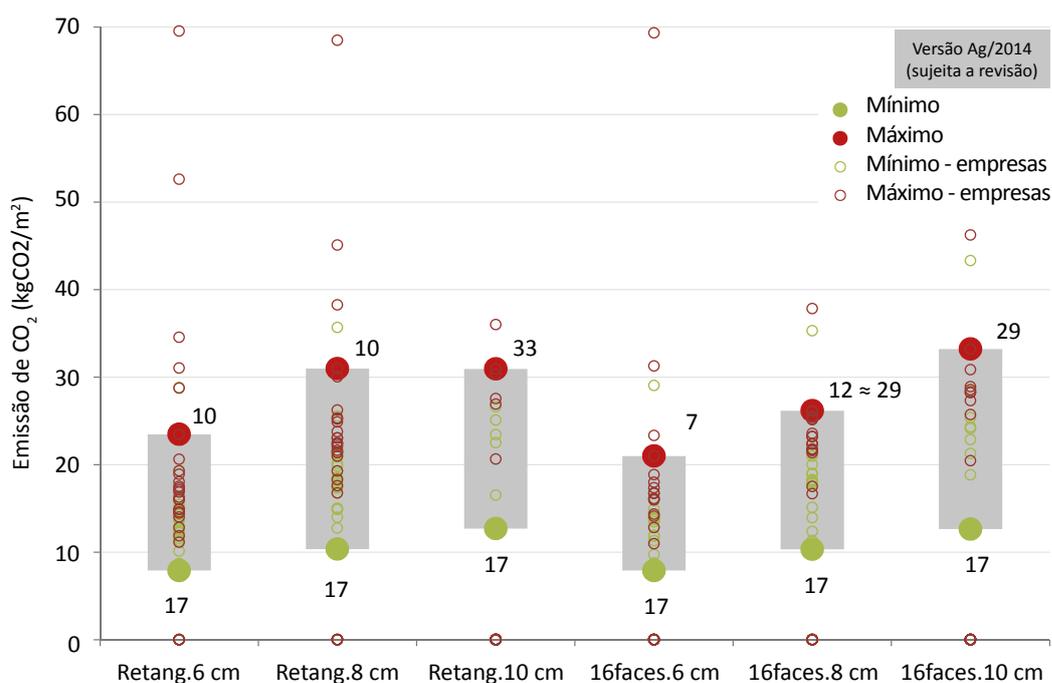


Figura 15 – Indicador de emissão de CO₂ – Blocos para pavimento (35 MPa). Alguns resultados não foram considerados por serem considerados produtos de erro de inventário.

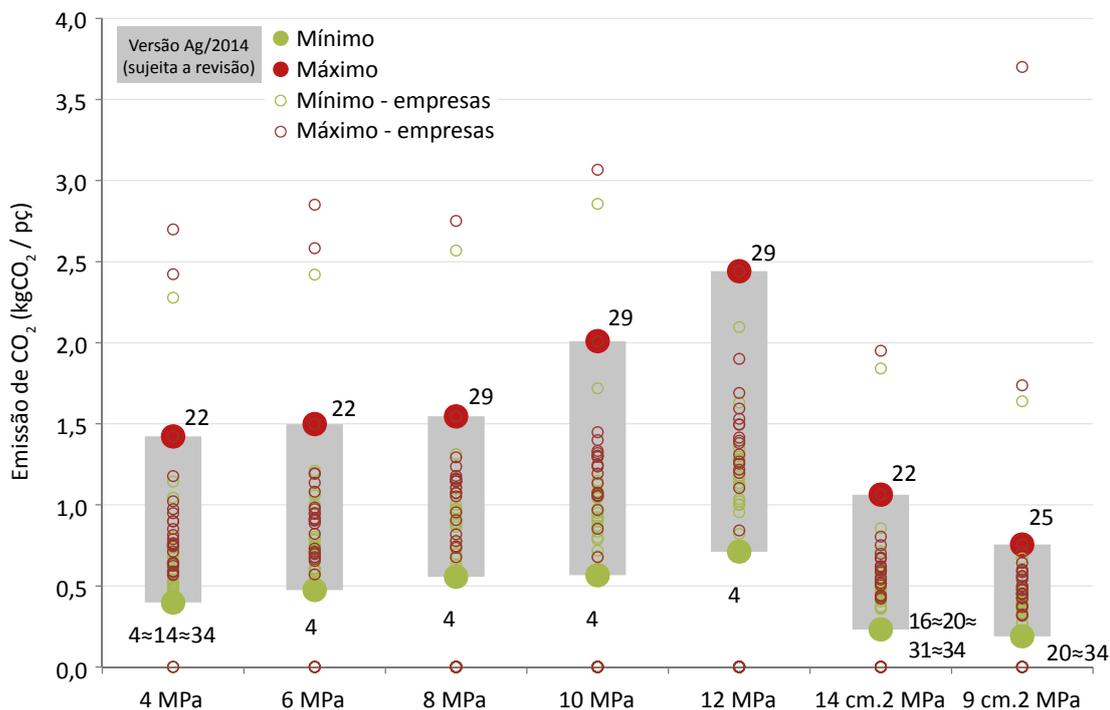


Figura 16 – Indicador de emissão de CO₂ – Blocos estruturais e de vedação. Alguns resultados não foram considerados por serem considerados produtos de erro de inventário.

Assim como mencionado no indicador de energia incorporada, **não foi possível realizar a análise dos dados de emissão de CO₂ das empresas 19 e 32**. A primeira não pôde informar a massa total de produtos fabricados no período e a segunda não informou dados de produção total da fábrica no período de estudo. Os pontos que apresentam valores iguais a zero no gráfico representam as empresas que não produzem o tipo de produto a que esse indicador está associado.

Alguns resultados ilustrados nas figuras não compõem a faixa do indicador de emissão de CO₂ por serem considerados produtos de erro de inventário. As empresas representadas por esses pontos são as 3, 18, 26 e 27. Os resultados referentes aos blocos para

pavimento da empresa 25 também não foram considerados, pois estes possuem grande influência do consumo de cimento informado, resultado que não foi considerado na composição da faixa desse indicador.

Como observado na Figura 23, os valores mínimos dos bcp pertencem a apenas uma empresa, enquanto os valores máximos pertencem a diferentes empresas. Alguns valores extremos das faixas correspondem aos resultados de mais de uma empresa.

O principal responsável pela emissão de CO₂ é o tipo de cimento usado pelas empresas, com exceção do bloco para pavimento de 16 faces de 6 cm, cujo fator principal foi o consumo de cimento. As empresas 17 e 29 tiveram

a massa total de produção da fábrica estimada, pois informaram esse dado em unidades de peças ou em m².

Em relação aos bce e bcv o principal fator para os resultados máximos é o uso de CP V, no entanto a emissão mínima não está relacionada ao uso de apenas um tipo de cimento. Com exceção da empresa 25, as demais tiveram a massa total de produção da fábrica estimada.

12.3 INDICADOR DE ÁGUA

Para o estudo do consumo de água no processo produtivo de blocos de concreto foram solicitados dois tipos de informação: o consumo de água de composição do concreto por peça (apenas dos produtos analisados) e o consumo total de água da fábrica por fonte de origem.

12.3.1 CONSUMO DE ÁGUA DE COMPOSIÇÃO DO CONCRETO POR PEÇA

O consumo de água de composição do concreto por peça foi solicitado em litros, no entanto, algumas empresas

forneceram essa informação em porcentagem da massa (empresas 10 e 29) ou em litros por m² (empresas 26 e 27). Nesse último caso, bastou levantar a quantidade de peças por m² para se obter a quantidade de água por peça.

No caso dos dados em porcentagem, estimou-se a quantidade de água por peça (litro), por meio da massa informada. Para isso, considerou-se que a massa informada (kg) possui uma umidade de equilíbrio com o ar de 5%, ou seja, calculou-se o volume de água com base na massa seca da peça. Esse cálculo é representado pela equação a seguir (massa específica da água igual a 1,0 kg/l):

$$\text{água}_{\text{peça}} = (\text{massa}_{\text{peça}} \times 0,95) \times \% \text{água}_{\text{informada}}$$

Na Tabela 15 e na Tabela 16 são apresentados os consumos de água fornecidos pelas empresas, após as devidas conversões. Também são apresentados os valores máximos, mínimos e médios para cada tipo de produto.

Tabela 15 – Quantidade de água de composição do concreto informada para os blocos para pavimento (35 MPa).

| Empresa | Quantidade de água de composição do concreto por peça (litro/peça) | | | | | |
|---------|--|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | Pç.ret.6 cm | Pç.ret.8 cm | Pç.ret.10 cm | Pç.16f.6 cm | Pç.16f.8 cm | Pç.16f.10 cm |
| 1 | 0,17 | 0,23 | - | 0,19 | 0,25 | - |
| 2 | 0,15 | 0,20 | - | 0,15 | 0,20 | - |
| 3 | 0,16 | 0,22 | - | 0,21 | 0,27 | 0,36 |
| 4 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 0,15 | 0,20 | - | - | 0,25 | - |
| 6 | 0,15 | 0,19 | - | - | - | - |
| 7 | 0,03 | 0,06 | - | 0,04 | 0,07 | - |

Continua >

Tabela 15 – Quantidade de água de composição do concreto informada para os blocos para pavimento (35 MPa).

| Empresa | Quantidade de água de composição do concreto por peça (litro/pç) | | | | | |
|---------------|--|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | Pç.ret.6 cm | Pç.ret.8 cm | Pç.ret.10 cm | Pç.16f.6 cm | Pç.16f.8 cm | Pç.16f.10 cm |
| 8 | 0,10 | 0,14 | - | 0,13 | 0,18 | 0,22 |
| 10 | 0,12 | 0,16 | - | - | - | - |
| 11 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 0,15 | 0,21 | - | - | 0,27 | - |
| 13 | 0,14 | 0,18 | - | - | - | - |
| 14 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 0,16 | 0,20 | 0,27 | 0,18 | 0,26 | 0,30 |
| 16 | 0,16 | 0,21 | - | 0,20 | 0,27 | - |
| 17 | 0,15 | 0,19 | 0,24 | 0,19 | 0,24 | 0,30 |
| 18 | 0,35 | - | - | 0,35 | 0,52 | 0,87 |
| 19 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | - | - | - | - | - | - |
| 21 | - | - | - | - | - | - |
| 22 | 0,01 | 0,02 | - | 0,02 | 0,03 | 0,06 |
| 23 | 0,28 | 0,40 | 0,49 | - | 0,53 | - |
| 24 | 0,22 | 0,27 | - | 0,36 | 0,41 | - |
| 25 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| 26 | 0,09 | 0,12 | - | - | - | - |
| 27 | 0,09 | 0,12 | - | - | - | - |
| 28 | 0,14 | 0,18 | 0,23 | 0,17 | 0,24 | 0,29 |
| 29 | 0,43 | 0,51 | - | 0,53 | 0,70 | 0,91 |
| 30 | 0,20 | 0,30 | - | 0,28 | 0,39 | - |
| 31 | 0,14 | 0,18 | - | 0,15 | - | 0,33 |
| 32 | 0,09 | 0,10 | - | 0,07 | 0,08 | 0,10 |
| 33 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | - | 0,04 | 0,05 |
| 34 | - | - | - | - | - | - |
| Máximo | 0,43 | 0,51 | 0,49 | 0,53 | 0,70 | 0,91 |
| Média | 0,16 | 0,20 | 0,28 | 0,21 | 0,28 | 0,35 |
| Mínimo | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |

