# 3 A identidade do patrimônio industrial edificado

## 3.1 Tipologia arquitetônica dos edifícios fabris e industriais

Em Geografia Humana, Derruau (1977, p. 28) caracteriza os espaços industriais e as atividades que se relacionam aos mesmos:

> À atividade industrial está implícita a existência de um edifício de produção, normalmente a fábrica, que está associada a uma técnica, a um modo de produção. Esta atividade implica também a exploração de recursos energéticos e a criação de infra-estruturas e de edifícios de apoio, como bairros habitacionais. Apresenta-se também relacionada com uma organização social especifica, existindo um modo de vida industrial com horários, migrações diárias e concentração de pessoas.
> As exigências específicas dos espaços industriais, bem como as questões de segurança, desenvolveram um tipo de arquitetura particular. Os materiais e sistemas de construção foram evoluindo a par da própria indústria e mostraram-se pioneiros no âmbito da engenharia e da arquitetura. Ao longo do tempo, esta atividade desenvolveu-se paralelamente à evolução tecnológica e foi-se fixando como parte integrante do sistema econômico, social e político, e delas estão dependentes estes parâmetros da sociedade, entre outros.

Na construção dos edifícios industriais que compunham importantes sítios estudados nesta pesquisa, pode-se observar algumas características marcantes, que passam a identificá-los e destacar certo valor patrimonial.

A respeito das características construtivas das construções fabris, Meneguello *et al* (2007) refere que a técnica utilizada e a arquitetura adotada na construção desses edifícios não variavam muito: eram construídos com alvenaria de tijolos aparentes e estrutura de ferro fundido ou aço. Em alguns casos, as estruturas metálicas eram importadas da Europa e montadas no Brasil As coberturas de estrutura metálica ou madeira eram a solução mais usual, em *sheds* ou em duas águas sucessivamente repetidas lado a lado.

A ampla utilização do ferro permitiu responder às novas exigências da industrialização, tais como vãos de maior dimensão, a construção em altura e novas tipologias de edifícios como estações, pavilhões e armazéns.

Na fase anterior à eletricidade a iluminação era uma das questões mais importantes no desenho dos edifícios e a existência de grandes vãos ou luz zenital era imprescindível para rentabilizar a produção (SERRANO, 2010).

Segundo Correia (2011), no Brasil, a partir de 1880, pode-se identificar na arquitetura produzida por fábricas a constituição de um cenário que remete

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

claramente ao mundo industrial, cujo aspecto essencial trata das alterações ocorridas nas áreas de produção que aumentam suas dimensões, adotam tipologias específicas e empregam nova linguagem e novos materiais de construção.

Ainda segundo Correia (2011), exemplos nesse sentido são prédios de fábricas têxteis paulistas São Bento (fundada em Judiai em 1874), Nossa Senhora da Ponte (fundada em Sorocaba em 1881), Santa Rosália (fundada em Sorocaba em 1890), Santa Maria (fundada em Sorocaba em 1896), Mariângela (fundada em São Paulo pelas Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo em 1907), Santa Adélia (fundada em Tatuí em 1908) e Fábrica de Tecidos Labor (construída na Mooca, São Paulo).

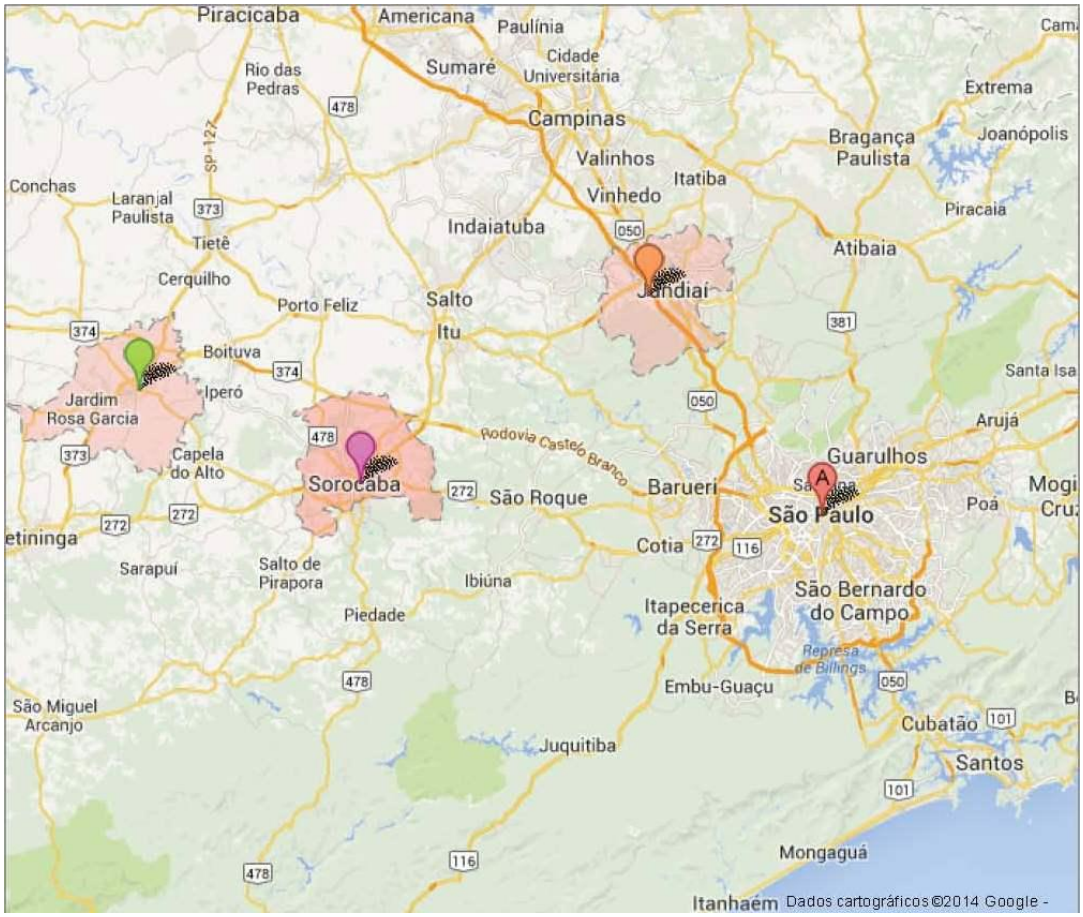


Figura 3.7 – Localização dos municípios de Tatuí, Sorocaba, Jundiaí e São Paulo. Fonte: Google Maps, 2014.

Algumas características da São Bento – como uso de tijolo aparente, iluminação zenital e tratamento padronizado da caixilharia – fazem supor que essa fábrica teria sido reformada nas décadas finais do século XIX, ou trata-se da primeira a adotar soluções que só viriam a se tornar usuais no estado de São Paulo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

no final daquele século. Entre aquelas construídas nas décadas finais do século XIX no estado de São Paulo, as três fábricas de Sorocaba (já citadas) são as que mais se aproximam da tipologia gerada pelo modelo inglês de fábricas do século XIX, caracterizado pelas grandes fachadas em tijolo aparente, imensas chaminés e uso do ferro nas estruturas de pisos e cobertas. Ao contrário dos modelos ingleses, geralmente com vários andares, essas, entretanto, limitavam-se a um ou dois pavimentos.

Já o prédio do Cotonifício Rodolfo Crespi, erguido no início do século XX no bairro da Mooca, em São Paulo, é uma versão mais verticalizada e despojada do uso de tijolo aparente.

O cotonifício foi fundado em 1897 pelo imigrante italiano Rodolfo Crespi, tornando-se uma das maiores fabricas de São Paulo nos anos anteriores à Primeira Guerra. A construção do edifício se iniciou em 1898, com uma área industrial de 50.000 m² e 3000 cavalos de força movidos à eletricidade. A fábrica foi um dos primeiros e maiores clientes da *São Paulo Tramway, Light and Power Co*. Projetado pelo arquiteto italiano Giovanni Battista Bianchi, tornou-se um relevante patrimônio cultural dos primórdios da era industrial de São Paulo devido à sua arquitetura, e também foi representativo da própria história da industrialização e de suas relações de trabalho na cidade de São Paulo, tendo servido de estopim para as greves de 1917, uma das primeiras, e ainda a mais violenta, dentre as greves já havidas no Brasil. O cotonifício tornou-se o maior empregador da Moóca, seus operários fundaram o clube de futebol homônimo, que em 1924 tornou-se o Juventus Esporte Clube, até hoje o maior do bairro. No mesmo ano a fabrica foi pesadamente bombardeada por aviação militar do Governo Federal por causa da rebelião dos tenentes na chamada de “Revolução de 1924″, quando tropas federais sitiaram São Paulo, ocupada pelos tenentes. (ARAÚJO, 2013).

O tijolo aparente também foi empregado na primeira fábrica de Francisco Matarazzo em São Paulo – o Moinho Matarazzo –, inaugurado no bairro do Brás em 1900.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

Figura 3.8 – Vista geral da fábrica, com o prédio ainda existente do cotonifício ao fundo. [1922 – 1924]. Enviada por Bernardo Schmidt. Fonte: http://www.sampahistorica.files.wordpress.com/2014/01/1922-cotonifc3adcio-crespi-2-bernardo-schmdt.jpg.

