



São Paulo - Brazil - May - 22<sup>nd</sup> to 24<sup>th</sup> - 2013

# R4<sup>th</sup>ort

## INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

## Cura Térmica Utilizando Aquecimento Solar e Aspersão de Água

OESTREICH, A. M. E.<sup>a,\*</sup>, COSTA, C. L. P.<sup>b</sup>, DURAN, A. P. F. P.<sup>c</sup>

*a. Centro de Tecnologia SENAI Ambiental, Rio de Janeiro*

*b. Centro de Tecnologia SENAI Ambiental, Rio de Janeiro*

*c. Centro de Tecnologia SENAI Ambiental, Rio de Janeiro*

*\*Ana Maria Evangelho Oestreich, aoestreich@firjan.org.br*

### Resumo

O Centro de Tecnologia SENAI Ambiental desenvolveu um Programa de Produção mais Limpa em empresas do segmento de blocos de concreto no estado do Rio de Janeiro, seguindo a metodologia difundida pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONUDI), no final de 2011 a início de 2012. O diagnóstico de Produção mais Limpa identificou-se a oportunidade de melhorar a produtividade das fábricas alterando a tecnologia de cura utilizada pela maioria das empresas.

Usualmente as empresas costumam realizá-la em câmaras fechadas a seco e em temperatura ambiente. Neste trabalho estudou-se a possibilidade da alteração deste processo para a opção de cura térmica em ambiente úmido, por ser este um método de referência. Como projeto de Produção mais Limpa, propôs-se o reaproveitamento da água da chuva, com seu aquecimento por painéis solares.

O estudo incluiu uma avaliação da factibilidade técnica e econômica para manter a água a 60°C e a temperatura de 50°C no ambiente interno da câmara. Nos dias de baixa insolação, pode-se utilizar aquecimento auxiliar a gás natural. A alternativa proposta pode dobrar a produtividade da empresa, mantendo altos padrões de qualidade em um processo mais sustentável que o convencional que utiliza água de rede e aquecimento a base de combustível fóssil ou eletricidade.

**Palavras-chave:** Cura do Concreto, Aquecimento Solar, Produtividade.

### 1. Introdução

O CTS Ambiental – SENAI/FIRJAN é parte integrante e ponto focal da Rede SENAI de Meio Ambiente para Produção mais Limpa. Desde 2001 implementa a metodologia proposta pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONUDI) em clientes industriais, instituições de pesquisa, mega empreendimentos e empresas de serviços, obtendo reduções no consumo de água, de energia e materiais que implicam nas reduções de geração de resíduos, efluentes e emissões.

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

São Paulo – Brazil – May 22<sup>nd</sup> to 24<sup>th</sup> - 2013

Em uma parceria entre a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP e a REDETEC – Rede de Tecnologia e Inovação e o Centro de Tecnologia SENAI Ambiental desenvolveu-se um Programa de Produção mais Limpa em 07 empresas produtoras de blocos e artefatos de concreto no estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de melhorar seus índices de sustentabilidade, mantendo um alto padrão de qualidade de produto a preços competitivos.

Uma das opções de Produção mais Limpa estudadas foi a substituição do processo convencional de cura dos blocos a seco e a temperatura ambiente, pela cura térmica em ambiente de alta umidade. Como alternativa de sustentabilidade para esta tecnologia de cura optou-se pelo emprego da água de chuva e o seu aquecimento utilizando principalmente energia solar.

Os painéis solares se destacam por ser uma energia limpa e renovável se comparado com os combustíveis fósseis, gás natural ou energia elétrica. O aquecimento solar evita grande parte das emissões de gases geradores de efeito estufa, além de reduzir os custos operacionais.

Este documento apresenta o estudo realizado em uma empresa integrante do grupo produtor de blocos de concreto, o qual tem uma produção aproximada de 7 milhões de blocos ao ano, com base no seu produto de maior venda, isto é, o bloco de largura de 9 cm (bloco de 9).