Tabela 16 – Quantidade de água de composição do concreto informada para os blocos estruturais e de vedação.

| Empresa | Quantidade de água de composição do concreto por peça (litro/pç) | | | | | | |
|---------------|--|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| | Bl.est.4 MPa | Bl.est.6 MPa | Bl.est.8 MPa | Bl.est.10 MPa | Bl.est.12 MPa | Bl.ved.14 cm | Bl.ved.9 cm |
| 1 | 0,82 | 0,82 | 0,88 | 0,88 | 0,89 | 0,67 | 0,54 |
| 2 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,40 | 0,35 |
| 3 | 0,78 | 0,79 | 0,79 | 0,85 | - | 0,66 | 0,59 |
| 4 | 1,10 | 1,10 | 1,20 | 1,20 | 1,30 | 1,00 | 0,90 |
| 5 | 0,70 | 0,70 | - | 0,71 | 0,84 | 0,67 | 0,48 |
| 6 | 0,20 | 0,21 | - | - | - | 0,19 | - |
| 7 | 0,14 | 0,18 | - | 0,29 | - | - | 0,09 |
| 8 | 0,63 | 0,63 | 0,64 | - | 0,68 | - | 0,40 |
| 10 | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,74 | 0,74 | 0,48 | 0,39 |
| 11 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,38 | 0,33 | 0,31 |
| 12 | 0,77 | 0,74 | 0,77 | 0,77 | 0,78 | 0,48 | 0,58 |
| 13 | 0,33 | - | - | - | - | 0,30 | 0,22 |
| 14 | 0,29 | 0,30 | 0,35 | 0,41 | 0,65 | 0,24 | 0,21 |
| 15 | 0,77 | 0,72 | 0,82 | 0,83 | 0,85 | 0,63 | 0,46 |
| 16 | 0,81 | 0,82 | 0,83 | - | - | 0,66 | 0,56 |
| 17 | - | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 1,35 | 1,35 | 1,42 | 1,46 | 1,79 | 1,36 | 1,36 |
| 19 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,32 |
| 20 | 0,20 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,20 | 0,20 |
| 21 | 0,28 | - | - | - | - | 0,20 | 0,18 |
| 22 | 0,10 | 0,11 | - | - | - | 0,07 | 0,04 |
| 23 | 1,24 | 1,25 | 1,26 | 1,30 | 1,31 | 0,94 | 0,85 |
| 24 | 0,63 | 0,72 | 0,81 | 0,92 | - | 0,59 | 0,54 |
| 25 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| 26 | 0,50 | 0,50 | - | - | - | - | - |
| 27 | 0,50 | 0,50 | - | 0,50 | - | - | - |
| 28 | - | - | - | - | - | - | - |
| 29 | 2,00 | 2,08 | 2,11 | 2,14 | 2,18 | - | - |
| 30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,20 | 0,80 | 0,80 |
| 31 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | - | 0,67 | 0,67 |
| 32 | 0,32 | 0,34 | 0,34 | 0,35 | 0,35 | 0,33 | 0,33 |
| 33 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,03 | 0,02 |
| 34 | 0,44 | 0,43 | 0,44 | 0,42 | 0,42 | 0,47 | 0,44 |
| Máximo | 2,00 | 2,08 | 2,11 | 2,14 | 2,18 | 1,36 | 1,36 |
| Média | 0,63 | 0,66 | 0,76 | 0,75 | 0,83 | 0,52 | 0,47 |
| Mínimo | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,03 | 0,02 |

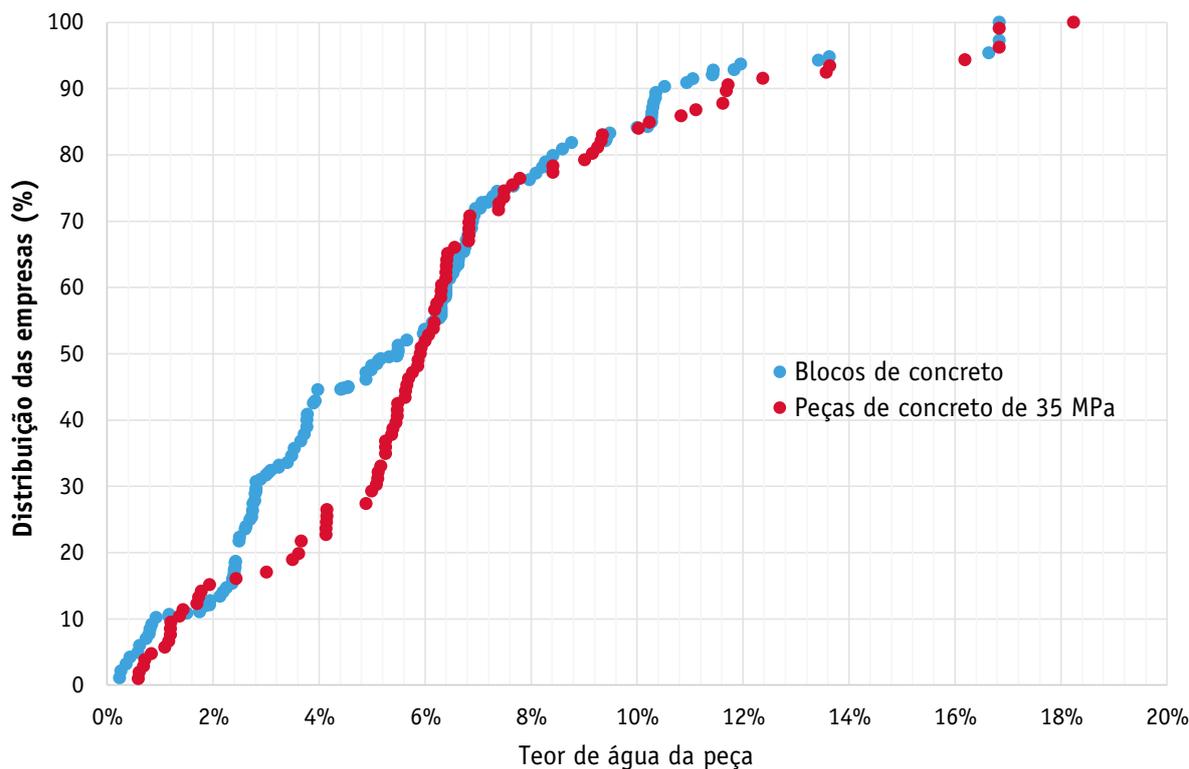


Figura 17 – Gráfico de distribuição do teor de água de composição do concreto que foi informada pelas empresas.

Com os dados de água por peça (litro/pç) e da massa informada por produto (kg), calculou-se a proporção de água com base na massa seca, também considerando a umidade de equilíbrio com o ar igual a 5%. A equação utilizada para esse cálculo é dada a seguir:

$$\% \text{água}_{\text{produto}} = \frac{\text{água}_{\text{peça}}}{(0,95 \times \text{massa}_{\text{peça}})}$$

O objetivo desse levantamento foi tornar possível a comparação dos dados informados com o teor de água considerado adequado pela ABCP, que é de 6% da massa seca. Com esses dados, construiu-se o gráfico de distribuição apresentado na Figura 17.

Observa-se na Figura 17 que existe uma grande dispersão nos resultados. Segundo a ABCP¹⁷, os teores típicos de água, para a produção dos concretos secos utilizados nos componentes, está em torno de 6%. A configuração está diretamente relacionada ao teor de água, pois os blocos apresentam paredes com pequena espessura, enquanto as outras peças são maciças. Se a massa de concreto possuir mais ou menos água que o ideal para a vibroprensa utilizada, a compactação não será eficiente.

Como os agregados contêm água de origem diversa (de extração ou de chuva), o volume adicionado por oca-

sião da mistura é tipicamente inferior à água necessária para sua composição. Neste caso, espera-se valores abaixo de 6% quando uma empresa informa apenas a água adicionada. Como a umidade dos agregados poderia chegar a uns 5% (em uma média anual), e os agregados são tipicamente 90% da massa, é possível que a água presente nos agregados represente 4% da mistura, situação em que a empresa precisaria adicionar apenas 2%. No entanto, observa-se que 10% dos valores informados estão abaixo de 2%.

Por outro lado, valores de demanda de água acima de 6% podem ocorrer devido à morfologia de agregados, configuração da prensa, etc. Também é possível – embora incomum - o uso de agregados secos. Mesmo neste cenário, não é possível justificar valores muito superiores a 6% como água de composição do concreto. A distribuição mostra, no entanto, que mais de 50% das empresas informaram valores acima de

6%, sendo que 20% informaram valores acima de 10%. Estes valores são os típicos de concretos plásticos ou mesmo argamassas fluidas. Uma justificativa plausível para esses valores elevados é o uso de agregados muito porosos (como os reciclados) em grande quantidade. **Existe, portanto, uma grande inconsistência nestes valores**, que precisam ser revisados.

O formulário precisa ser revisado deixando claras as informações solicitadas: (a) água adicionada (b) água de agregados; (c) teor de umidade do concreto.

12.3.2 CONSUMO DE ÁGUA TOTAL DA FÁBRICA

É possível identificar o consumo de água distribuindo-se, por massa, o consumo da fábrica. O consumo de água total da fábrica foi solicitado em m³ e por tipo de fonte. A Tabela 17 apresenta as origens das águas utilizadas por cada fábrica.

Tabela 17 – Consumo de água total da fábrica por fonte de origem.

| Fonte | Superficial | Subterrânea | Chuva | Concessionária |
|-------|-------------|-------------|-------|----------------|
| 1 | - | 100% | - | - |
| 2 | 53% | - | - | 47% |
| 3 | - | - | - | 100% |
| 4 | - | 100% | - | - |
| 5 | 88% | - | - | 12% |
| 6 | - | 100% | - | - |
| 7 | - | 79% | - | 21% |
| 8 | - | - | - | 100% |

Continua >

Tabela 17 – Consumo de água total da fábrica por fonte de origem. – continuação

| Fonte | Superficial | Subterrânea | Chuva | Concessionária |
|-------|-------------|-------------|-------|----------------|
| 10 | - | 100% | - | - |
| 11 | - | 77% | - | 23% |
| 12 | - | 100% | - | - |
| 13 | - | 100% | - | - |
| 14 | - | 94% | - | 6% |
| 15 | - | 82% | - | 18% |
| 16 | - | 100% | - | - |
| 17 | - | 0% | 97% | 3% |
| 18 | - | 100% | - | - |
| 19 | - | - | - | 100% |
| 20 | - | 100% | - | - |
| 21 | 100% | - | - | - |
| 22 | - | 100% | - | - |
| 23 | - | - | - | 100% |
| 24 | - | 51% | - | 49% |
| 25 | - | 100% | - | - |
| 26 | - | 33% | 23% | 43% |
| 27 | - | - | - | 100% |
| 28 | - | 93% | - | 7% |
| 29 | - | - | - | - |
| 30 | - | 100% | - | - |
| 31 | - | 97% | - | 3% |
| 32 | - | 100% | - | - |
| 33 | - | - | 6% | 94% |
| 34 | - | 100% | - | - |

Observa-se que a maioria das empresas utiliza água subterrânea e/ou água da concessionária. Apenas três empresas usam água superficial e duas empresas usam água de chuva associada, e esta, associada à outra fonte. **A empresa 29 não informou o consumo total da fábrica no período do estudo. Já a empresa 32 informou dados referentes a apenas dois meses, dados insuficien-**

tes para a análise, já que o período de coleta dos dados é de 12 meses.