Figura 3.9 – A fachada do antigo Cotonifício Crespi. Hoje o local é usado como Hipermercado. Apenas a fachada foi preservada. Foto de Felipe Alexandre Herculano. Janeiro/2014. Fonte: http://www.sampahistorica.files.wordpress.com/2014/01/2013-fachada-do-antigo-cotonifc3adcio-cresp-fah-ii.jpg.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

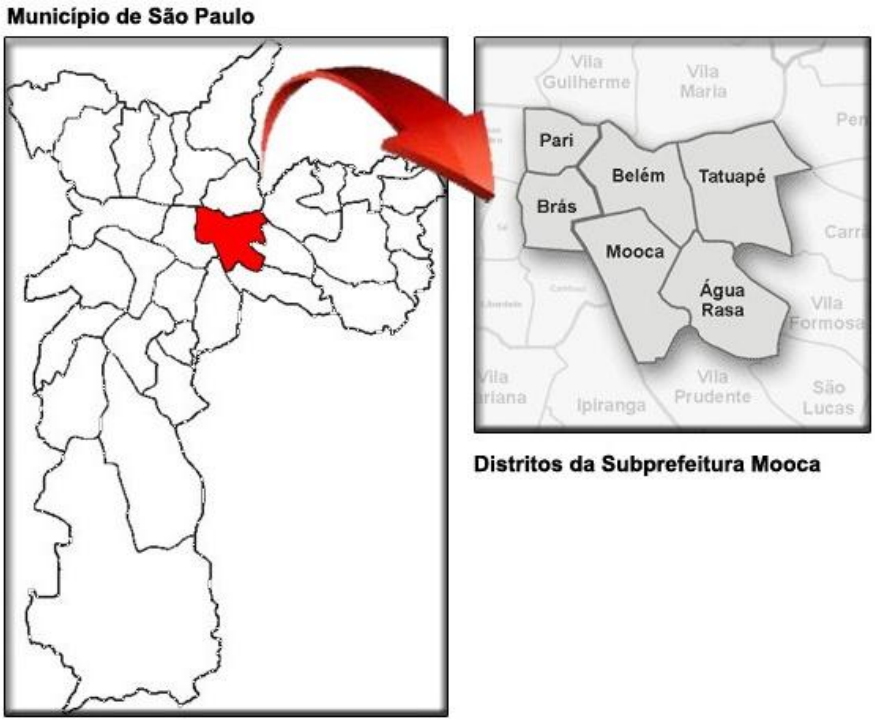


Figura 3.10 – Localização da Subprefeitura da Mooca e os bairros que a compõem. Fonte: Prefeitura de São Paulo. Coordenação das Subprefeituras. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/mooca/mapas/index.php?p=439, 2014.

Se observa que, ao mesmo tempo em que funciona como elemento condicionador do sistema de produção, a edificação também se encontra no conjunto dos componentes do processo de trabalho industrial, seja nos espaços de trabalho e de movimentação, seja no conforto.

"Nos projetos de edifícios industriais os princípios de projeto parecem seguir com mais ênfase os preceitos da função produção do que das funções de conforto dos usuários, ou seja, dos trabalhadores." (CAMAROTTO, 1998, p. 75).

## 3.2 Os materiais do mundo fabril

Inicialmente o material utilizado em grandes prédios industriais era o tijolo, cuja produção se massificou com o início da revolução industrial. Mais tarde, no século XIX, exploraram-se as potencialidades do ferro na construção, com a chamada arquitetura do ferro.

> Na Fábrica Bangu, projetada e construída (entre 1889 e 1892) pela firma de engenharia De Morgan Snell, com sede em Londres, a presença do tijolo aparente denuncia a difusão de uma linguagem nova que, a partir da década de 1880, vai caracterizar as áreas industriais no Brasil. (CORREIA, 2011, p. 26).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

Na época considerada, uma das tendências da arquitetura no Brasil era adotar uma linguagem despojada nos grupamentos de fábricas e habitações para os seus operários. O tijolo aparente era utilizado nas fachadas e o ferro nos elementos estruturais e componentes do sistema de drenagem, que muitas vezes ficavam à vista em fachadas e interiores. Assim, o tijolo aparente tornou-se um dos elementos característicos do conceito de funcionalidade que balizava a nova paisagem industrial e sua expressão arquitetônica própria (CORREIA, 2011).

De modo a rentabilizar o investimento das construções procuravam-se utilizar materiais baratos, que garantissem segurança e estabilidade, recorrendo-se, mais tarde, a produtos padronizados de linha de produção industrial (SERRANO, 2010).

Alfredo Moreira Pinto, em texto datado de 1901 (*apud* MENEGULLO *et al*, 2007), descreve detalhes da edificação da Fábrica de Cerveja Bavária, construída na Mooca (SP) e inaugurada por volta de 1890:

> O predio [...] é, alto, vasto, vistoso e todo construído de tijolos. Em frente fica-lhe o escriptorio, em bonito chalet e nos fundos passa-lhe a Estrada de Ferro Ingleza, com a qual tem communicação. A fabrica occupa uma extensão de 250 metros de frente por 100 de fundos e o escriptorio e mais dependências uma extensão de 80 metros por 120. A parte mais alta do edificio tem 30 metros e a chaminé 36. [...]

O estudo mais detalhado das construções de caráter industrial e principalmente fabril erigidas no período que abrange a pesquisa, permite constatar que os materiais que têm características de maior durabilidade, justificando-se de alguma maneira seu reaproveitamento, são as alvenarias em tijolos de barro, as estruturas metálicas dos telhados e galpões e as estruturas e fundações em concreto armado.

### 3.2.1 Aspectos do processo de fabricação dos tijolos cerâmicos

O Brasil dispõe de grandes reservas de argilas para cerâmica vermelha. O Anuário Mineral Brasileiro de 2010 (DNPM, 2012) indica reservas medidas da ordem de 6,2 bilhões de toneladas. A produção de argila corresponde a uma demanda derivada da indústria cerâmica, cuja evolução, por sua vez, está totalmente vinculada ao desempenho da indústria da construção civil.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

### Matéria prima

A principal matéria-prima utilizada na fabricação de tijolos cerâmicos na construção de alvenarias é a argila, argila xistosa e silicato de cálcio.

As argilas para cerâmica vermelha englobam uma grande variedade de substâncias minerais de natureza argilosa. Compreendem, basicamente, sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam em cores avermelhadas, a temperaturas variáveis entre 800 e 1.250ºC. Tais argilas apresentam geralmente granulometria muito fina, característica que lhes conferem, com a matéria orgânica incorporada, diferentes graus de plasticidade, quando adicionada de determinadas porcentagens de água, aspectos importantes para produção de uma grande variedade de peças cerâmicas, além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima (COELHO, 2009).

A indústria cerâmica é caracterizada por duas etapas distintas, quais sejam, a primária, que envolve exploração (prospecção e pesquisas) e explotação (retirada para aproveitamento econômico) da matéria-prima, e a de transformação, para elaboração do produto final (SEBRAE, 2008).

### Extração

Para seleção do local de extração da argila é necessária a realização de testes de produção que avaliam características compatíveis com a geometria dos tijolos a serem produzidos como a maleabilidade da massa, a resistência da massa seca, a flexão e também o nível de porosidade.

O setor de cerâmica vermelha utiliza a chamada massa monocomponente, composta basicamente por argilas, isto é, não envolve a mistura de outras substâncias minerais. A formulação da massa geralmente envolve a mistura de uma argila “gorda”, caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais, com uma argila “magra”, rica em quartzo e menos plástica, que pode ser caracterizada como um material redutor de plasticidade e que permite a drenagem adequada das peças nos processos de secagem e queima (COELHO, 2009).

Para fabricação de blocos estruturais, que requer maior sinterização das peças, a exigência técnica é rigorosa. Nesses materiais, as argilas devem ser mais

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

ilíticas ou conter a mistura destas ou de outros fundentes como filitos.

Todas essas avaliações se fazem necessárias, considerando que o produto final (tijolo) será o principal componente para levantamento de paredes de alvenaria, visando evitar infiltração de água, possibilitar resistência e um bom acabamento, especialmente no caso de tijolos aparentes (SOUSA, 2008).

Com a matéria-prima ideal, parte-se então para o processo produtivo propriamente dito.

### Impactos na extração

Segundo seu Relatório Técnico, Coelho (2009) relata que na mineração de argila predominam empreendimentos de pequeno porte, com produções variando de 1.000 a 20.000 t/mês, em minas com escavações mecânicas a céu aberto. De modo geral, as minas carecem de investimentos em modernizações tecnológicas e gerenciais necessárias ao aprimoramento do sistema de produção envolvendo pesquisa mineral, lavra e beneficiamento, sendo inexistentes programas de certificações quanto à qualidade e gestão ambiental. Ocorre também que parte dos empreendimentos opera de maneira informal ou em desacordo com a legislação mineral e ambiental, colocando em risco tanto o controle e a recuperação ambiental das áreas mineradas, quanto o próprio abastecimento das cerâmicas.

O controle adequado das atividades de extração torna-se obrigatório haja vista o grande impacto ambiental que ocorre nesta fase (Figuras 3.11 e 3.12).

Figura 3.11 – Extração de barro em jazidas. Fonte: Bela Vista Tijolos. 2013. Disponível em: http://www.belavistatijolos.com.br/processo.html, 2013.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

Figura 3.12 – Degradação ambiental ocasionada pela extração ilegal de argila. Fonte: Portal do Governo do Estado de Rondônia. 2009.