## **2. Materiais e Métodos**

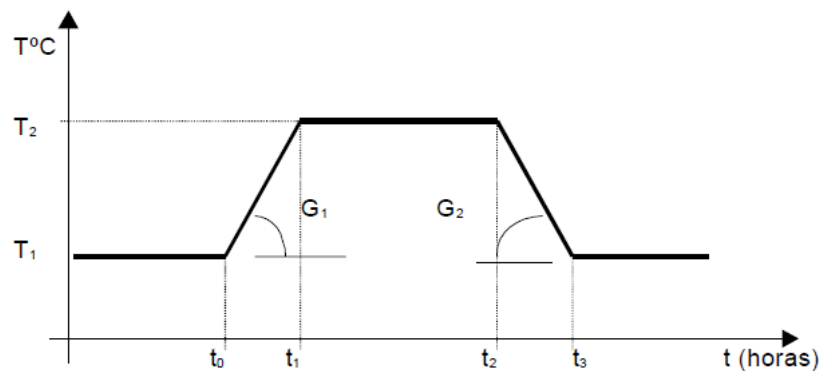
### *2.1 Cura térmica*

De acordo a Salvador Filho em sua dissertação “Cura Térmica dos Concretos de Alto Desempenho, Análise das Propriedades Mecânicas utilizando o Método da Maturidade” (UNESP, 2001), a obtenção das propriedades esperadas para o concreto deve ser garantida pela cura realizada em ambiente apropriado durante as primeiras fases do endurecimento. Neste período, a hidratação do cimento, em condições controladas de temperatura e umidade, permite que os espaços entre a pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, sejam preenchidos pelos produtos da hidratação do cimento até uma condição desejável.

A cura térmica, isto é, a elevação da temperatura e umidade dos blocos, é utilizada para reduzir o chamado “tempo morto” da pré-fabricação.

Estudos de cura a temperaturas acima de 60°C (CAMARINI, 1995) mostraram uma redução da resistência final. Um bom equilíbrio se obtém em um período de isoterma de 6h. Camarini aponta também que o gradiente do aquecimento não deve passar de 20°C/h para evitar microfissuras no material.

Os ciclos de cura térmica são aplicados de acordo com o esquema disposto na Fig. 1.



Onde:

$t_0$  – Período de espera;

$t_1$  – Período de aquecimento;

$t_2$  – Período de manutenção da temperatura;

$t_3$  – Período de resfriamento;

$T_1$  – Temperatura ambiente (°C);

$T_2$  – Temperatura máxima atingida no ciclo (°C);

$G_1$  – Gradiente de aquecimento (°C/h);

$G_2$  – Gradiente de resfriamento (°C/h).

**Fig.1** – Ciclo de Cura (Fonte: CAMARINI & CINCOTTO, 1995)

Neste procedimento, deve-se considerar o perigo da evaporação de parte da água necessária à hidratação do cimento, a qual pode provocar microfissuração. Este fato, quando não devidamente equacionado pode tornar o processo ineficaz, não se atingindo o objetivo de garantia de qualidade do produto. De acordo com Camarini, os blocos obtêm melhor qualidade e resistência se curados em um ambiente de alta umidade (100% de umidade relativa do ar), a uma temperatura superior 40 °C.

## 2.2 Ambiente proposto para cura térmica

Considerando as recomendações da bibliografia de referência, o estudo de Produção mais Limpa adotou a temperatura de 50°C para ser utilizada na câmara de cura, por ser suficiente para obter os benefícios esperados e consistir em um valor facilmente alcançável com energia solar.

Em épocas de alta demanda será fácil aumentar a temperatura, acelerando o processo de cura através do complemento com outras formas de aquecimento. A duração do ciclo pode ser adaptado pelo fabricante, já que tem pouco impacto sobre a energia consumida. O ambiente de alta umidade é obtido por um sistema de aspersão por névoa.

## 2.3 Sistema de aquecimento solar proposto para a empresa

O sistema proposto considerou as condições de insolação e temperaturas da região. Para o estabelecimento do número de dias de insolação, temperaturas do ar e a energia potencial fornecida anualmente, utilizou-se o RetScreen, software internacional utilizado para análise de projetos de energia limpa. (NATURAL RESOURCES CANADA, 2013)

Para efeitos de cálculo de dimensionamento da quantidade necessária de coletores e do tamanho de boiler, consideraram-se duas câmaras existentes cheias com o produto de maior venda da empresa. O memorial de cálculo foi o seguinte:

- Dimensões do bloco: 09x19x39
- Peso do bloco verde: 7,9 kg
- Peso do bloco curado: 8,18 kg
- Quantidade de câmaras para o estudo de caso:1
- Medidas da câmara: 18 m (comprimento) x 1,185m (largura interna) x 7,3 m (altura)
- Quantidade máxima de blocos por câmara: 3.300 unidades
- Custo GLP (kg) = R\$3,14

Os cálculos deste estudo de caso foram realizados para uma câmara de cura, considerando-se 30°C como a temperatura inicial do processo para a reação química do concreto, e 60°C como a temperatura final a ser atingida no aquecimento. Também foram consideradas as perdas de calor para o ambiente. Desta forma o sistema foi dimensionado para atingir a temperatura de 50°C no ambiente interno da câmara durante o ciclo.

Com este precedente, para aquecer 3.300 blocos de 9 em uma câmara, até uma temperatura de 60°C e manter sua temperatura a 50 °C no ambiente interno da câmara, serão necessários 33 coletores solares de 1 m<sup>2</sup>. O coletor solar utilizado no estudo foi o do tipo vitrificado Classe A.

A demanda de água utilizada no aquecimento e dispersão no ambiente interno é de 3.270 litros por ciclo, com temperatura mantida mediante o emprego de reservatório térmico. Para os dias com insolação insuficiente para aquecer a água a uma temperatura mínima de 40°C, ou de altíssima demanda, previu-se a instalação de um aquecedor a gás para complementar o aquecimento ou para aumentar a 50°C a temperatura nas câmaras e acelerar ainda mais o processo de cura.

Para controlar o gradiente de temperatura conforme proposto pela Fig. 1 contemplou-se a instalação de um controle diferencial de temperatura mantendo-se o estágio de isoterminia.

#### 2.4 Sistema de aspersão

O sistema de aspersão consiste na utilização de climatizadores com sistema de aspersão por névoa, de forma a manter a água em pequenas gotículas distribuídas dentro da câmara. O processo de evaporação da água inicialmente resfria o ambiente, já que a transição de fase da água absorve calor. A partir do momento que o ar dentro da câmara estiver saturado, ocorre condensação do vapor nas superfícies, devolvendo o calor latente do vapor ao ambiente. Desta forma obtém-se aquecimento e umedecimento ao mesmo tempo.

#### 2.5 Sistema de isolamento

As paredes existentes nas câmaras de cura da empresa podem provocar uma perda de calor de até 100% do calor fornecido. Com o objetivo de reduzir estas perdas, consideraram-se dois tipos de isolamento:

- Emprego de material isolante nas paredes: lâ de vidro ou de rocha – redução de perda de calor para 6%
- Construção de uma parede interna com blocos produzidos pela própria empresa, de forma a obter 0,38m de espessura na parede interna.

Escolheu-se o emprego de lã de vidro como material isolante nas paredes internas da câmara por ser a opção com melhor redução de perdas e manutenção do espaço interno. O sistema de portas, no entanto, deve incluir material isolante, tal como polietileno ou poliuretano, fixado por canaletas ou rebites nas bordas das paredes frontais, de forma a impedir a entrada de ar frio no interior da câmara ou a perda de calor interno da unidade.

### 3. Resultados

O sistema proposto significa uma inovação tecnológica no processo em relação à situação inicial caracterizada na empresa, acelerando a cura dos blocos de concreto. Portanto, pode ser considerado como um investimento para melhoria da qualidade e aumentada produtividade, caso se espere um aumento da demanda por blocos de qualidade. Assim, existem duas hipóteses independentes para viabilizar a implantação do projeto:

- Aumento da demanda por blocos de qualidade (certificados);
- Retorno do investimento na cura de blocos, comparando o aquecimento solar com outro processo, como por exemplo, com gás.

Considerando o aumento na demanda e a demanda por blocos de qualidade, as empresas do setor caminham para um selo de qualidade. Desta maneira, este estudo de viabilidade pode ser um instrumento para tomada de decisão quanto à implantação de blocos preparados por cura a quente em ambiente úmido. Alguns dos impactos positivos para o empresário são:

- Redução do prazo de entrega, aumentando a fidelidade dos clientes;
- Redução do espaço físico necessário para a cura do produto;
- Aumento da produtividade da empresa, devido à redução de espaço de cura e o tempo de processo;
- Melhora no fluxo de caixa por causa da redução do tempo de produção;
- Aprimoramento da qualidade do produto devido ao processo controlado e reprodutível.