A empresa 28, além das origens de água apresentadas na Tabela 17, informou a quantidade de água proveniente da unidade dos agregados. Existe uma grande incerteza quanto à origem das águas dos agregados: chuva, água de lavagem, água captada durante a extração, etc. Como apenas essa empresa

informou o volume dessa fonte e sabendo-se que as demais também fazem uso dessa água incorporada, resolveu-se não considerar esse dado no desenvolvimento do indicador de água.

A alocação da água total da fábrica em cada produto foi realizada em massa, ou seja, calculou-se a razão da massa total de cada produto (M_{TP}) na massa total produzida pela fábrica (M_{TPF}) e através desse valor, fez-se a divisão da água total em cada peça. Com os consumos de água informados para toda a fábrica ($\text{água}_{\text{total.fábrica}}$), somando-se a todas as fontes ($\text{fonte}_{\text{água}}$), multiplicou-se esse valor pela proporção de cada produto para se obter o consumo total de água por produto ($\text{água}_{\text{total.prod}}$). As equações utilizadas são apresentadas a seguir:

$$\% \text{produtos}_{\text{projeto}} = \frac{M_{TP}}{M_{TPF}}$$

$$\text{água}_{\text{total.fábrica}} = \sum \text{fonte}_{\text{água}}$$

$$\text{água}_{\text{total.prod}} = \% \text{produto}_{\text{projeto}} \times \text{água}_{\text{total.fábrica}}$$

Dividindo-se esse consumo pela quantidade de peças produzidas para cada produto no período em análise, obtém-se o consumo de água da fábrica por peça, como mostra a equação a seguir. Esses valores compõem o indicador de água, sendo informados em litro/peça.

$$\text{água}_{\text{fábrica.pç}} = \frac{\text{água}_{\text{total.prod}}}{\text{QTD}_{TP}}$$

A empresa 19 não informou a massa total de produtos fabricadas no período analisado, nem outro dado que permitisse a estimativa desse valor. Portanto, não foi possível fazer a distribuição da água da fábrica nos produtos selecionados para o estudo.

As tabelas a seguir apresentam valores médios de consumo de água por fonte, conforme o tipo de produto – bcp (Tabela 18), bce (Tabela 19) e bcv (Tabela 20 e Tabela 21).

As empresas que têm sua identificação marcada em vermelho não informaram a massa total de produtos da fábrica, sendo que este valor foi estimado com base nos dados levantados pelo formulário.

Na Tabela 18, os consumos são apresentados em m^2 , unidade funcional adotada para os blocos para pavimento. Para seu cálculo bastou-se multiplicar a quantidade de água para uma peça pela quantidade de peças por m^2 ($\text{qtd}_{\text{pçs}/\text{m}^2}$), como representado pela equação abaixo. Esse último dado foi fornecido pelas empresas em sua *homepage* ou por meio de contato por telefone ou *e-mail*.

$$\text{água}_{\text{fábrica}/\text{m}} = \text{água}_{\text{fábrica.pç}} \times \text{qtd}_{\text{pçs}} / \text{m}^2$$

Tabela 18 – Consumo de água da fábrica para os blocos para pavimento (35 MPa).

| Empresa | Pisos - Indicador Médio de Água (litro/m ²) | | | | Total |
|---------|---|-------------|-------------|-------|--------|
| | Concessionária | Subterrânea | Superficial | Chuva | |
| 1 | - | 10,57 | - | - | 10,57 |
| 2 | 6,34 | - | 7,23 | - | 13,57 |
| 3 | 10,46 | - | - | - | 10,46 |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | 1,71 | - | 12,11 | - | 13,82 |
| 6 | - | 8,33 | - | - | 8,33 |
| 7 | 0,72 | 2,66 | - | - | 3,38 |
| 8 | 7,94 | - | - | - | 7,94 |
| 10 | - | 5,87 | - | - | 5,87 |
| 11 | - | - | - | - | - |
| 12 | - | 16,01 | - | - | 16,01 |
| 13 | - | 6,58 | - | - | 6,58 |
| 14 | - | - | - | - | - |
| 15 | 1,13 | 5,23 | - | - | 6,37 |
| 16 | - | 16,57 | - | - | 16,57 |
| 17 | 0,76 | - | - | 24,88 | 25,64 |
| 18 | - | 14,26 | - | - | 14,26 |
| 19 | - | - | - | - | - |
| 20 | - | - | - | - | - |
| 21 | - | - | - | - | - |
| 22 | - | 0,44 | - | - | 0,44 |
| 23 | 5,82 | - | - | - | 5,82 |
| 24 | 4,95 | 5,10 | - | - | 10,05 |
| 25 | - | 112,60 | - | - | 112,60 |
| 26 | 9,19 | 7,07 | - | 4,95 | 21,22 |
| 27 | 17,34 | - | - | - | 17,34 |
| 28 | 0,36 | 4,82 | - | - | 5,18 |
| 29 | - | - | - | - | - |
| 30 | - | 11,12 | - | - | 11,12 |
| 31 | 2,92 | 97,24 | - | - | 100,16 |
| 32 | - | - | - | - | - |
| 33 | 3,25 | - | - | 0,22 | 3,48 |
| 34 | - | - | - | - | - |

Tabela 19 – Consumo de água da fábrica para os blocos estruturais.

| Empresa | Blocos estruturais - Indicador Médio de Água (litro/pç) | | | | Total |
|---------|---|-------------|-------------|-------|-------|
| | Concessionária | Subterrânea | Superficial | Chuva | |
| 1 | - | 0,95 | - | - | 0,95 |
| 2 | 0,54 | - | 0,62 | - | 1,17 |
| 3 | 0,81 | - | - | - | 0,81 |
| 4 | - | 1,38 | - | - | 1,38 |
| 5 | 0,14 | - | 0,97 | - | 1,11 |
| 6 | - | 0,66 | - | - | 0,66 |
| 7 | 0,06 | 0,23 | - | - | 0,29 |
| 8 | 0,62 | - | - | - | 0,62 |
| 10 | - | 0,52 | - | - | 0,52 |
| 11 | 0,16 | 0,55 | - | - | 0,71 |
| 12 | - | 1,29 | - | - | 1,29 |
| 13 | - | 0,55 | - | - | 0,55 |
| 14 | 0,03 | 0,52 | - | - | 0,56 |
| 15 | 0,08 | 0,39 | - | - | 0,47 |
| 16 | - | 1,46 | - | - | 1,46 |
| 17 | - | - | - | - | - |
| 18 | - | 1,17 | - | - | 1,17 |
| 19 | - | - | - | - | - |
| 20 | - | 0,33 | - | - | 0,33 |
| 21 | - | - | 0,91 | - | 0,91 |
| 22 | - | 0,03 | - | - | 0,03 |
| 23 | 0,42 | - | - | - | 0,42 |
| 24 | 0,39 | 0,40 | - | - | 0,78 |
| 25 | - | 8,08 | - | - | 8,08 |
| 26 | 0,79 | 0,61 | - | 0,43 | 1,83 |
| 27 | 1,51 | - | - | - | 1,51 |
| 28 | - | - | - | - | - |
| 29 | - | - | - | - | - |
| 30 | - | 0,95 | - | - | 0,95 |
| 31 | 0,22 | 7,23 | - | - | 7,45 |
| 32 | - | - | - | - | - |
| 33 | 0,22 | - | - | 0,01 | 0,23 |
| 34 | - | 1,25 | - | - | 1,25 |

Tabela 20 – Consumo de água da fábrica para os blocos de vedação de 14 cm.

| Empresa | Blocos de vedação 14 cm - Indicador de Água (litro/pç) | | | | Total |
|---------|--|-------------|-------------|-------|-------|
| | Concessionária | Subterrânea | Superficial | Chuva | |
| 1 | - | 0,75 | - | - | 0,75 |
| 2 | 0,40 | - | 0,46 | - | 0,86 |
| 3 | 0,66 | - | - | - | 0,66 |
| 4 | - | 0,98 | - | - | 0,98 |
| 5 | 0,13 | - | 0,91 | - | 1,04 |
| 6 | - | 0,66 | - | - | 0,66 |
| 7 | - | - | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - | - |
| 10 | - | 0,40 | - | - | 0,40 |
| 11 | 0,13 | 0,42 | - | - | 0,54 |
| 12 | - | 0,81 | - | - | 0,81 |
| 13 | - | 0,47 | - | - | 0,47 |
| 14 | 0,03 | 0,42 | - | - | 0,44 |
| 15 | 0,07 | 0,31 | - | - | 0,38 |
| 16 | - | 1,17 | - | - | 1,17 |
| 17 | - | - | - | - | - |
| 18 | - | 0,93 | - | - | 0,93 |
| 19 | - | - | - | - | - |
| 20 | - | 0,25 | - | - | 0,25 |
| 21 | - | - | 0,79 | - | 0,79 |
| 22 | - | 0,03 | - | - | 0,03 |
| 23 | 0,31 | - | - | - | 0,31 |
| 24 | 0,31 | 0,32 | - | - | 0,64 |
| 25 | - | 5,72 | - | - | 5,72 |
| 26 | - | - | - | - | - |
| 27 | - | - | - | - | - |
| 28 | - | - | - | - | - |
| 29 | - | - | - | - | - |
| 30 | - | 0,70 | - | - | 0,70 |
| 31 | 0,21 | 6,94 | - | - | 7,15 |
| 32 | - | - | - | - | - |
| 33 | 0,19 | - | - | 0,01 | 0,21 |
| 34 | - | 1,03 | - | - | 1,03 |

Tabela 21 – Consumo de água da fábrica para os blocos de vedação de 9 cm.

| Empresa | Blocos de vedação 9 cm - Indicador de Água (litro/pç) | | | | Total |
|---------|---|-------------|-------------|-------|-------|
| | Concessionária | Subterrânea | Superficial | Chuva | |
| 1 | - | 0,60 | - | - | 0,60 |
| 2 | 0,34 | - | 0,39 | - | 0,73 |
| 3 | 0,59 | - | - | - | 0,59 |
| 4 | - | 0,85 | - | - | 0,85 |
| 5 | 0,09 | - | 0,66 | - | 0,76 |
| 6 | - | - | - | - | - |
| 7 | 0,04 | 0,15 | - | - | 0,19 |
| 8 | 0,38 | - | - | - | 0,38 |
| 10 | - | 0,34 | - | - | 0,34 |
| 11 | 0,10 | 0,34 | - | - | 0,44 |
| 12 | - | 0,97 | - | - | 0,97 |
| 13 | - | 0,35 | - | - | 0,35 |
| 14 | 0,02 | 0,37 | - | - | 0,39 |
| 15 | 0,05 | 0,23 | - | - | 0,28 |
| 16 | - | 0,99 | - | - | 0,99 |
| 17 | - | - | - | - | - |
| 18 | - | 0,76 | - | - | 0,76 |
| 19 | - | - | - | - | - |
| 20 | - | 0,19 | - | - | 0,19 |
| 21 | - | - | 0,59 | - | 0,59 |
| 22 | - | 0,02 | - | - | 0,02 |
| 23 | 0,28 | - | - | - | 0,28 |
| 24 | 0,28 | 0,29 | - | - | 0,56 |
| 25 | - | 4,78 | - | - | 4,78 |
| 26 | - | - | - | - | - |
| 27 | - | - | - | - | - |
| 28 | - | - | - | - | - |
| 29 | - | - | - | - | - |
| 30 | - | 0,59 | - | - | 0,59 |
| 31 | 0,14 | 4,82 | - | - | 4,97 |
| 32 | - | - | - | - | - |
| 33 | 0,16 | - | - | 0,01 | 0,17 |
| 34 | - | 0,77 | - | - | 0,77 |

Comparando a massa total seca de produtos analisados com o consumo total de água da fábrica distribuído, encontram-se as proporções de água direcionadas para cada peça. Esses valores são apresentados na Tabela 22, juntamente com o valor médio levantado com base nos consumos de água por peça, informados pelas empresas.