Ainda segundo Coelho (2009), a mineração de argila praticada em empreendimentos de pequeno porte e envolvendo basicamente processos de remoção de materiais sólidos provoca, de forma geral, impactos ambientais específicos, para os quais são aplicadas medidas de mitigação convencionais, a saber:

– restrição da remoção da vegetação ao mínimo necessário e, sempre que possível, revegetação das áreas impactadas;

– instalação de sistemas de drenagem das águas pluviais nas frentes de lavra e nos pátios de estocagem, de forma a conduzi-las para tanques de decantação antes da liberação para o meio externo;

– para o controle de poeira, instalação de barreira vegetal nos entornos da cava e do pátio de estocagem, e aspersão de água sobre os acessos não pavimentados situados no interior e no acesso ao empreendimento.

Dependendo da situação topográfica, as medidas usuais de recuperação de cavas de argila envolvem:

– preenchimento de cavas com materiais estéreis, e outros matérias disponíveis como resíduos de construção, terraplenagem para reafeiçoamento do relevo com a finalidade de atenuar o impacto visual, reduzir a possibilidade de erosões, permitindo a revegetação e, em certos casos, conversão das áreas para um novo uso;

– no caso de lagos remanescentes, estabilização de taludes marginais por meio de suavização dos cortes, seguido de revegetação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

No entanto, parcela importante das minerações ainda carece de práticas mais adequadas de controle e recuperação ambiental. Se as cavas individuais configuram degradações restritas, a aglomeração de empreendimentos em certas regiões tem provocado um impacto acumulativo considerável, sobressaindo, entre outros, processos de desmatamento, assoreamento de drenagem, formação de pequenos lagos, pilhas abandonadas de argila e de material estéril, e taludes expostos sujeitos à erosão. Em alguns APL embrionários, a precariedade técnica e a ilegalidade das atividades de lavra colocam em permanente risco a sustentabilidade da atividade mínero-cerâmica.

Na mineração da argila constata-se pouca geração de resíduos. Estes são resultantes da remoção do capeamento superficial (solo) e da retirada de camadas estéreis intercaladas ao pacote de minério argiloso. Em decorrência do baixo valor do minério argiloso, são lavradas jazidas com baixa relação estéril/minério, geralmente com valores inferiores a 0,25, isto é, para cada tonelada de argila são removidas menos de 0,25 toneladas de materiais estéreis. Os materiais descartados na frente da larva são constituídos por sedimentos de natureza mais ou menos arenosa. Quando utilizados, destinam-se à pavimentação dos acessos internos da mina e ao preenchimento de cavas já lavradas (COELHO, 2009).

### Consumos e emissões na extração

Na mineração de argila, não há emprego de água nas operações de lavra, que são baseadas em procedimentos de escavação mecânica a seco. O seu uso restringe-se às minerações mais estruturadas na umidificação das vias não pavimentadas situadas no interior e nos acessos do empreendimento, para abatimento de partículas em suspensão (poeira). Um valor de referência para o consumo de água para aspersão nos acessos da mina situa-se na faixa de 36.000 $m^3$/ano[1], o equivale a uma utilização de água da faixa de 0,75 a 0,37 $m^3$/t pela PM mineração de argila lavrada.

Por outro lado, a escavação mecanizada nas minas consome grande quantidade de combustível e consequentemente conduz à emissão de poluentes na atmosfera.

Para a estimativa do dispêndio de energia da mineração de argila, foram consideradas as operações referentes à extração do minério (escavação mecânica),

[1] Base de cálculo para o consumo de água: 10mm/dia, 180 dias, área de cobertura – 40.000$mn^2$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

transporte dentro da mina e estocagem, com o consumo, basicamente, de óleo diesel. A Tabela 3.1 apresenta as principais referências de consumo energético e correspondentes emissões de $CO_2$ para produções cativas em micro-escalas e para minas de pequeno e médio porte.

Tabela 3.1 – Consumo energético e emissões de $CO_2$ na mineração da argila. Fonte: Relatório Técnico 32 – Perfil da Argila (COELHO, 2009).

| Tipo de Mineração | **Escala de Produção (t/ano)** | **Equipamentos (t/ano)** | **Consumo Energético = Consumo Diesel** | | | | **Emissões** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **litro/ano** | **litro/t argila** | **kcal/t argila** | **tep/t argila** | **kg de $CO_2$/ano** | **kg $CO_2$/t argila** |
| Mina cativa | 8.640 a 28.800 | 1 escavadeira e 1 caminhão | 6.900 a 23.000 | 0.8 | 7,314 | 0,00069 | 19.320 a 64.400 | 2,2 |
| PM Mineração | 120.000 a 240.000 | 1 retroescavadeira, 1 pá carregadeira , 2 caminhões e 1 trator | 48.000 a 96.000 | 0,4 | 3,655 | 0,00034 | 134.400 a 268.000 | 1,1 |

Fatores de conversão utilizados: 1 litro diesel = 9.143 kcal (poder calorífico superior — PCS);

1 litro diesel = 0,0008585 tep; 2,8 kg de emissões de $CO_2$/litro diesel.

* Obs. A estimativa de consumo de diesel considerou um valor médio de produtividade para cada tipo de mineração de argila.

### Processo produtivo

A argila extraída da mina é encaminhada para um período de estocagem em montes, geralmente no próprio local de extração, não inferior a seis meses, chamado de cura. Esse processo de cura tem como objetivo principal a melhoria da plasticidade da argila a ser aplicada na fabricação de tijolos. Nesse período ocorre, ainda, a lavagem dos sais solúveis, decomposição de matéria orgânica e diminuição das tensões causadas pelas quebras das ligações químicas.

A sequência considerada industrial se inicia após a cura da argila, que ocorre no próprio local de extração.

Após a cura, a argila é processada por um equipamento denominado picador, ou amassada com ajuda animal, com utilização de um moinho, e segue ou para outra máquina que efetua o modelamento e corte da argila, ou para um funcionário efetuar manualmente sua moldagem e corte. Nessa etapa normalmente utilizam-se os seguintes equipamentos: moinho, caixa alimentadora, destorroador ou desintegrador, misturador e laminador.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

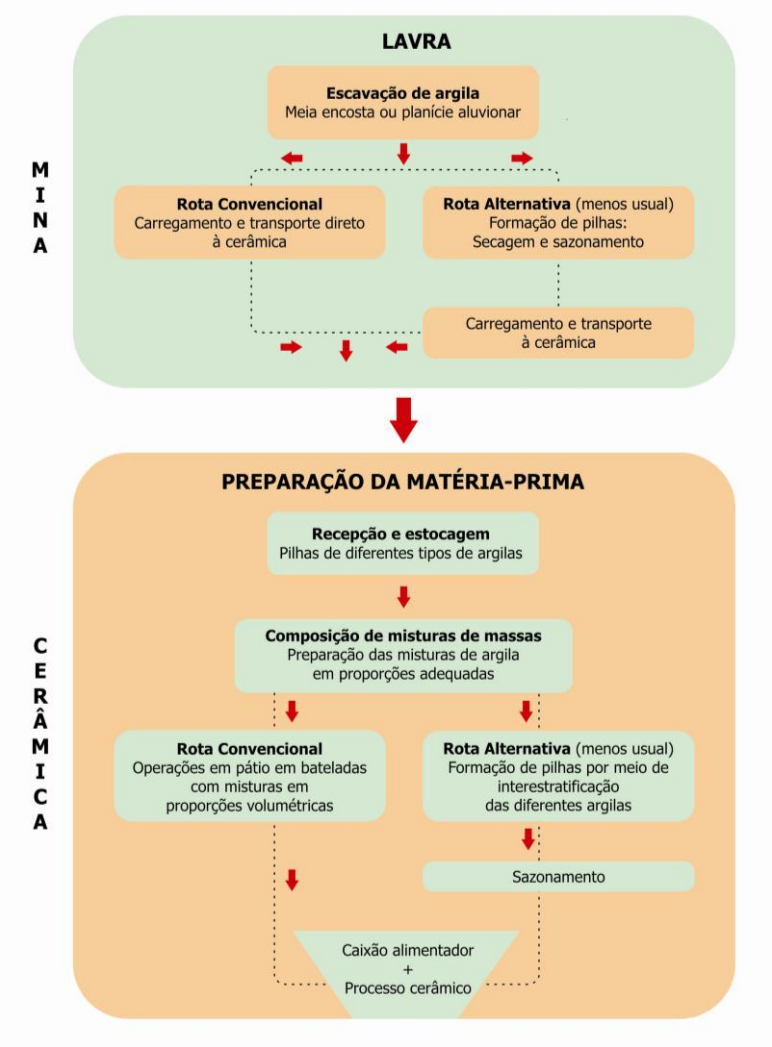


Figura 3.13 – Fluxograma das operações unitárias da produção de matéria prima e preparação de massa cerâmica. Fonte: Adaptado de Relatório Técnico 32 – Perfil da Argila (COELHO, 2009).

O material preparado passa então para a caixa de alimentação, é carregado manualmente à transportadora automática, que o conduzirá até o misturador.

No misturador é controlada a umidade, efetuando-se a mistura das argilas.

Do misturador, a argila desce por gravidade ao laminador, que tem por objetivo reduzir a argila pastosa em lâminas finas além de triturar por esmagamento todas as pedrinhas ou torrões, fazendo-a passar entre dois cilindros de ferro fundido, produzindo uma mistura de argila homogeinizada.