Foram analisados os custos de investimento na estrutura de aquecimento solar e a gás e os custos operacionais do novo processo, considerando um tempo de vida útil de 20 anos. Os custos de investimento se encontram no

Quadro **1**, considerando os custos médios praticados no mercado. (Solarize Serviços em Tecnologia Ambiental, 2012)

**Quadro 1** – Custos de investimentos (aquecimento solar e complementação à gás)

Item	Custo Total (R\$)
Sistema Solar e Reservatório	R\$ 39.240,00
Sistema de dispersão, tubulações, bomba e automação	R\$ 10.000,00
Isolamento com lã de vidro	R\$ 2.000,00
Aquecedor a gás (opcional)	R\$ 5.000,00
<b>Custo total do investimento</b>	<b>R\$ 56.240,00</b>

A Tabela 1 apresenta um estudo comparativo entre uma situação hipotética de utilização de aquecimento a gás como referência em relação a proposta de aquecimento solar. O GLP foi o gás utilizado nos cálculos por ser o atualmente utilizado na empresa. Vale ressaltar que os custos poderão ser reduzidos caso a empresa escolha o gás natural.

**Tabela 1** – Aquecimento a gás (sem isolamento térmico) x Aquecimento solar (com isolamento térmico com complementação à gás)

<b>Custo da Modificação</b>	
Sistema de aquecimento solar total	R\$ 56.240,00
Total	<b>R\$ 56.240,00</b>
<b>Custo operacional anual antes da PmaisL</b>	
Consumo de Gás	R\$ 19.244,00
Consumo de água	-
Custos de manutenção	R\$ 450,00
Total	<b>R\$ 19.694,00</b>
<b>Custo operacional anual depois da PmaisL</b>	
Consumo de Gás	R\$ 3.581,00
Consumo de água	-
Custo de manutenção	R\$ 1.687,00
Total	<b>R\$ 5.268,00</b>
<b>Benefício econômico</b>	
Redução dos custos operacionais	R\$ 14.426,00
<b>Benefício ambiental</b>	
Redução de emissão de CO <sub>2</sub>	

O custo para a utilização de um sistema apenas com o aquecimento a gás é apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2 - Avaliação financeira do investimento (aquecimento a gás)**

<b>Aquecimento a gás (sem isolamento térmico)</b>		
Depreciação [anos]		4
Custo do investimento [R\$]		15.000
Custo anual com GN [R\$]		19.244
Custo anual com água [R\$]		-
Custo anual manutenção [R\$]		450
Custo anual O & M (operação e manutenção) [R\$]		19.694
Custo anual total durante depreciação (invest.+ O&M) [R\$]		23.444
Custo por bloco durante depreciação [R\$]		0,030
Custo por bloco durante vida útil [R\$]		0,026

O custo anual total durante depreciação (investimento + O&M) é obtido através da fórmula1:

$$\text{Investimento [R$]} / (\text{depreciação [anos]} + \text{custo anual O\&M [R$]}) \quad (1)$$

O custo de O&M (operação e manutenção) é o somatório dos custos com energia (gás natural, água, energia elétrica) e manutenção do sistema. Para avaliar o impacto do investimento no preço final dos blocos, foi realizado um estudo cujos resultados se apresentam no Quadro 3 a seguir.

**Quadro 3 - Avaliação financeira do investimento (aquecimento solar + gás)**

<b>Aquecimento solar + gás (com isolamento térmico)</b>		
Depreciação [anos]		4
Custo do investimento [R\$]		56.240
Custo anual com GN [R\$]		3.581
Custo anual com água [R\$]		-
Custo anual manutenção [R\$]		1.687
Custo anual O & M (operação e manutenção) [R\$]		5.268
Custo anual total durante depreciação (invest.+ O&M) [R\$]		19.328
Custo por bloco durante depreciação [R\$]		0,024
Custo por bloco durante vida útil [R\$]		0,010

Desta forma, conclui-se que, quando correlacionado à quantidade de blocos produzidos, o investimento apresenta um custo de R\$0,024 durante depreciação (4 anos) e R\$0,010 durante vida útil do sistema.