Analisando o total de água informado para a fábrica, observa-se que algumas empresas (valores em vermelho) apresentam essa relação inferior a 6%, valor considerado como adequado pela ABCP para a composição do concreto. Isso pode ser considerado inconsistente, uma vez que para esse levantamento foi considerada

toda a água da fábrica, não apenas a água de composição do concreto. Já as empresas 25 e 31 apresentaram valores muito elevados, de aproximadamente 65%.

Comparando os consumos totais da fábrica com os consumos por peça para a composição do concreto, observa-se que alguns valores apresentam inconsistência. O consumo por peça para o concreto deve ser inferior ao consumo total da fábrica alocado por peça, pois este último considera toda a água utilizada para a produção, além da água de composição adicionada. As empresas que apresentaram esses valores inferiores ou muito acima disso precisam ser revistos.

Tabela 22 – Quantidade de água total da fábrica alocada à massa seca dos produtos analisados, comparada com a média da água de composição do concreto informada pelas empresas.

| Empresa* | Concessionária | Subterrânea | Superficial | Chuva | Total da fábrica | Composição Média | Observação água da fábrica |
|----------|----------------|-------------|-------------|-------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1 | - | 7,9% | - | - | 7,9% | 7,2% | OK |
| 2 | 4,4% | - | 5,1% | - | 9,5% | 4,9% | OK |
| 3 | 6,8% | - | - | - | 6,8% | 6,8% | REVISÃO |
| 4 | - | 11,2% | - | - | 11,2% | 10,2% | OK |
| 5 | 1,1% | - | 7,5% | - | 8,6% | 5,6% | OK |
| 6 | - | 6,1% | - | - | 6,1% | 3,3% | OK |
| 7 | 0,5% | 1,9% | - | - | 2,4% | 1,6% | REVISÃO |
| 8 | 5,0% | - | - | - | 5,0% | 4,7% | REVISÃO |
| 10 | - | 4,3% | - | - | 4,3% | 5,4% | REVISÃO |

Continua >

Tabela 22 – Quantidade de água total da fábrica alocada à massa seca dos produtos analisados, comparada com a média da água de composição do concreto informada pelas empresas – continuação.

| Empresa* | Concessionária | Subterrânea | Superficial | Chuva | Total da fábrica | Composição Média | Observação água da fábrica |
|----------|----------------|-------------|-------------|-------|------------------|------------------|----------------------------|
| 11 | 1,3% | 4,3% | - | - | 5,6% | 3,2% | REVISÃO |
| 12 | - | 10,6% | - | - | 10,6% | 6,3% | OK |
| 13 | - | 4,4% | - | - | 4,4% | 3,8% | REVISÃO |
| 14 | 0,3% | 4,2% | - | - | 4,5% | 3,0% | REVISÃO |
| 15 | 0,7% | 3,3% | - | - | 4,0% | 6,5% | REVISÃO |
| 16 | - | 11,4% | - | - | 11,4% | 6,4% | OK |
| 17 | 50,0% | - | - | 15,2% | 65,2% | 5,9% | REVISÃO |
| 18 | - | 9,3% | - | - | 9,3% | 13,0% | REVISÃO |
| 19 | - | - | - | - | - | 2,5% | REVISÃO |
| 20 | - | 2,8% | - | - | 2,8% | 2,3% | REVISÃO |
| 21 | - | - | 7,7% | - | 7,7% | 2,2% | OK |
| 22 | - | 0,3% | - | - | 0,3% | 0,8% | REVISÃO |
| 23 | 3,4% | - | - | - | 3,4% | 10,8% | REVISÃO |
| 24 | 3,5% | 3,6% | - | - | 7,1% | 8,0% | REVISÃO |
| 25 | - | 65,4% | - | - | 65,4% | 9,6% | REVISÃO |
| 26 | 6,2% | 4,8% | - | 3,4% | 14,4% | 3,8% | OK |
| 27 | 11,8% | - | - | - | 11,8% | 3,8% | OK |
| 28 | 0,2% | 2,8% | - | - | 3,0% | 5,3% | REVISÃO |
| 29 | - | - | - | - | - | 16,8% | REVISÃO |
| 30 | - | 7,7% | - | - | 7,7% | 8,8% | REVISÃO |
| 31 | 1,9% | 61,9% | - | - | 63,8% | 6,4% | REVISÃO |
| 32 | - | - | - | - | - | 2,9% | OK |
| 33 | 1,8% | - | - | 0,1% | 1,9% | 0,8% | REVISÃO |
| 34 | - | 10,6% | - | - | 10,6% | 4,2% | OK |

*Número das empresas em vermelho tiveram sua massa total de produção estimada - valor utilizado para alocação da água total da fábrica.

A Figura 18 apresenta a distribuição das empresas em relação ao consumo de água total da fábrica, estimado pela massa dos produtos. Observa-se grande dispersão dos resultados.

A Figura 19 e a Figura 20 apresentam a faixa dos indicadores dos consumos de água total estimados para as peças de concreto de 35 MPa e para os blocos para alvenaria, respectivamente. As empresas 19 e 32 não tiveram esse resultado calculado por não apresentarem a massa total de produtos fabricados pela fábrica, dado importante visto que a alocação da água total foi realizada em massa. As empresas 25 e 31 apresentaram va-

lores de consumo total de água muito elevado, quando comparado com as demais empresas e que claramente não poderiam ser justificados em condições operacionais destas. Esses dados foram retirados da composição da faixa por serem considerados produtos de erro de inventário. No entanto, valores muito baixos também podem ser avaliados como resultados de falha de inventário. Preferiu-se não descartar esses valores baixos, por não existir um parâmetro para esse corte, uma vez que a umidade dos agregados pode ser elevada e parte da água captada de chuva pode não ter sido contabilizada.

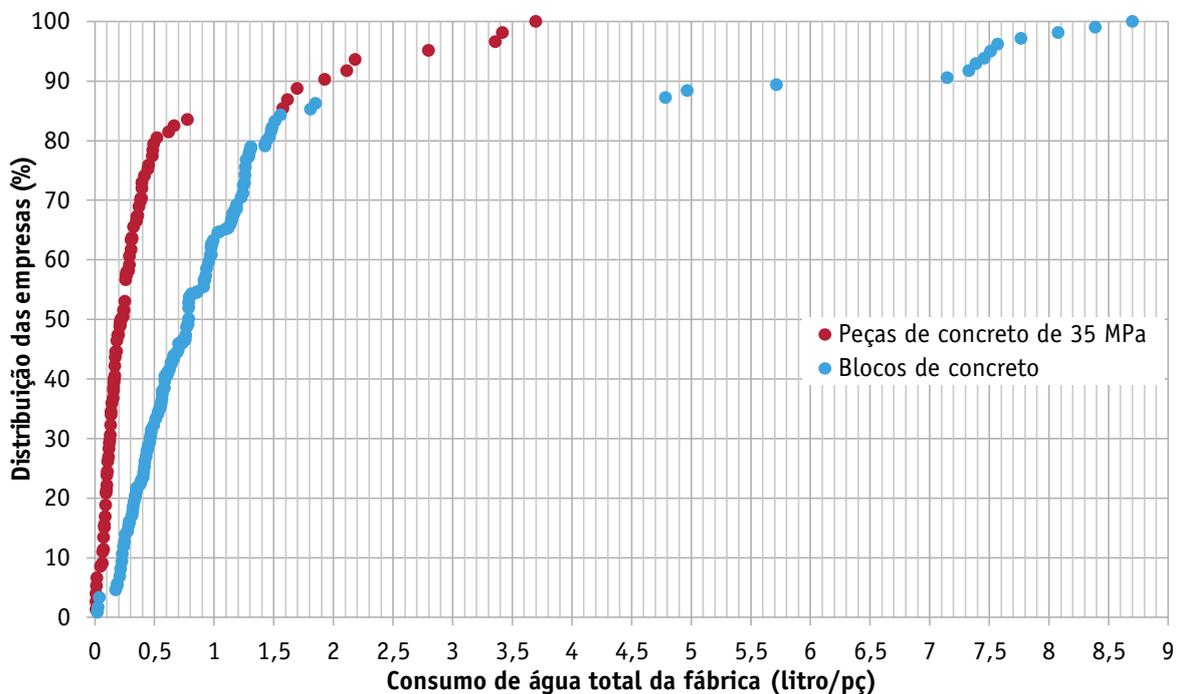


Figura 18 – Gráfico de distribuição do consumo total de água pelas fábricas, alocado nos blocos pela massa da peça.

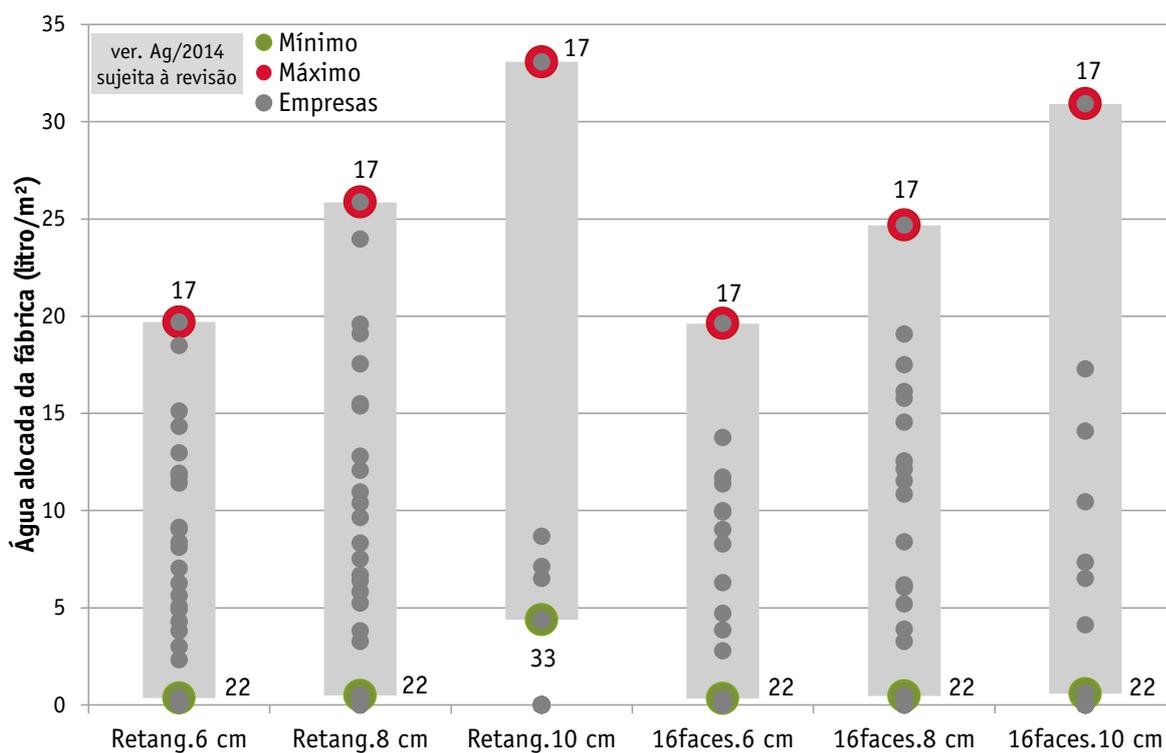


Figura 19 – Indicadores de consumo total de água da fábrica – Blocos para pavimento de 35 MPa.