O material laminado é transportado por uma esteira automática até a maromba (máquina de fabricar tijolos), a vácuo, onde calçadores / alimentadores forçam-no a passar através das grelhas, fragmentando-o em pequenas porções nas quais se processa a desaeração, reduzindo-se, ao mínimo, o ar contido ou incluído

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

na massa cerâmica pela ação das misturas e da água agregada.

A argila transportada cai no parafuso de rosca-sem-fim, em que a argila é impelida para frente, passando através da câmara de vácuo e em seguida através dos orifícios da boquilha, que é o molde dos tijolos.

O bloco de argila extrusada (já nas formas), sai da boquilha, corre sobre os rolos da máquina cortadora e é automaticamente cortado em tamanhos pré-fixados, que correspondem ao comprimento dos tijolos e seu respectivo formato.

Os tijolos cortados são classificados, fazendo-se retornar à maromba as peças refugadas. Depois da argila ser moldada, as peças permanecerão para secagem natural por um período médio de 10 dias com tempo bom e aproximadamente 30 dias no caso de tempo frio/úmido. O tempo de secagem pode ser reduzido para aproximadamente 72 horas se for utilizada secagem artificial na caldeira com exaustor. As caldeiras usualmente utilizam como combustível lenha, briquetes, pó de serragem, lixo corporativo, lixo de gráficas ou ainda óleo diesel.

Após secagem, as peças são manualmente transportadas até os fornos e empilhadas a fim de que a queima se processe de forma homogênea em todas as peças.

Após o cozimento as peças deverão descansar até que adquiram a temperatura ambiente, sendo, então encaminhadas para o controle de qualidade e posteriormente para a expedição e consumo.

Tabela 3.2 – Consumo de insumos e emissões. Produção de 1m$^2$ de parede de tijolos. Empresas A e B.
Fonte: SOARES e PEREIRA, 2004 *apud* SOARES *et al,* 2006.

| **Entrada** | | | **Saída** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Insumo | Quantidade/m$^2$ | | Item | Quantidade/m$^2$ | |
| | Empresa A | Empresa B | | Empresa A | Empresa B |
| Argila | 130,26 kg | 129,69 kg | Peças (35,76) – 1 m$^2$ | 93,69 kg | 97,67 kg |
| Água | 0,26 kg | — | Vapor d'água | 53,580 kg | 50,11 kg |
| Serragem | 31,11 kg | 26,23 kg | CO | 0,56 kg | 0,051 kg |
| Óleo diesel | 0,07 l ou 0,06kg | 0,32 l ou 0,27kg | $CO_2$ | 41,880 kg | 21,410 kg |
| Energia elétrica | 0,3 kW | 3,7 kW | $NO_x$ | 0,022 kg | 0,011 kg |
| | | | Cinza do carvão | 0,370 kg | 0,25 kg |
| | | | Perdas (quebra) | 1,190 kg | 1,940 kg |

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

Durante algumas das etapas industriais do processo de fabricação dos tijolos ocorrem consideráveis impactos ambientais, como a emissão de gases ou outros poluentes. A Tabela 3.2 ilustra tais emissões, assim como os consumos energéticos envolvidos nas etapas industriais, a partir de dados de duas empresas do ramo.

O segmento de cerâmica vermelha utiliza como combustível, principalmente a lenha (de reflorestamento e nativa) e resíduos de madeira (cavacos, serragem, entre outros). As principais emissões do processo de queima referem-se aos efluentes gasosos ($CO_2$, $H_2O$) e aos particulados (fuligem/cinzas).

Tabela 3.3 – Consumo de lenha e produção de tijolos em oito olarias do Distrito Federal. Fonte: BARROSO, 2008.

| OLARIAS | CONSUMO DE LENHA (t lenha/ano) | PRODUÇÃO DE TIJOLOS (milheiro tijolos/ano) |
|---|---|---|
| O1 | 720 | 57.600 |
| O2 | 1.728 | 46.080 |
| O3 | 1.080 | 28.800 |
| O4 | 216 | 51.840 |
| O5 | 432 | 31.680 |
| O6 | 288 | 28.800 |
| O7 | 180 | 14.400 |
| O8 | 1.008 | 115.200 |
| TOTAL | 5.652 | 374.400 |

Obs.: O1 a O7 produzem tijolos maciços. O8 produz tijolos com 8 furos.

A interpretação da Tabela 3.3 resulta no consumo médio de 15,096 kg de madeira para produção de 1.000 tijolos cerâmicos.

Com relação à emissão de $CO_2$, a SGM (2008), com base em dados da Anicer fez uma estimativa para esse segmento utilizando como referência o consumo específico de 485 mil kcal/t, obtendo o valor de 185 kg $CO_2$/t de peças (370kg $CO_2$ /mil peças). Salienta-se que o combustível, sendo predominantemente biomassa, a absorção de $CO_2$ pelas plantas pode neutralizar ou superar a emissão *in situ* (COELHO, 2009, p. 13).

As principais fases do ciclo de vida dos produtos cerâmicos estão ilustradas na Figura 3.14, sendo que a fase “fabricação de produtos” engloba importantes processos industriais (SOARES *et al*, 2002).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

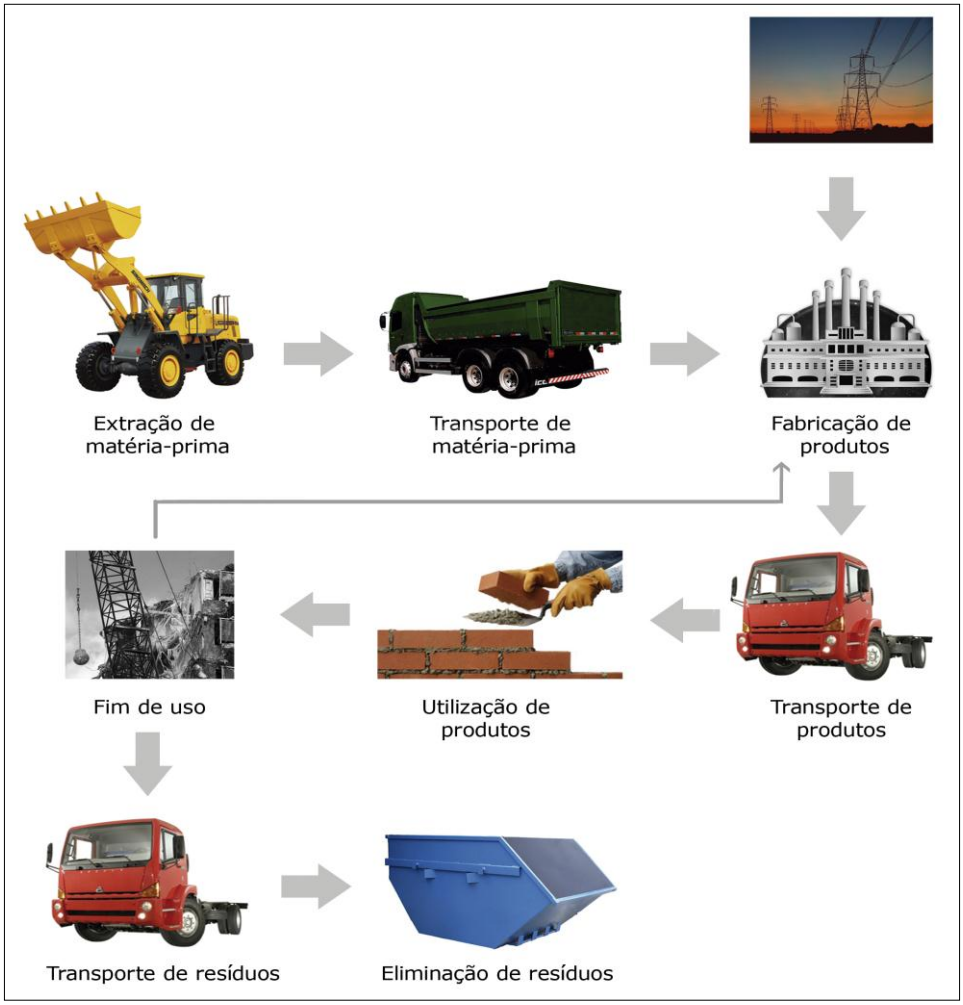


Figura 3.14 – Esquema das fases do ciclo de vida dos principais produtos cerâmicos. Fonte: SOARES *et al*, 2006.

**Extração**

Para extração de argila, normalmente, utiliza-se escavadeira hidráulica. O tempo necessário para extração da argila e carregamento do caminhão, o consumo de combustível da máquina por intervalo de tempo e a capacidade de carga do caminhão foram os fatores considerados para a estimativa do consumo de óleo durante a extração.

**Transporte**

Para o transporte, foram levantados os consumos médios dos principais caminhões transportadores utilizados e as distâncias médias de cada jazida até a fábrica.

O levantamento das emissões de poluentes, devido à queima de diesel, foi realizado com base no consumo total estimado (em litros) e nos dados (valores

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

tabelados) de emissão de poluentes, por litro de combustível queimado.

**Preparação da massa e moagem**

A preparação da massa e sua moagem foram monitoradas a fim de se conhecerem as proporções de água e argila utilizadas. Para tal, foram tomados os dados de massa dos componentes nas cargas do moinho.

**Prensagem e secagem**

O percentual de perdas nas etapas de prensagem e secagem das peças foi determinado por meio de pesagens antes e depois da prensa e do secador. As perdas foram levantadas a partir do acompanhamento da produção de determinado lote de peças, contabilizando-se aquelas que apresentavam defeitos e calculando sua proporção com relação ao total produzido.