Considerando os padrões de produtividade e qualidade de produto proporcionados pela cura térmica, o emprego de aquecimento solar para manter as condições de temperatura e umidade adequadas apresenta a vantagem de não gerar emissões de CO<sub>2</sub>, se comparado com o gás ou aquecimento por resistência elétrica

## 4. Conclusão

Esta opção é uma inovação com relação ao processo atual da empresa, que apresenta benefícios ambientais, econômicos, na qualidade do produto e na produtividade da empresa.

### 4.1 Benefícios ambientais

O sistema solar é uma fonte de energia renovável e viável economicamente. Ela pode substituir a inconveniente sobrecarga no sistema elétrico nos horários de picos de demanda elétrica e, conseqüentemente, redução de investimentos em geração de energia de outras fontes não renováveis comprovado no indicador ambiental da Tabela 2.

Em comparação à outras formas de energia que possibilitariam o aquecimento de água, a solar destaca-se por ser uma energia limpa e renovável, demonstrando o comprometimento com o meio ambiente e promovendo a sustentabilidade da empresa, por meio da inovação tecnológica. Outro benefício relevante no uso do aquecimento solar é a percepção do mercado quanto aos aspectos ambientais sustentando uma futura certificação de qualidade da empresa.

**Tabela 2** – Indicador ambiental relacionado ao consumo de gás

Indicadores	Antes da implantação do estudo de caso		Após a implantação do estudo de caso	
	Índice	Unidade	Índice	Unidade
Consumo de GN	6.129	Kg/ano	1.140*	kg/ano

### 4.2 Benefícios econômicos

Considerando que a West Bloco fabrica 7.200.000 blocos de concreto (de todos os tipos) no ano e que o preço unitário é de R\$2,15, de acordo com informações da empresa. A empresa fatura no ano na ordem de R\$ 15.480.000 e seu ciclo atual de cura é de 24h dentro da câmara. Considerando 240 dias úteis no ano, o faturamento por dia útil é igual a R\$ 64.500. Para um ciclo de 24h o faturamento por hora é de R\$2.687. Com a redução para 6h de ciclo na cura térmica o faturamento pode ser 4 vezes maior para um turno de trabalho de 24h ou 2 vezes maior para um turno de trabalho de 12h.

Os indicadores econômicos serão definidos assumindo uma hipótese de duplicação da produção. Estes valores podem ser melhorados, caso a empresa utilize a câmara cheia mais que duas vezes ao dia.

### 4.3 Outros benefícios

O sistema proposto permite a aceleração da cura dos blocos de concreto. Alguns dos impactos positivos para o empresário são:

- Redução do prazo de entrega, aumentando a fidelização de clientes;
- Redução do espaço físico necessário para a cura do produto, permitindo aumentar a produção no mesmo espaço;
- Melhora no fluxo de caixa por causa da redução do tempo de produção;
- Aprimoramento da qualidade do produto devido ao processo controlado e reprodutível;

## 5. Referências

Stamford da Silva, A., Campello de Souza, F. Viabilidade Econômica da Energia Solar. [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998\\_ART113.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART113.pdf) Acessado em Março/2012

Santanta, L. L., Costa, F. N.. Análise da Resistência à Compressão de Concretos com Cura Úmida e sem Cura. [http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3\\_0033.pdf](http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3_0033.pdf) Acessado em Fevereiro/2012

Camarini, G., Cincotto, M. A.. 1995 Efeito da Cura Térmica na Resistência de Argamassas de Cimento Portland Comum e de Alto-Forno. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. [http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs\\_Petreche/BT156-%20Camarini.pdf](http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT156-%20Camarini.pdf) . Acessado em Fevereiro/2012

Salvador Filho, J. A. A. 2001 Cura Térmica dos Concretos de Alto Desempenho: Análise das Propriedades Mecânicas Utilizando o Método da Maturidade. Ilha Solteira. p. 91. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. São Paulo.

Soletrol, Aquecedores Solares de Água. Acessado em: <http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php> em 13 de abr de 2012.

Natural Resources Canada.RetScreen International.Disponível em: <http://www.retscreen.net/pt/home.php> Acessado em Janeiro/2012