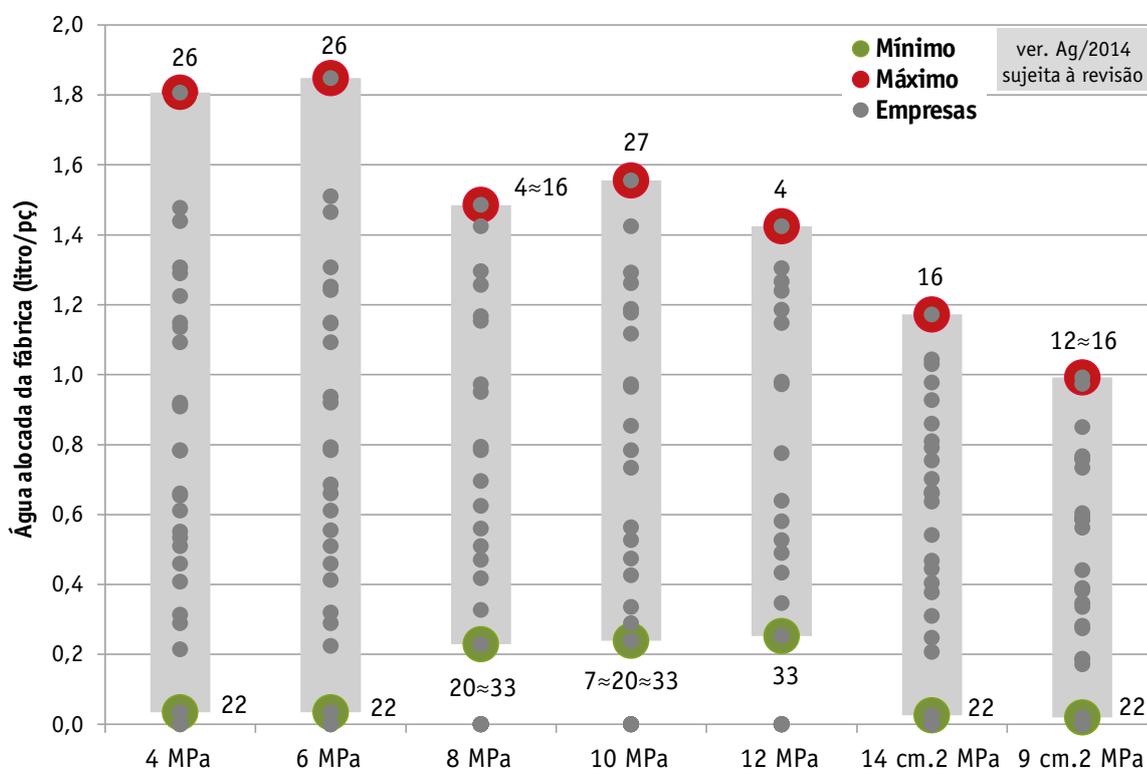


Figura 20 – Indicadores de consumo total de água da fábrica – Blocos estruturais e de vedação.

A Figura 21 e a Figura 22 apresentam as fontes de água utilizadas pelas fábricas analisadas pelo projeto. Observa-se que considerável parcela das fábricas analisadas não tem na água da concessionária sua fonte principal para

o funcionamento. 62,7% das empresas utilizam água subterrânea em alguma etapa de seu processo. A empresa 29 não possui dados por não informar a quantidade de água consumida no período.

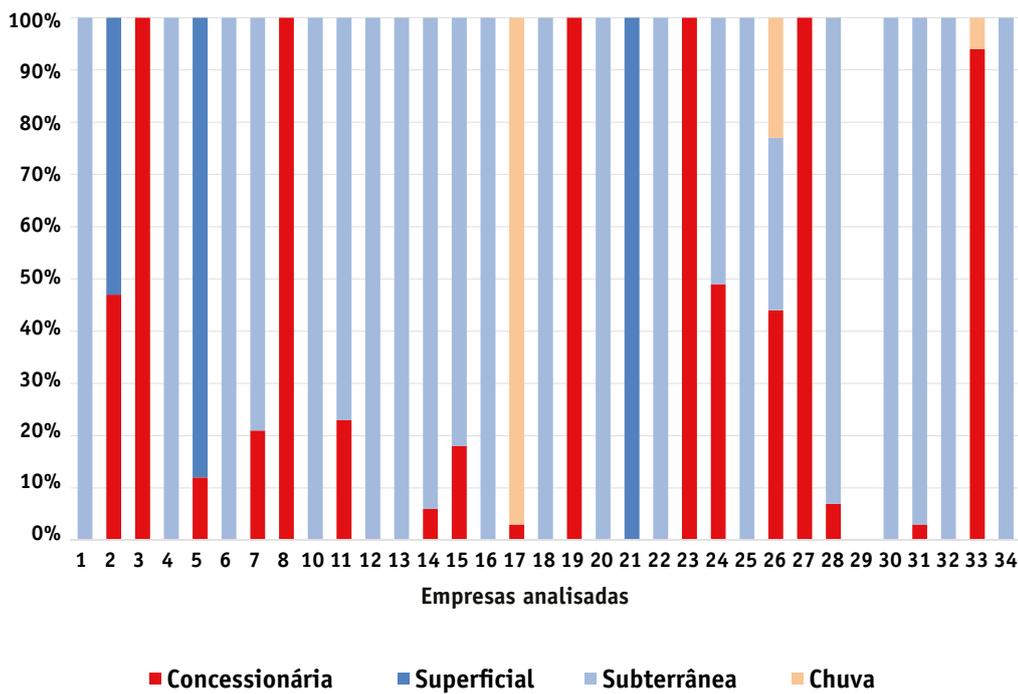


Figura 21 – Fontes de água utilizadas por fábrica participante do projeto. A empresa 29 não informou dados de consumo de água da fábrica.

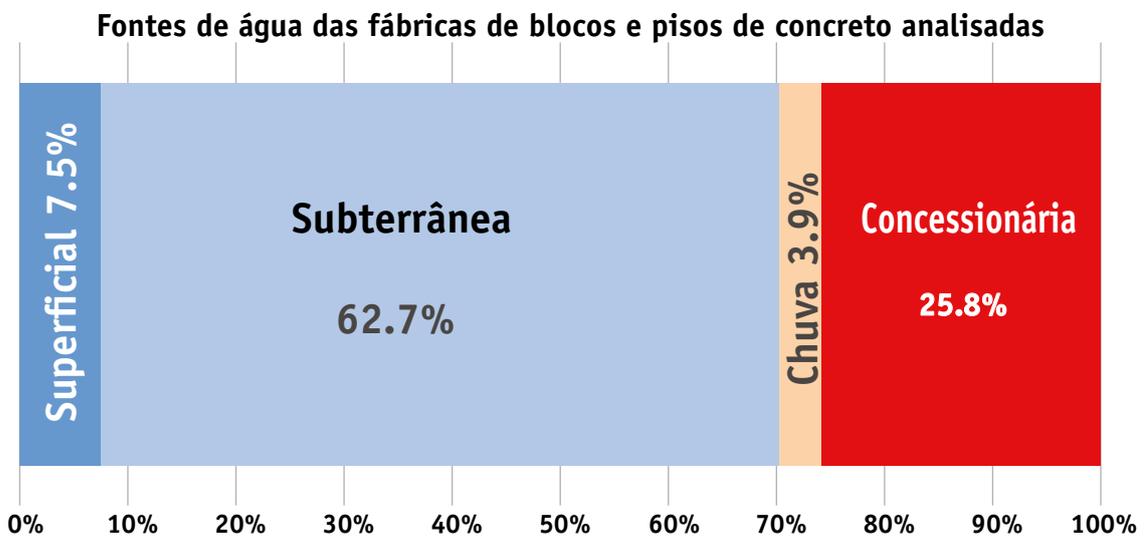


Figura 22 – Fontes de água utilizadas pelas fábricas analisadas de blocos de concreto para pavimento e alvenaria.

13 SOBRE OS INTERVALOS DE INCERTEZA

A metodologia da ACV-m tem como princípios explicitar a incerteza relativa à estimativa de cada aspecto ambiental estudado. Esta não é uma prática comum: o usual é apresentar valores médios e, eventualmente, um desvio padrão. Ocorre que como não existe uma amostragem representativa de fabricantes nos inventários do ciclo de vida, com isso, não é possível falar em média, ou típico, e muito menos em desvio padrão.

A necessidade de incorporar a incerteza é reconhecida na literatura. Na falta de inventários com quantidade de empresas suficiente para medir a dispersão, observa-se a tentativa de adotar ferramentas de simulação pelo método de Monte Carlo para gerar os estudos de incerteza. No entanto, estas ainda requerem que se assumam a natureza da distribuição e parâmetros que a descrevam (mínimo, máximo, desvio padrão, média), sem de fato conhecê-las.

Neste inventário existe incerteza substancial em várias informações relevantes. Uma delas é referente à emissão de CO₂ e energia associados à fabricação do cimento. Embora existam dados médios sólidos do

setor, não se conhecem os teores de clínquer exatos do cimento utilizado, nem tampouco as emissões do fabricante, que dependem da eficiência energética da empresa e da matriz energética. Nestes casos, decidiu-se pela adoção de valores máximos e mínimos esperados no mercado brasileiro para o produto. No momento que os fornecedores divulgarem seus valores, na forma de declaração ambiental de produto auditada, a incerteza irá diminuir substancialmente. Outra fonte de incerteza está associada às transformações de unidades, que foram necessárias para estabelecer as emissões com base nas unidades funcionais selecionadas. Esta incerteza será diminuída na medida em que as empresas passarem a controlar sistematicamente e de forma padronizada seus insumos e resíduos.

Na metodologia ACV-m optou-se por apresentar apenas a faixa de variação detectada, o mínimo e o máximo, sem adotar qualquer hipótese de valor médio, a menos que este esteja determinado. Em consequência, a divulgação que será feita para o público apresentará apenas os valores mínimos e máximos observados.