**Queima**

Durante o processo de queima dos tijolos foram medidas as quantidades de serragem, bem como medições das emissões atmosféricas. Os parâmetros considerados nas medições foram CO, $CO_2$, $H_2O$, C (fuligem/cinzas) e $NO_x$.

Para as empresas produtoras de tijolos, como não há utilização de aditivos na massa, lavagem de equipamento, nem utilização de embalagem, a geração de resíduos provenientes do processo produtivo é bastante reduzida. Normalmente, as cinzas de serragem, retiradas durante a limpeza dos fornos, o pó de varrição e os cacos de peças quebradas ou moídas (chamote) são utilizados como aterro (SOARES *et al*, 2006).

Os produtos de cerâmica adquirem as propriedades desejadas mediante a aplicação de calor, ou seja, a indústria cerâmica é, por definição, uma indústria que utiliza grandes quantidades de energia, caracterizada pelas altas temperaturas dos fornos e fornalhas. Não apenas uma grande quantidade de energia é consumida durante o seu processo produtivo, como também o custo dessa energia representa um percentual significativo no total dos custos de produção (AGRAFIOTIS; TSOUTSOS, 2001 *apud* MANFREDINI & SATTLER, 2005).

Conforme o Balanço Energético Nacional (EPE ─ Brasil, 2012), para o ano base de 2011, o setor cerâmico foi responsável por um consumo de $3.736x10^3$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

tep[4]/ano, 91,8% mais que o setor de cimento, que consumiu 407x$10^3$ tep/ano. O BEN revela que (o setor de cimento utiliza, predominantemente, fontes derivadas do petróleo e eletricidade, enquanto) no setor cerâmico a principal fonte energética é a lenha.

Tabela 3.4 – Consumo energético na indústria cerâmica. Fonte: BRASIL, 2011.

Setor Industrial – Cerâmica

UNIDADE %

| FONTES | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LENHA | 48,6 | 49,1 | 50,1 | 50,1 | 49,9 | 49,1 | 51,0 | 50,7 | 51,1 | 51,1 |
| GÁS NATURAL | 23,1 | 25,2 | 23,9 | 24,3 | 25,5 | 25,0 | 24,2 | 23,8 | 25,6 | 27,6 |
| ÓLEO COMBUSTÍVEL | 11,4 | 9,2 | 9,2 | 7,8 | 8,1 | 8,1 | 7,7 | 7,8 | 6,6 | 2,7 |
| ELETRICIDADE | 7,8 | 7,8 | 8,2 | 7,9 | 7,8 | 7,4 | 7,2 | 7,3 | 7,2 | 7,3 |
| OUTRAS | 9,1 | 8,7 | 8,7 | 9,8 | 8,7 | 10,4 | 9,8 | 10,4 | 9,5 | 11,3 |
| TOTAL | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

A preservação por meio da adequada restauração das alvenarias compostas de tijolos de barro das construções que serão revitalizadas, se mostra uma prática sustentável, na medida em que se avaliam os processos de produção dos elementos cerâmicos para construção civil e os impactos recorrentes.

### 3.2.2 Características dos elementos metálicos estruturais e de cobertura

A utilização do ferro como aliado no avanço das construções de caráter industrial ocorreu gradativamente por todos os países industrializados, após a Revolução Industrial. Tal ocorrência é observada por Serrano (2010):

> Mais tarde, no século XIX, exploraram-se as potencialidades do ferro na construção, com a chamada arquitectura do ferro. Este material permitiu responder às novas exigências da industrialização, tais como vãos de maior dimensão, a construção em altura e novas tipologias de edifícios como estações, pavilhões, armazéns.

Considerando a alta qualidade das estruturas utilizadas nos edifícios, principalmente nas coberturas de galpões industriais e estruturas complementares como escadas, mezaninos, etc. é coerente observar sua durabilidade e assim avaliar as condições de reaproveitamento por meio de processos de restauração.

Devido à importância dos elementos construtivos constituídos

[4] tep – tonelada equivalente de petróleo; 1 tep = 10.800 Mcal.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

essencialmente de aço nas edificações de caráter industrial, que são o foco desta pesquisa, cabe uma análise mais detalhada dos processos industriais relacionados à sua produção no universo da construção civil.

### Produtos e matérias-primas

A indústria siderúrgica compõe-se de um conjunto de usinas integradas e não-integradas, que produzem produtos laminados e produtores independentes, que produzem unicamente ferro-gusa.

As principais matérias-primas são o minério de ferro, sucatas de ferro e aço, materiais fundentes – calcário e dolomita, carvão mineral, carvão vegetal e coque. O carvão mineral, além de constituir uma importante fonte de matéria-prima do processo produtivo, é a principal fonte energética consumida nas usinas siderúrgicas (ABM, 2009).

Tabela 3.5 – Principais insumos e produtos energéticos e materiais na produção do aço. Fonte: COSTA, 2002.

| **Insumos** | | **Produtos** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Energéticos** | **Materiais** | **Energéticos** | **Emissões** | **Efluentes** | **Resíduos Sólidos** |
| Carvão | Carvão | GAF | $SO_2$ | SS | Escórias |
| Óleo Comb. | Minério de Ferro | GCO | $NO_2$ | Óleos e graxas | Pós |
| Energia Elétrica | Ferro-ligas | GAC | CO | Amônia | Lamas |
| Vapor | Calcáreo | Energia Elétrica | $CO_2$ | Fenóis | Carepas |
| Gás natural | Cal | Vapor | VOC Particulados PM10 | Cianetos | Refratários |
| Oxigênio | Sucata | Alcatrão | $H_2S$ | Metais | Óleos |
| | Água | | HCl/HF | | |
| | | | Metais Organoclorados | | |

GAF ─ Gás de Alto-forno; GCO - Gás de Coqueria; GAC - Gás de Aciaria;
VOCs ─ Compostos Orgânicos Voláteis; SS - Sólidos em Suspensão;
PM10 ─ Particulados com diâmetro menor que 10 microns;
COD ─ Demanda Química de Oxigênio; DBO ─ Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Segundo informações do Instituto Aço Brasil, apresentadas em seu Relatório de Sustentabilidade (2012), as empresas do setor têm controlado, de forma sistemática, o consumo de recursos naturais não renováveis por meio de melhores práticas de ecoeficiência, nas quais se incluem as ações de combate ao desperdício e de aumento da reciclagem de matérias-primas, coprodutos e

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

resíduos. Nesse sentido, o consumo de matérias-primas, em geral, tem-se mantido em níveis estáveis, com variações de pequena escala a mais ou a menos, como demonstra a Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Consumo de matérias-primas na fabricação do aço. Fonte: Relatório de Sustentabilidade. Instituto Aço Brasil. 2012.

| CONSUMO DE MATÉRIAS-PRIMAS DE FONTES EXTERNAS* ($10^3$t) | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|---|---|---|
| CARVÃO MINERAL / ANTRACITO | 13.005 | 13.687 | 13.230 |
| COQUE | – | 1.170 | 1.415 |
| COQUE DE PETRÓLEO | 767 | 1.023 | 1.382 |
| CARVÃO VEGETAL | 1.380 | 1.342 | 1.537 |
| MINÉRIO DE FERRO[1] | 29.856 | 33.589 | 33.689 |
| MINÉRIO MANGANÊS | 223 | 589 | 484 |
| FERRO-GUSA | 2.252 | 2.477 | 2.104 |
| SUCATA DE FERRO E AÇO | 6.142 | 6.780 | 6.933 |
| DOLOMITA CRUA | 1.380 | 1.346 | 1.405 |
| CALCÁRIO CRU | 3.517 | 4.108 | 3.727 |
| CAL CALCÍTICA / DOLOMÍTICA[2] | 1.540 | 1.791 | 1.958 |
| FERROLIGAS | 488 | 509 | 471 |
| TOTAL | 60.550 | 68.411 | 68.336 |

### Processo de produção

Em todo o mundo, duas principais rotas tecnológicas segmentam os processos de produção de aço nas usinas: unidades industriais integradas e unidades industriais semi-integradas. As usinas integradas produzem aço a partir da fabricação de ferro-gusa líquido em seus altos-fornos. O coque é o elemento redutor comumente utilizado na maior parte das usinas. No Brasil, entretanto, parte da produção utiliza o carvão vegetal como redutor. Gera menor emissão de gases do efeito estufa se comparado ao processo tradicional, mas possui limitações técnicas e operacionais que restringem sua aplicação em maior escala de produção. Já as usinas semiintegradas produzem aço a partir da fusão de metálicos (sucata, gusa e/ou ferro-esponja) em aciaria elétrica. Algumas usinas possuem, ainda, um processo híbrido e associam o uso de aciarias elétricas com altos-fornos a carvão vegetal.

Nos altos-fornos se produz gás de alto-forno, que é importante no balanço energético das usinas integradas

Ainda segundo a ABM (2009), o processo de produção do aço pode ser dividido em três etapas principais: redução do minério de ferro, refino do aço e

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

laminação. A etapa denominada redução consiste na transformação do minério de ferro em metal líquido.

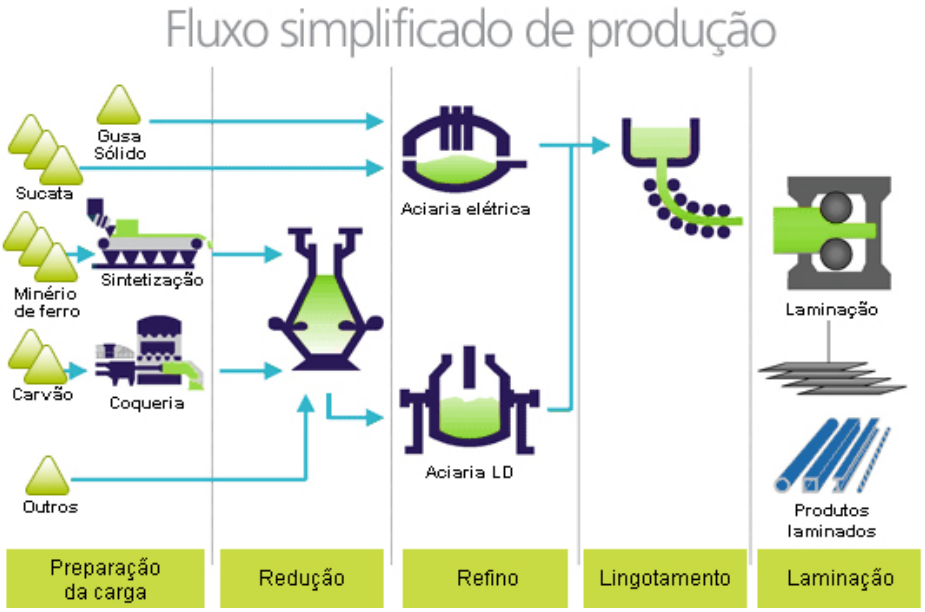


Figura 3.15 – Fluxo simplificado da produção de aço. Fonte: Instituto Aço Brasil (2012). Disponível em <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--etapas.asp>

### Consumos e emissões

Aproximadamente 20 GJ de energia são necessários para produzir uma única tonelada de aço. Portanto, aumento da eficiência na geração, transmissão e uso de energia é um fator crucial na redução de custos na siderurgia.

As indústrias de ferro e aço são responsáveis por 30% da emissão industrial de $CO_2$. Esse setor é, portanto, o alvo principal da legislação para reduzir geração de $CO_2$. A produção de uma tonelada de aço em rotas siderúrgicas em oxigênio/alto forno liberam uma média de 1,8 toneladas de $CO_2$ na atmosfera.

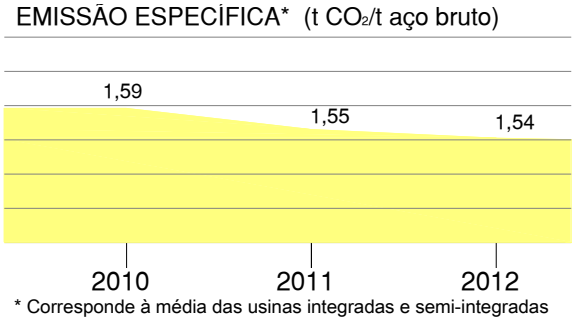


Figura 3.16 – Emissão específica de $CO_2$ na indústria siderúrgica. Fonte: Adaptado de Instituto Aço Brasil. Relatório de Sustentabilidade (2012).

De acordo com a Tabela 3.6, o setor de ferro e aço constitui o principal grupo emissor de $CO_2$, com 45,1% das emissões totais, dado o elevado consumo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

absoluto de energia, tanto de fontes fósseis quanto também de carvão vegetal de desmatamentos. Neste setor, há estimativas que apontam um índice de 50% de uso deste energético como sendo proveniente de matas nativas. Estimativas próprias baseadas na produção de ferro-gusa via carvão vegetal e os valores indicados no Balanço Energético Nacional (MME, 2008) permitem estimar que o uso de carvão vegetal não-renovável possa se situar em 70%.

Tabela 3.7 – Estimativa das emissões de $CO_2$ em 2007 (em mil t $CO_2$). Fonte FBDS (2009).

| | Gás Natural | Carvão Mineral e Derivados | Lenha | Derivados Petroléo | Carvão Vegetal | Total | Participação (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Total Industria | 17.939,9 | 47.714,2 | 11.590,0 | 36.759,0 | 12.815,7 | 126.818,8 | 100,0 |
| Cimento | 39.8 | 534.8 | - | 7.119,8 | 504,8 | 8.179,1 | 6,4 |
| Ferro e Aço | 2.738,7 | 41.233,0 | - | 2.375,2 | 10.857,1 | 57.204,0 | 45,1 |
| Ferro-ligas | 4,7 | 448,7 | 197,8 | 619,9 | 1.400,8 | 2.671,7 | 2,1 |
| Mineração / Pelotização | 633,8 | 2.898,4 | - | 3.469,7 | - | 7.001,9 | 5,5 |
| Não-ferrosos | 1.246,5 | 1.149,3 | - | 5.587,4 | 20,5 | 8.103,7 | 6,4 |
| Química | 5.137,7 | 216,9 | 20,4 | 9.255,4 | 7,7 | 14.658,1 | 11,6 |
| Alimentos e Bebidas | 1.293,3 | 163,1 | 3.804,5 | 1.703,6 | - | 6,964,5 | 5,5 |
| Têxtil | 764,8 | - | 38,4 | 377,6 | - | 1.180,7 | 0,9 |
| Papel e celulose | 1.321,4 | 330,2 | - | 1.662,4 | - | 3.314,0 | 2,6 |
| Cerâmica | 2.235,8 | 170,9 | 6.026,4 | 1.767,6 | - | 10.200,7 | 8,0 |
| Outras indústrias | 2.523,5 | 368,9 | 1.502,6 | 2.720,4 | 25,0 | 7.340,4 | 5,8 |
| Participação (%) | 14,3 | 37,6 | 9,1 | 29,0 | 10,1 | 100,0 | |

### 3.2.3 Estruturas de concreto armado, composição e processos industriais.

#### Histórico

Evidências arqueológicas induzem acreditar que a utilização de matérias-primas minerais como substâncias ligantes em construções remonte à Idade Antiga das Civilizações. Atribui-se aos assírios e babilônios o uso da argila e aos egípcios a combinação das funcionalidades do calcário e do gesso na produção de argamassa com propriedades ligantes mais eficientes.

Ainda que se admitam avanços na Renascença de pesquisas sobre materiais ligantes para construção civil, somente em 1845 logrou-se a produção do cimento moderno tipo Portland, em escala industrial (DNPM, 2009).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

No Brasil, o início da utilização das estruturas em concreto armado data da década de 19. Segundo Vasconcelos (1992 *apud* ANDRADE, 2006), as primeiras estruturas de concreto armado calculadas no Brasil foram de Carlos Euller e de seu auxiliar Mário de Andrade Martins Costa, que projetaram a ponte em arco sobre o rio Maracanã, anterior a 1908.

Com a chegada da empresa alemã Wayss & Freytah no Brasil, em 1910, ocorreu o grande desenvolvimento do concreto armado e de formação de engenheiros brasileiros nessa especialização (ANDRADE, 2006).

A partir de então a utilização de estruturas de concreto armado em edifícios se difundiu, inclusive nas edificações de características industriais e fabris, devido à possibilidade de grandes vãos e estruturas robustas. Do exposto por Kaefer (1998), confirma-se tal informação:

> Especializando-se em construções industriais, Ernest L. Ransome (Estados Unidos), patenteia em 1902 um sistema em que seu piso constituído por vigas T é combinado com colunos de maneira a formar um pórtico de concreto que viria a dominar a construção de fábricas e depósitos.

Após diversos avanços tecnológicos importantes, o concreto composto de cimento Portland é provavelmente o material feito pelo homem mais utilizado mundialmente (JOHN, 2007).

Em dados divulgados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), no Brasil o consumo nacional de cimento foi da ordem de 64.976.312 t em 2011 e a produção foi de 63.219.339 t em 2012, comprovando sua ampla utilização no mercado da construção civil.

### Matéria prima

As matérias-primas para a fabricação do cimento portland, principal componente das estruturas de concreto, são o calcário, a argila e o gesso.

O calcário fornece o óxido de cálcio; a argila fornece a sílica, o óxido de alumínio e o óxido de ferro para a formação dos constituintes mencionados. O gipso (gipsita) é um ingrediente adicionado ao clínquer e moído conjuntamente, tem por finalidade retardar o tempo de pega do cimento (SILVA, 2009).

Uma das principais vantagens do concreto é o fato de possuir matérias primas com custo baixo e encontradas em vários locais de sua aplicação, estando

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

presentes na sua composição os cinco elementos químicos mais abundantes do planeta, que totalizam 89% da massa da crosta terrestre, como mostra a Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre. Fonte VASCONCELOS (1992 *apud* ANDRADE, 2006).

| OXIGÊNIO | SILÍCIO | ALUMÍNIO | FERRO | CÁLCIO | TOTAL (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 46,6 | 25,7 | 8,1 | 5,7 | 3,6 | 89,0 |

Os insumos base-mineral demandados para a fabricação do cimento são: calcário, argila e gipsita (gesso), recursos ambientais considerados relativamente expressivos na crosta terrestre.