14 ANÁLISE CRÍTICA DA METODOLOGIA

14.1 ESCOPO LIMITADO DO PROJETO

A seleção de apenas alguns produtos resultou em algumas dificuldades observadas no desenvolvimento do estudo. Como a maioria das empresas informou que produz outros produtos além dos analisados, comparou-se a quantidade de matérias-primas estimadas para os produtos estudados com o consumo total da fábrica. Nessa análise verificou-se que os valores de algumas empresas apresentaram inconsistência. Por exemplo, o consumo de cimento dos produtos selecionados foi superior ao consumo da fábrica toda, apesar das mesmas fabricarem outros produtos.

A análise dos dados teria sido facilitada e poderia apresentar menos erros agregados caso fossem selecionados para o projeto todos os produtos. Isso porque teria sido feita a análise das entradas de matérias-primas e saídas de produtos e resíduos. O fechamento do ciclo facilitaria a identificação de erros de inventário, além de imprimir maior precisão nos resultados.

14.2 UNIDADE DE PRODUÇÃO TOTAL DA FÁBRICA

No formulário foi permitido que as empresas escolhessem entre quatro unidades para informar sua produção total (mil peças, m³, tonelada, m²). Isso tornou necessária a adoção de al-

gumas estimativas, uma vez que a alocação dos consumos de energia e água da fábrica foi realizada em massa. Com o cálculo da massa média, considerando apenas os produtos analisados, a massa total de produção estimada como total da fábrica pode ter sido superior ou inferior ao valor real. Assim como os produtos selecionados podem possuir massa média igual à massa média da fábrica, eles podem representar a parcela de produtos com menos ou com mais massa entre todos os produtos da fábrica. Caso a situação seja uma dessas duas últimas, o fato da empresa não ter informado sua produção total em massa pode ter influenciado significativamente a quantidade de energia e água utilizada nos produtos analisados no estudo. A realização da ACV-m para todos os produtos da fábrica evitaria este erro.

14.3 INCERTEZA DA MASSA INFORMADA DO PRODUTO

Na análise das massas de todos os produtos, verificou-se considerável dispersão entre as empresas participantes do projeto. Além de fatores como variações das dimensões das peças, inclusive as associadas ao desgaste de formas, densidade dos agregados e o grau de compactação, a variação de massa pode estar associada ao método e condições nas quais a massa foi me-

didada (produto seco em estufa ou ao ar, produto saturado, etc.). É possível que em alguns casos tenha sido utilizada a massa do produto que é passada para a transportadora, que para evitar multas por sobrecarga no caso dos blocos estarem saturados, pode ser superior à massa real. Existem também dúvidas sobre a representatividade da medida, que pode inclusive ser de período anterior ao estudado.

Neste estudo foi adotada a hipótese de que o produto foi pesado após o mesmo estar em equilíbrio com a umidade do ar. Assim, para as empresas que informaram massas medidas em situação diferente da considerada, os resultados calculados com base nesse dado podem apresentar valores diferentes do verdadeiro cenário. A realização de medição representativa e padronizada é, portanto, condição para precisão.

14.4 ESTIMATIVA DO VOLUME DO PRODUTO QUANDO O TEOR DE CIMENTO FOI INFORMADO EM KG/M³

Algumas empresas informaram o teor de cimento do produto em kg/m³. Assim, para o cálculo do indicador de consumo de cimento foi necessário estimar o volume de concreto utilizado para confeccionar cada peça. O volume dos blocos para pavimento foi estimado com base na quantidade de peças por m², específico para cada empresa, e na espessura do mesmo. Para os blocos de alvenaria, como as dimensões são nor-

matizadas, o volume foi estimado de acordo com a norma NBR 6136 (ABNT, 2007). No entanto, essa norma permite tolerâncias quanto às dimensões ($\pm 3,0$ mm na altura e no comprimento, $\pm 2,0$ mm na largura e $\pm 1,0$ mm na espessura das paredes). As empresas que produzem blocos com dimensões maiores ou menores que as estabelecidas pela norma, mas dentro dos limites permitidos, podem apresentar consumos de cimento superiores ou inferiores ao estimado.

14.5 INCERTEZA QUANTO ÀS CONSIDERAÇÕES REALIZADAS PARA O LEVANTAMENTO DA ÁGUA DE COMPOSIÇÃO POR PEÇA

A inclusão da água é recente na ACV – a primeira norma ISO é de junho deste ano. Trata-se também de tema que tem ainda bastantes indefinições e, em muitos aspectos, não controlados quantitativamente pelas empresas, particularmente a água captada diretamente pela própria empresa. O formulário solicitava a água de composição do concreto por peça para cada tipo de produto. No entanto, ao se analisar o preenchimento desses dados, observou-se que foram realizadas diferentes considerações nesse levantamento. Algumas empresas informaram apenas a água adicionada à mistura de cimento e agregados, enquanto outras registraram a água total necessária para fazer o concreto, considerando a água incorporada aos agregados. Devido a essa incerteza, não foi possível calcular uma

faixa para o indicador de consumo de água para a composição do concreto. Para tentar determinar a água de composição, em virtude da incerteza quanto ao levantamento desse dado, foi realizada uma pesquisa junto às empresas sobre o teor de umidade médio de seus agregados, já que é assim que parte da água utilizada chega à empresa. Contudo, essa determinação não é usual, já que sensores realizam medida indireta.

Trata-se de tema que deverá exigir o estabelecimento de padrões mais claros de medida.

14.6 ESTIMATIVAS DE QUANTIDADES DE INSUMOS TRANSPORTADAS E VEÍCULO UTILIZADO

No processo de simplificação do formulário, alguns itens foram suprimidos. No entanto, no processo de análise dos dados observou-se a necessidade de se levantar algumas informações. A quantidade de matéria-prima que é entregue a cada pedido e o tipo de veículo utilizado são importantes para a estimativa do consumo de combustível devido ao transporte. Esses dados foram levantados junto às empresas por e-mail ou contatos por telefone. Como não foi possível ter o retorno de todas, adotou-se para estas os valores máximo e mínimo levantados junto àquelas que responderam. Os resultados podem não corresponder à realidade dessas empresas, mas como nesse estudo o transporte não representa o principal

responsável pelos impactos ambientais analisados, essa adoção não interferiu no resultado final.

14.7 LEVANTAMENTO DE ALGUNS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NA FÁBRICA

Durante a análise do consumo energético da fábrica foi observado que algumas empresas informaram consumo unitário muito elevado de alguns combustíveis, quando comparadas com as outras, em especial GLP e lenha. Entende-se que no levantamento desse dado pode ter havido falha de conversão de unidades ou mesmo alocação por parte da empresa que produz outros tipos de produtos além dos selecionados. Algumas empresas realizaram a correção de seus valores durante a análise dos dados. Por causa disso, as empresas que apresentaram consumo muito alto de alguns combustíveis não foram consideradas no desenvolvimento dos indicadores.

14.8 IMPRECISÃO NA DEFINIÇÃO DE PERDAS E RESÍDUOS DE PRODUÇÃO TOTAL

Resíduo é todo material que sai da fábrica e não é produto, podendo ser enviado para aterro, reciclagem interna ou externa e até mesmo recuperação de energia. Trata-se de insumo que não é comercializável. Já perda é um indicador de eficiência do processo, pois é perda de matéria-prima não endurecida ou produto perdido, curado com baixa resistência ou quebra-

do, por exemplo. Perda não é necessariamente resíduo, mas o seu controle tem evidente interesse econômico. No entanto, durante a análise dos dados observou-se que empresas interpretaram de forma variável estes termos. Com isso, foram obtidas as perdas de produção de cada produto selecionado para o estudo, mas não ficaram bem definidos quais dados foram informados referentes a toda fábrica. Pela análise dos valores levantados, observou-se que algumas empresas podem ter informado dados relativos aos resíduos que saem da fábrica, enquanto outras informaram seus valores de perdas, que não necessariamente se tornam resíduo. Assim, não foi possível criar um indicador de resíduo gerado pela fábrica. Este é um tema que precisará ser aperfeiçoado.

O indicador de perdas foi criado para apresentar às empresas a eficiência do seu processo. Mesmo que o material que não se converte em produto seja reinserido no processo, ele mostra que parcela dos insumos utilizados é perdida. Isso porque parte da água e energia, por exemplo, que deveria ser utilizado na produção dos produtos, se converteu em material que não era o objeto final do processo. Essa informação pode auxiliar a empresa a analisar seus procedimentos e levantar quais etapas são passíveis de melhorias para se reduzir a perda de produtividade da fábrica.

14.9 OUTROS RESÍDUOS, QUE NÃO ORIUNDOS DAS PERDAS DE PRODUÇÃO

O formulário solicitou descrição e quantidades de outros tipos de resíduos além das perdas de produção. No entanto, menos da metade das empresas informou esses dados. Por falta de dados específicos para a formação de um indicador por tipo de resíduo, essa análise não foi realizada nesta etapa.

14.10 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DAS AUDITORIAS

Algumas auditorias foram realizadas para verificação dos dados de algumas empresas, selecionadas a partir da análise dos primeiros resultados. No entanto, as dúvidas que existiam sobre o levantamento por parte das empresas permaneceram após as visita da equipe responsável pela auditoria (SENAI-RJ).

A falta de uma metodologia específica para a verificação dos dados levantados pelo formulário do Projeto ACV-m contribuiu para a permanência das dúvidas. Como alguns dados informados foram estimados, como o consumo de água por peça, a abordagem para verificação dessa informação deveria ser específica para facilitar o detalhamento do levantamento por parte da empresa. Assim, uma metodologia específica para a verificação do preenchimento do formulário do Projeto ACV-m deverá ser criada para as próximas etapas.

15 CONCLUSÕES – PROJETO ACV-M

15.1 INDICADOR DE ENERGIA INCORPORADA

A energia incorporada associada às matérias-primas (processamento e transporte), especialmente ao cimento, pode englobar erros referentes aos consumos de insumos estimados. Consumo e tipo de cimento, além da eficiência térmica do processo de cura, são críticos neste item.

Dados referentes ao consumo de alguns combustíveis no funcionamento da fábrica de algumas empresas não foram considerados na composição da faixa desse indicador por resultarem em quantidades energia incorporada muito acima do que é concebível. Essas informações devem ser revisadas pelas empresas.

15.2 INDICADOR DE EMISSÃO DE CO₂

As emissões do CO₂ tem como origem o uso de energia fóssil e a decom-

posição do calcário que ocorrem na produção de materiais, principalmente de cimento, transporte, geração de energia elétrica e geração de energia térmica, inclusive na fábrica.