Segundo relatório do BIRD (SILVA, 2009), o principal insumo utilizado na indústria do cimento é o calcário, abundante em todo o território nacional. A proporção de produção é de 1,4 t de rochas calcíticas para cada tonelada de cimento produzida. Outros insumos importantes são a argila e cal. No Brasil as reservas de calcário (rochas calcárias) estão localizadas em 23 Estados e no Distrito Federal. De acordo com as informações do DNPM (2009), as reservas em 2007 totalizavam 108 bilhões de toneladas, das quais 56 bilhões de toneladas representam as reservas medidas. A unidade que mais se destacou no contexto, com 24% das reservas nacionais de calcário, foi o Mato Grosso do Sul, seguido por Minas Gerais e Paraná; juntas, as três detêm mais da metade das reservas de calcário de todo o país. Analisando por regiões se tem quase 36% das reservas brasileiras de calcário na Região Sudeste, 27% na Região Centro-Oeste, 17,5% na Região Nordeste, 12% na Região Sul e 7,5% na Região Norte. Conforme informações do DNPM (2009):

> Outros aditivos naturais como bauxitas e minérios de ferro, em pequenos volumes, são necessários para ajustar as quantidades de óxidos exigidos em todo o processo de fabricação do cimento Portland. Estes óxidos de cálcio, sílica, alumínio e ferro, respondem por 95% da composição química do clínquer. Adverte-se, entretanto, para a ocorrência natural de outros minerais associados à massa das rochas carbonatadas ou a eventuais lentes/camadas intercaladas nas jazidas, considerados de elementos indesejáveis, exigindo um planejamento de lavra e beneficiamento mineral seletivos. Neste caso particular do calcário para a fabricação de cimento, os maiores 'vilões' são o enxofre e o óxido de magnésio (MgO). O grande problema do óxido de magnésio reside no fenômeno indesejável do contato com a água no concreto ou argamassa, pois ao se hidratar, transforma-se lentamente em hidróxido de magnésio – $Mg(OH)_2$ – com sérias implicações em decorrência da expansão do volume, gerando tensões internas

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

> suficientes para provocar trincas e fissuras. Normas nacionais e internacionais regulam os teores máximos tolerados na composição dos cimentos. No Brasil o limite máximo é de 6,5% para o teor de óxido de magnésio, com exceção para o tipo CP III – Cimento Portland de alto-forno, que pela presença da escória não tem limite para o MgO.
> ... De uma forma prática, o calcário deve ter elevado teor de $CaCO_3$, baixos teores de sílica, óxidos de ferro e alumínio e, em particular, baixo teor de $MgCO_3$ (3%).
> Pelo ângulo mais conservador de reservas lavráveis (conceito adotado no planejamento de lavra das empresas de mineração) a disponibilidade total de recursos dimensionados fica reduzida a 45,7%, o que significa uma abundância relativa desse recurso ambiental.

### Extração e impactos decorrentes

A atividade de mineração da rocha calcárea é realizada em grandes lavras mecanizadas a céu aberto. As rochas são desmontadas com explosivos e reduzidas para granulometria adequada à sua alimentação nos moinhos de matérias primas da planta de fabricação de cimento (SANTI e SEVÁ FILHO, 2004 *apud* CARVALHO, 2008).

Figura 3.17 – Extração de calcário para indústria de cimento. Foto: Marcelo Almeida. Fonte: Exame.com. Disponível em: http://www.cimento.org. 2013.

No processo de mineração de calcário, que permanece sob exploração por décadas, são formadas grandes crateras, as quais geram grande quantidade de rejeito, que consiste de restos de solo com vários metros, que se acumulam nas depressões dos terrenos das mineradoras. Esses dejetos formam grandes pilhas, soterrando a vegetação nativa das depressões e encostas e assoreando grotas e

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

córregos gerando assoreamento dos mananciais e carreamento de solo pelas chuvas, comprometendo a bacia hidrográfica local (SEMAHR, 2006 *apud* CARVALHO, 2008).

Como ilustrado na figura 3.18, a poeira gerada pela extração de calcário se deposita sobre a vegetação, contribuindo para sua degradação.

A vegetação de grande porte, que forma o que são conhecidas como matas mesofíticas de interflúvio, também denominadas de florestas estacionais, é comumente encontrada sobre solos relativamente ricos em nutrientes e sobre afloramentos de rochas de calcáreo. A maior causa de perturbação dessas matas são o fogo, o desmatamento e a mineração.

Figura 3.18 – Poeira produzida pela extração de calcário na região, cobrindo a vegetação. Colombo, Paraná (2008).
Foto: Rafaelle Mendes. Fonte: <http://www.bemparana.com.br/politicaemdebate/wp-content/uploads/2008/05/00-colombo.jpg>

### Processos industriais, consumos e emissões

A fabricação de cimento é um processo de grande escala, exigindo portanto quantidades consideráveis de recursos naturais, ou seja, matérias-primas, combustíveis térmicos e energia elétrica. É também um processo de uso intensivo de energia. O consumo específico de energia térmica de um forno de cimento varia entre 3000 e 7500 MJ por tonelada de clínquer, em função do projeto básico da planta.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

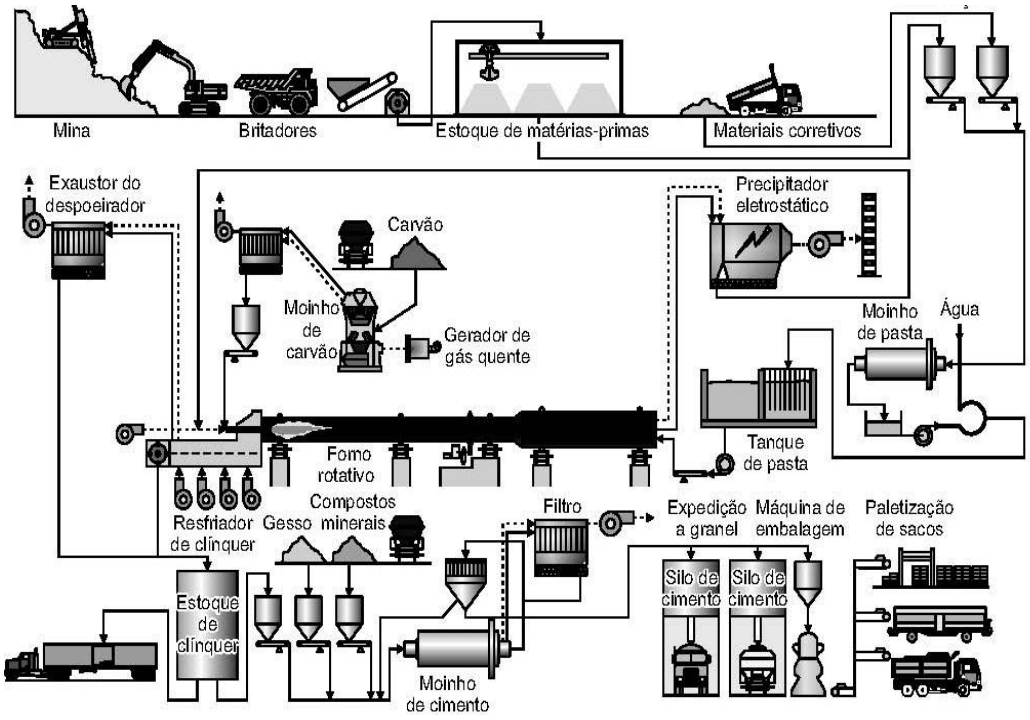


Figura 3.19 – Produção de cimento pelo processo úmido. Fonte:CEMBUREAUS, (1999) *apud* KARSTENSEN, (2006).

A respeito da água, a indústria de concreto é também uma grande consumidora. A demanda de água para mistura de concreto depende da espécie de mistura e do uso de aditivos plastificantes. Uma indústria de concreto também possui consumo de água relativamente grande para lavagem do misturador, esteiras transportadoras, cofragem, caminhões e equipamentos de laboratório. Entretanto, desde meados de 1990 tornou-se bem conhecida e aplicada em plantas de processamento uma tecnologia de reciclagem de água, que retorna para o sistema de lavagem ou para o sistema misturador.

Figura 3.20 – Indústria de cimento. Fonte: FBDS (2009).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

Os grandes consumidores de energia elétrica na fabricação de cimento são os moinhos (moinhos de cimento, de matérias-primas, de carvão) e os grandes ventiladores (predominantemente do sistema do forno e dos moinhos de cimento). O consumo específico de energia elétrica varia normalmente entre 90 e 130 kWh por tonelada de cimento (KARSTENSEN, 2006).

Tabela 3.9 – Consumo energético na fabricação do cimento. Fonte: o próprio autor.

| RELAÇÃO DE EQUIVALÊNCIA NA PRODUÇÃO | | | | EXTRAÇÃO | FASE INDUSTRIAL | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **CONSUMO ENERGÉTICO** | | |
| CALCÁRIO | CLÍNQUER | CIMENTO | **CONCRETO** | ELÉTRICO | ELÉTRICO | TÉRMICO |
| 1,722 t | 1 t | 1,23 t | | | | 3,50 GJ |
| 1,4 t | 813 kg | 1 t | 3,33 $m^3$ | 0,1 kwh | 111 kwh | 2,85 GJ |
| 840 kg | 244 kg | 300 kg | **1 $m^3$** | 0,03 kwh | 33,33 kwh | 0,8428 GJ |
| 3,44 kg | 1 kg | | | | | 825 al |

## Vida útil das estruturas de concreto

Dados do *Bulletin* 67 (FIB, 2012) destacam alguns importantes aspectos sobre a vida útil das estruturas de concreto como, por exemplo, o seu tempo de vida útil, a seguir:

"Considerando que o tempo de vida útil de uma estrutura de concreto é normalmente 50-100 anos, é certo que grande número de diferentes pessoas irá lidar com a mesma durante as várias fases do ciclo de vida. Além das fases de projeto e construção, nota-se:

Fase de operação e uso da estrutura – durante a vida útil de uma estrutura o proprietário do prédio e o usuário final são responsáveis pela operação e manutenção. Se o projeto inicial foi bem sucedido, a construção irá funcionar por décadas sem necessidade de maiores reparos e alterações. A escala temporal é de décadas.

Fase de manutenção – a maior parte dos prédios e estruturas necessita de manutenção e modificações após cerca de 30 anos, devido a mudanças em sua utilização ou alterações na legislação e demanda de desempenho. Tais mudanças geralmente não são possíveis de se prever durante a fase de projeto. Entretanto, a fase de projeto é importante para se obter níveis de baixa manutenção e soluções duráveis. Envolve a própria escolha de materiais e detalhes de desenho e também a própria execução do projeto. A escala temporal é de décadas."

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

Ainda segundo dados do *Bulletin* 67 da FIB (2012), a unidade funcional de uma construção é definida pelos serviços e qualidades que apresenta. A unidade funcional para uma casa pode ser descrita pelo tamanho ($m^2$), durabilidade (em anos), necessidade de manutenção, arquitetura e materiais utilizados.

A Tabela 3.10 ilustra os impactos ambientais mais representativos, relacionados à construção de prédios e demais estruturas. (KARSTENSEN, 2006)

Tabela 3.10 – Lista das questões mais importantes relacionadas à sustentabilidade. Fonte: *Bulletin* 67. FIB (2012). Tradução nossa.

<table>
<tr><th rowspan="2">FASES DO CICLO DE VIDA</th><th>PRODUÇÃO</th><th>FASE DE SERVIÇO</th><th>FASE SECUNDÁRIA</th></tr>
<tr><td>Matérias primas e energia incorporada</td><td>Operação e manutenção</td><td>Demolição Reciclagem</td></tr>
<tr><td rowspan="2"><u>Edifícios</u></td><td rowspan="3">.CO2 incorporado (aquecimento global e efeito estufa<br><br>.Transporte de materiais de construção e matérias primas<br><br>.Uso cuidadoso de matérias primas<br><br>.Geração de resíduos (fluxos de materiais)<br><br>.Substâncias nocivas</td><td>. Desempenho energético para aquecimento, resfriamento, ventilação<br><br>. Climatização interior</td><td rowspan="3">. Seleção e reciclagem<br><br>. Compostagem<br><br>.Reciclar na fonte e evitar transporte<br><br>. Substâncias nocivas em resíduos de construção e demolição e lixiviação<br><br>.Captação de $CO_2$ antes do esmagamento</td></tr>
<tr><td><u>Estruturas civis</u></td><td>. Captação de $CO_2$<br><br>. Boa durabilidade e baixa manutenção<br><br>. Estruturas robustas<br><br>. Captação de $CO_2$</td></tr>
</table>

### Emissões e questões ambientais

Um entendimento consolidado é que a maior parte dos aspectos ambientais relativos ao concreto pode ser considerada em uma das categorias a seguir: recursos naturais, consumo de energia/efeito estufa, efeitos ambientais, saúde e segurança.

Todos os materiais brutos são facilmente acessíveis em quantidades

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

excedentes, embora em algumas regiões areia e brita estejam se esgotando. Uma exceção é a aplicação de reforço em aço inoxidável, que requer recursos escassos, como, por exemplo, cromo, níquel e molibdênio. O efeito estufa consequente do consumo energético é uma questão de muita atenção. Uma fonte primária de consumo de energia é a produção de clínquer e reforço metálico. Além do mais, recursos energéticos também são consumidos na construção, demolição e reciclagem de prédios e estruturas.

Emissões gasosas do sistema de queima liberadas para a atmosfera são a principal preocupação ambiental na fabricação de cimento nos dias atuais. As principais emissões gasosas são NOx e $SO_2$. Outras emissões de menor importância são os VOCs (compostos orgânicos voláteis), CO, amônia e metais pesados. O $CO_2$, o principal gás causador do efeito estufa, é liberado em quantidades consideráveis.

Outras emissões gasosas, como ácido clorídrico ou ácido fluorídrico, são quase totalmente capturadas pelo inerente e eficiente efeito de depuração alcalina do forno de cimento.

As questões ambientais mais significativas são relacionadas ao efeito estufa e especialmente às emissões de $CO_2$. Outros indicadores, como $N_2O$ e metano também contribuem para o efeito estufa, porém, em menor extensão.

Tabela 3.11 – Emissões mais significativas na fabricação do cimento. Fonte: o próprio autor. Adaptado de MCT, (2010).

| RELAÇÃO DE EQUIVALÊNCIA NA PRODUÇÃO | | | FASE INDUSTRIAL | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | **PRODUÇÃO DE** | **EMISSÕES DE GASES** | |
| CALCÁRIO | CLÍNQUER | CIMENTO | **CONCRETO** | $CO_2$ | $NO_X$ |
| 1,722 t | 1 t | 1,23 t | 4,09 $m^3$ | 545 Kg | |
| 1,4 t | 780 kg | 1 t | 3,33 $m^3$ | 371 kg | 1,2 g |
| 840 kg | 244 kg | 300 kg | **1 $m^3$** | 111,11 kg | 0,36 g |
| 3,44 kg | 1 kg | | | 550 g | 1,2 mg |

Em segundo plano destaca-se que a produção de concreto está, por definição, associada a certo nível de ruído e poeira. Tais questões são tipicamente controladas pelas autoridades na localidade da produção e existem várias maneiras de minimizá-las.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

### Término da fase de serviço, demolições e geração de RCD

Quando uma estrutura atinge seu término de vida útil, ela eventualmente será demolida. A produção anual de resíduo de construção e demolição na Europa é por volta de 180 milhões de toneladas, com expectativa de crescimento significativo (ECOserve 2006). Resíduos de construção e demolição (RCD) são altamente recicláveis e devem ser separados, no mínimo, nas seguintes divisões:

− materiais duros e pedras, como concreto, pedras naturais, tijolos, azulejos, etc.

− escória metálica a ser reciclada de volta na produção de materiais;

− materiais leves para combustão, madeira, plástico, papel;

− substâncias nocivas que devem ser descartadas de forma controlada.

A indústria de materiais de construção é responsável por uma gama de impactos negativos. A indústria cimentícia no Brasil, por exemplo, é responsável pela geração de mais de 6% do total de $CO_2$ gerado no país (JOHN, 2000 *apud* KARPINSK, 2009).

Os RCD provenientes de materiais de concreto são facilmente recicláveis em construções, devendo ser triturados em frações adequadas e utilizados como repositores de agregados naturais. Entretanto, o processo de demolição requer energia e conduz a emissões de $CO_2$. Portanto, a reciclagem de concreto triturado é mais vantajosa onde a distância entre o local de demolição e o de nova aplicação é limitado, o que é mais comum acerca de grandes cidades, onde construções e demolições ocorrem em larga escala. Ainda assim, até agora, a principal aplicação de concreto triturado tem sido para fins de obras do tipo sub-base de estradas, no lugar de agregados naturais.

Ainda segundo o *Bulletin* 76 (FIB, 2012), todo concreto que está exposto à atmosfera absorve $CO_2$, como resultado do processo contínuo de carbonatação (PADE e GUIMARÃES, 2007). Durante o tempo de vida útil de uma estrutura de concreto o processo de carbonatação é geralmente indesejável, já que possibilita a alcalinidade da camada de recobrimento e aumenta o risco de corrosão da armação. Portanto, é importante incluir a reabsorção de $CO_2$ durante o processo de carbonatação. Pode-se argumentar que o lapso de tempo entre a liberação de $CO_2$ pela calcinação e a reabsorção de $CO_2$ é muito grande para tornar plausível qualquer mecanismo que o considere. Porém, o mesmo argumento pode ser usado com madeira de construção e madeira nativa, onde a absorção e emissão de $CO_2$ é

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA

inversamente comparada com o cimento.

Tipicamente o montante de $CO_2$ reabsorvido durante a fase de serviço de uma estrutura é relativamente baixo. Isto se deve ao fato de que apenas a superfície da estrutura está em contato com a atmosfera e não o miolo do material. O nível de carbonatação depende da qualidade do concreto, da combinação entre o material cimentício e o meio ambiente. Entretanto, quando uma estrutura é demolida e reduzida em frações de pedra e areia, a superfície específica do concerto se multiplica de forma significativa e o mesmo ocorre com o nível de carbonatação. Durante o processo de trituração, o material mais fraco se desprende do agregado original, produzindo um material fino, que consiste de pasta de cimento e areia fina. Estes materiais finos possuem superfícies específicas muito grandes e são capazes de reabsorver $CO_2$ de forma eficiente.

Lagerlab (2005 *apud* FIB ― *Bulletin* 76, 2012) afirma que a calcinação de 1 kg de clínquer de cimento representa 550g de emissão de $CO_2$, o que é mais da metade das emissões totais associadas à produção de clínquer de cimento.

Quando uma estrutura de concreto é demolida ao final de sua vida útil, ocorre consumo de energia e emissão de $CO_2$. Estimativas da *Japan Society of Civil Engineers* (2006) consideram que o processo de demolição seja responsável pela emissão de 10 a 25 kg de $CO_2$ por $m^3$ de concreto, dependendo da armação, do tipo de estrutura e das condições de trabalho no sítio de demolição, em geral. Esses números incluem separação grossa e empilhamento do material *in loco*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1113891/CA