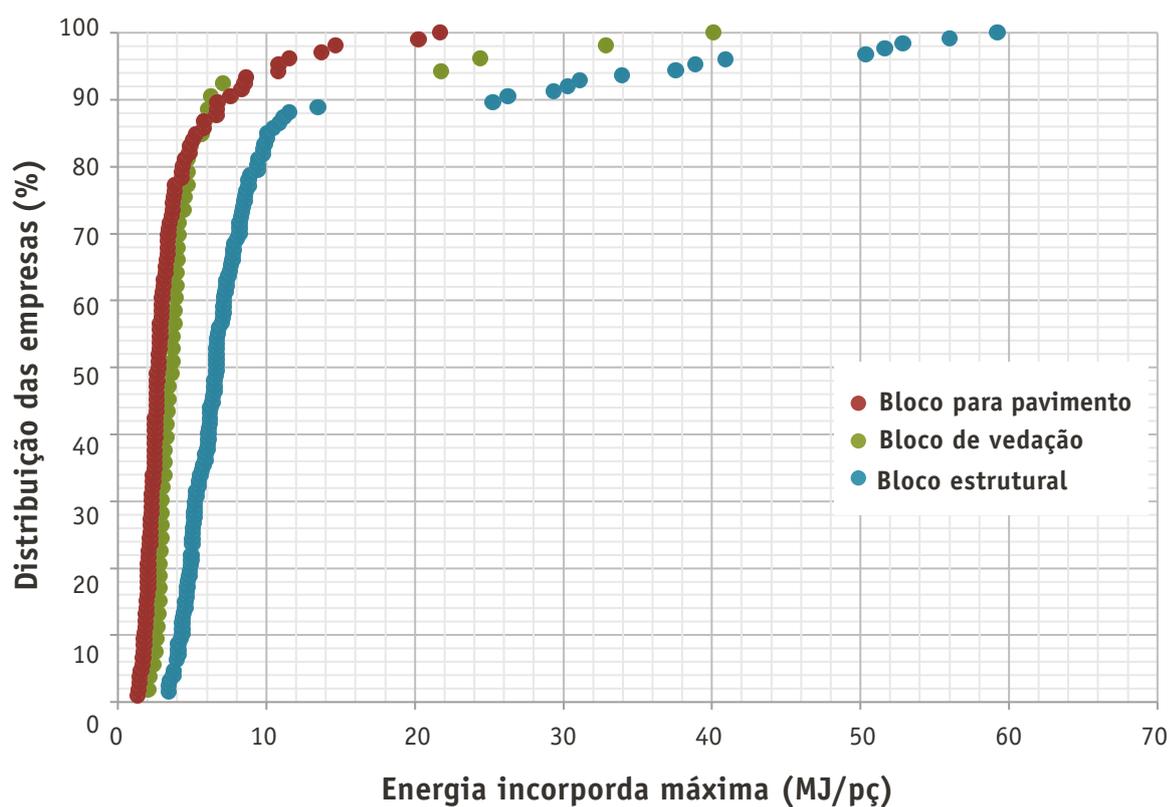
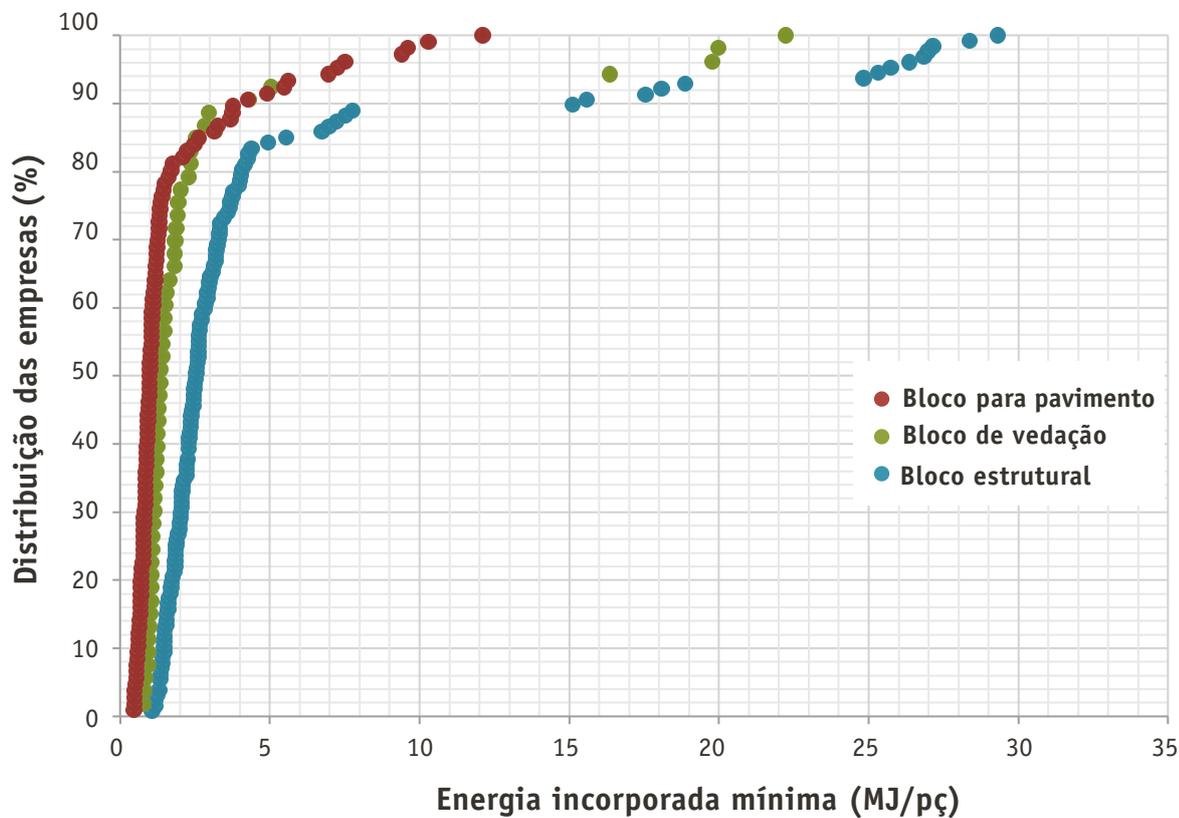
Como a emissão de CO₂ está diretamente ligada ao consumo e tipo de cimento, quanto menor o teor de clínquer do produto e quanto menor o consumo de cimento, menor é a emissão. O cimento (CP V) que possui alto teor de clínquer e alta emissão é o principal ligante na produção de blocos. Cimentos com baixo teor de clínquer tendem a ter hidratação mais lenta, o que implicariam em cura térmica, elevando emissões e pegada energética. De uma forma geral a estratégia mais eficiente é a redução do teor de cimento, possível de obter com melhor empacotamento dos inertes e com melhor energia de compactação.

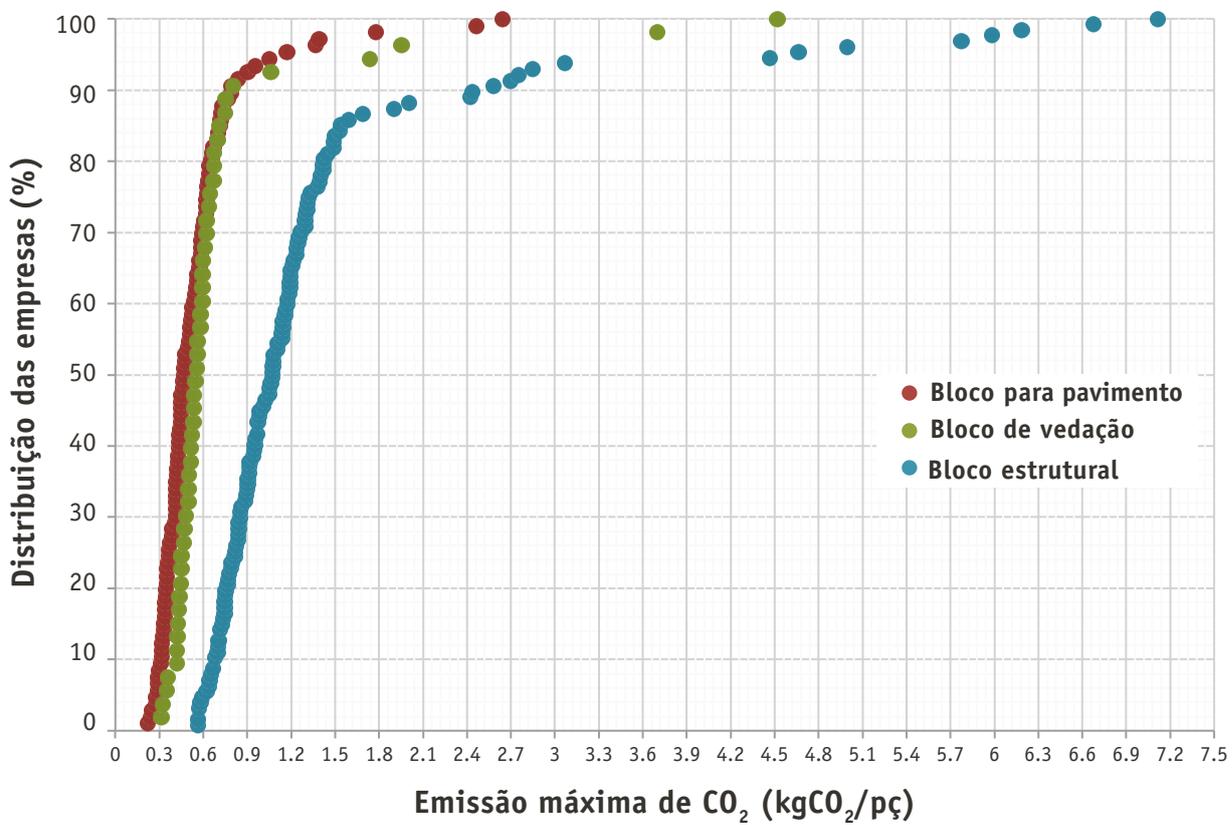
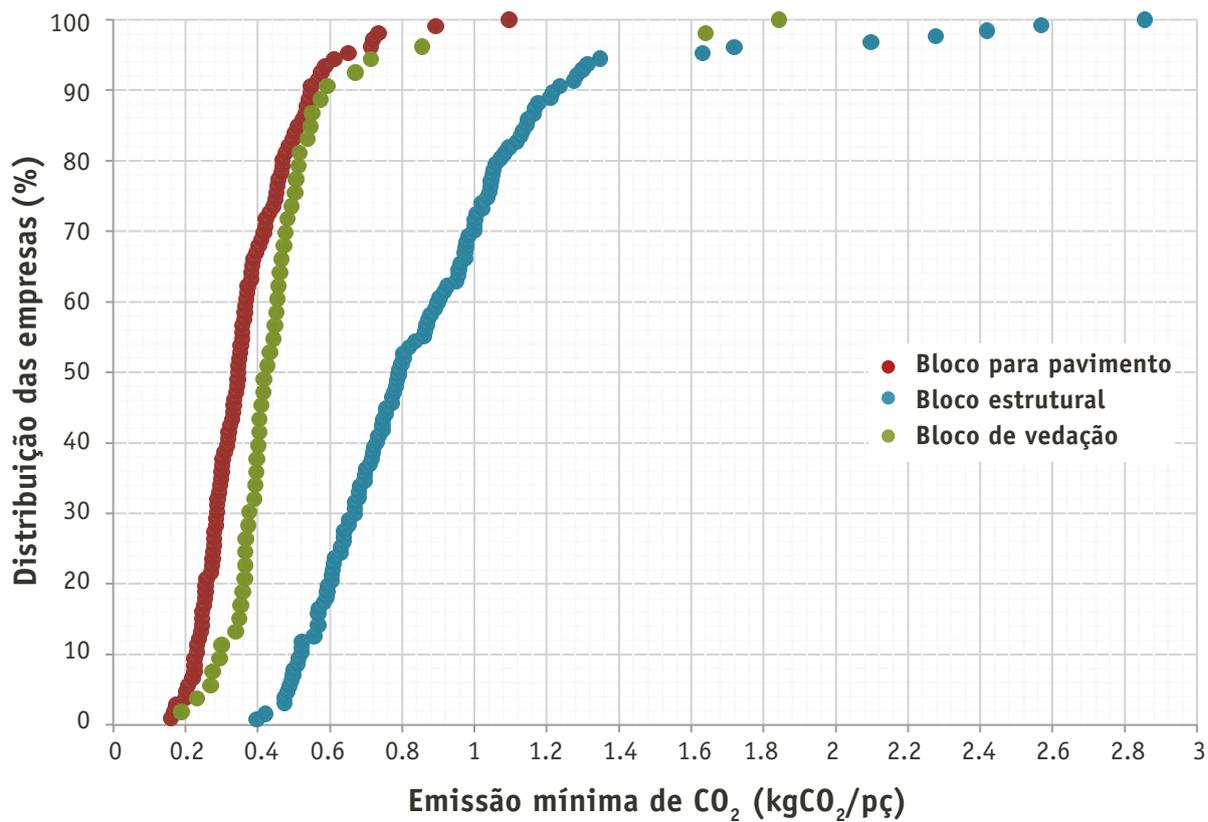
16 REFERÊNCIAS

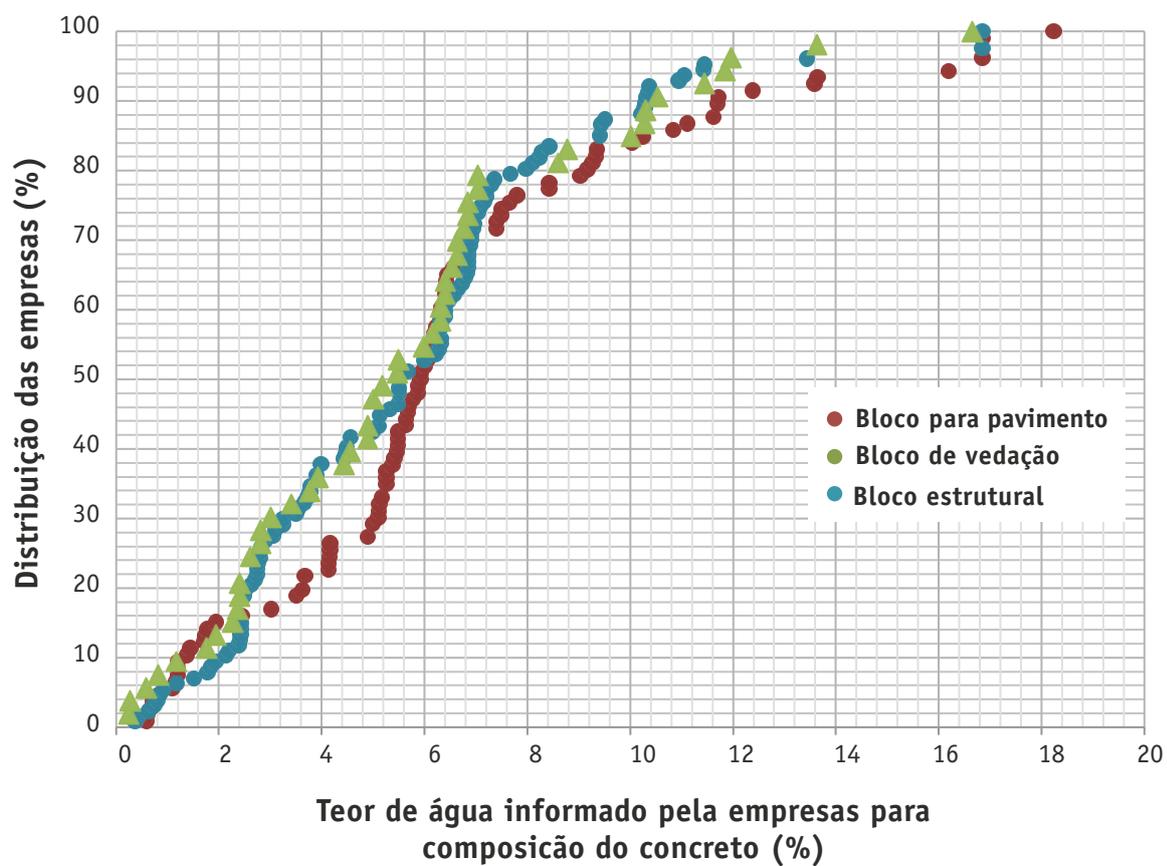
- ABNT**, A. B. DE N. T. ABNT NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.
- ABNT**, A. B. DE N. T. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura.
- ANTT**; IEMA. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas - Relatório Final. Brasília: Agência Nacional de Transportes Terrestres, Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/invent%C3%A1rio%20ferrovi%C3%A1rio%202012_final.pdf>.
- BRE**. Product Category Rules for Type II - environmental product declaration of construction products to EN 15804:2012 - Final Version. BRE Environmental Profiles.
- CAMPOS**, É. F. DE. Emissão de CO₂ da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012. Dissertação de Mestrado.
- CLF**. North American Product Category Rules (PCR) for ISO 14025 Type III Environmental Product Declarations (EPDs) and/or GHG Protocol Conformant Product “Carbon Footprint” of Concrete. Carbon Leadership Forum (CLF) - University of Washington. Disponível em: <www.ghgprotocol.org/files/ghgp/PCR-Concrete-Version-1.0-2012-11-30.pdf>.
- EPD**. Product Category Rules - UN CPC 375 - Concrete. The International EPD®System.
- EPE**, E. DE P. E.; MME, M. DE M. E E. Balanço Energético Nacional 2013. [S.l.]: [s.n.], 2013.
- FALCÃO**, C. M. B. DE B. *et al.* Análise da qualidade do investimento e emissões de CO₂ associadas à produção de agregados reciclados na Região Metropolitana de São Paulo. [S.l.]: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.
- FERNANDES**, I. D. Blocos e Pavers - Produção e Controle de Qualidade. 4. ed. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda., 2013.
- GRI**. G4 - Sustainability Reporting Guidelines - Reporting principles and standard disclosures. [S.l.]: Global Reporting Initiative, 2013. Disponível em: <www.globalreporting.org/resource/library/GRIG4-Part1-Reporting-Principles-and-Standard-Disclosures.pdf>.
- HOEKSTRA**, A. Y. *et al.* Water Footprint Manual - State of the Art 2009. [S.l.]: Water Footprint Network, 2009. Disponível em: <www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf>.
- HOLCIM**. Corporate Sustainable Development Report 2011. [S.l.]: Holcim, 2011. Disponível em: <www.holcim.com/fileadmin/templates/CORP/doc/SD12/holcim_csd_2011_WEB.pdf>.
- IPCC**. Climate Change 2007: Synthesis Report - Summary for Policymakers. [S.l.]: [s.n.], 2007. Disponível em: <www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf>.

- IPCC**, T. I. P. ON C. C. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Energy. [S.l.]: [s.n.], 2006. Disponível em: <www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em: 26 jan. 2014.
- ISO**. ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. BRITISH STANDARD.
- ISO**. ISO 14046 - Environmental management: Water footprint — Principles, requirements and guidelines. International Organization for Standardization.
- LAFARGE**. Sustainability 11th report - 2011. [S.l.]: [s.n.], 2011. Disponível em: <www.lafarge.com/05182012-publication_sustainable_development-Sustainable_report_2011-uk.pdf>.
- MACEDO**, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass & Bioenergy*, 2008. v. 32, n. 7, p. 582–595.
- MARCHIONI**, M. L. Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco para peças de concreto para pavimentação intertravada. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. Dissertação de Mestrado.
- 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 - ENARC, 2013. p. 15.
- PETRUCCI**, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 14. ed. [S.l.]: Editora Globo, 2005.
- PUNHAGUI**, K. R. G. Análisis de la Arquitectura en Madera en Brasil bajo aspectos de la sostenibilidad. Tese de doutorado. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona da Universitat Politècnica de Catalunya e Escola Politècnica da Universidade de São Paulo. 2014.
- ROSSI**, E. Avaliação do ciclo de vida da brita para a construção civil: estudo de caso. São Carlos/SP: Universidade Federal de São Carlos, 2013. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <www.lareferencia.info/vufind/Record/BR_Oba27484111b2b906b7660abd6aa7ff6>.
- RYU**, J. S. An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties. *Magazine of Concrete Research*, 2002. v. 54, n. 1, p. 7–12.
- SILVA**, B. V. Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013. Dissertação de Mestrado.
- 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. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 2012. Mestrado em Tecnologia Ambiental.
- SUN**, M.; RYDH, C. J.; KAEBERNICK, H. Material grouping for simplified product life cycle assessment. *The Journal of Sustainable Product Design*, 2003. v. 3, n. 1, p. 45–58. Acesso em: 12 set. 2012.

ANEXOS







SOBRE O CBCS

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

www.cbcs.org.br

O CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável é uma OSCIP, Organização da Sociedade Civil de Interesse Público, de âmbito nacional, constituída em 2007. Com quadro social composto por pessoas físicas e jurídicas, busca contribuir para a geração e disseminação de conhecimentos e boas práticas de sustentabilidade na cadeia produtiva da construção civil. Resultado da articulação entre lideranças empresariais, pesquisadores, consultores, profissionais atuantes e formadores de opinião, o CBCS se relaciona com importantes organizações nacionais e internacionais que se dedicam ao tema, sob diferentes perspectivas, a partir da ótica ambiental, de responsabilidade social

e econômica dos negócios. As atividades são desenvolvidas em Comitês Temáticos, que debatem boas práticas para as áreas mais prementes da construção, tais como Água, Avaliação de Sustentabilidade, Econômico e Financeiro, Energia, Gerenciamento de Riscos, Materiais, Projeto e Urbano.

MISSÃO

Promover a melhoria da qualidade de vida da população brasileira e a preservação de seu patrimônio natural, pelo desenvolvimento e implementação de conceitos e práticas mais sustentáveis e que contemplem as dimensões social, econômica e ambiental da cadeia produtiva da indústria da construção civil.

FICHA TÉCNICA

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
www.cbcs.org.br
Coordenação: Prof. Dr. Vanderley M. John

Programa Avaliação de Ciclo de Vida Modular
acv@cbcs.org.br
www.acv.net.br

Equipe

Prof. Dr. Vanderley M. John
Prof. Dr. Sérgio Almeida Pacca
Prof. Dr. Sergio Cirelli Angulo
Prof. Dra. Katia Regina Garcia Punhagui
Eng. Lidiane Santana Oliveira
Eng. Yazmin Lisbeth Mack Vergara
Arq. Érica Ferraz de Campos

Colaboração

Carlos Alberto Tauil (Bloco Brasil)
Cláudio Oliveira Silva (ABCP)

Parceria

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
www.abcp.org.br

Bloco Brasil - Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto
www.blocobrasil.com.br

Projeto Gráfico

Konsept design & projetos
www.konsept.com.br

Parceria



Empresas participantes





CBCS

Conselho Brasileiro de
Construção Sustentável

www.acv.net.br