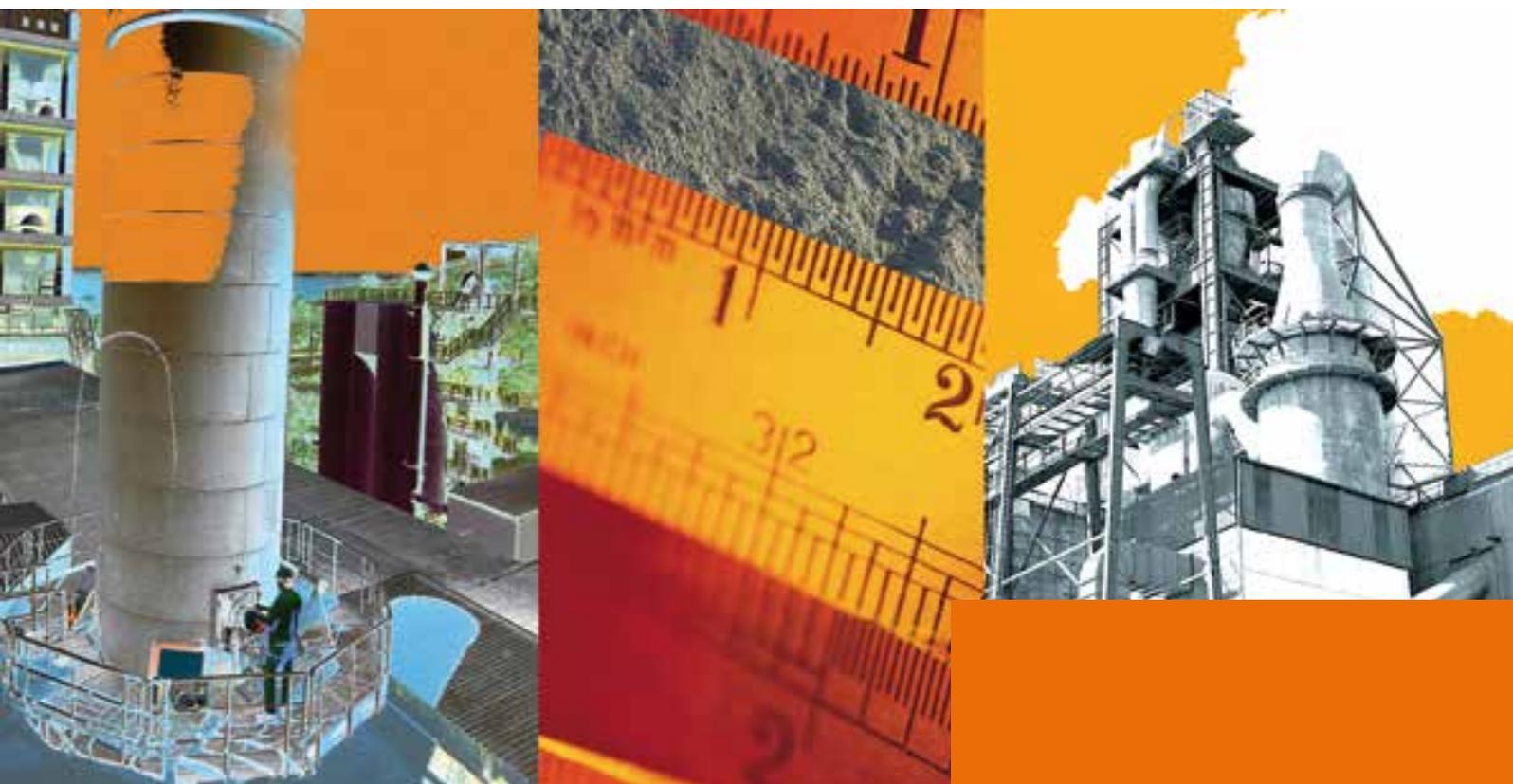


Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento

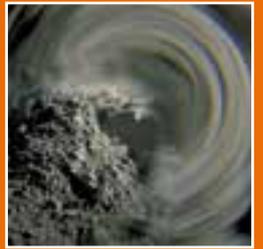
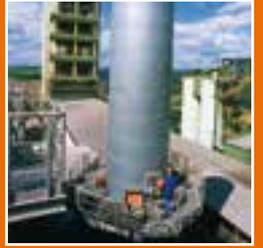


*Diretrizes para o Relatório e Monitoramento das Emissões na Indústria de Cimento*

**Relatório e Monitoramento das Emissões**

Março 2012

Versão 2.0



1	Introdução	2
	1.1 Histórico	
	1.2 Monitoramento e elaboração do relatório de emissões	
2	Emissões da Produção de Cimento	4
	2.1 Geral	
	2.2 Componentes das Emissões	
3	Identificação das principais fontes de emissões e poluentes	7
	3.1 Identificação das principais fontes de emissão	
	3.2 Identificação dos principais poluentes	
	3.3 Identificação de outros poluentes	
4	Monitoramento das Emissões (Medições)	8
	4.1 Frequência recomendada para as medições	
	4.2 Garantia da Qualidade	
5	Indicadores Chave de Desempenho (KPIs)	10
6	Relatório	12
	6.1 Quais instalações são cobertas?	
	6.2 Frequência e Períodos do Relatório	
	6.3 Metas de Emissão	
	6.4 Formato para o Relatório de Monitoramento das Emissões	
	6.5 Garantia dos dados de emissões	
7	REFERÊNCIAS	14
	Technical Annex	15



## 1 Introdução

### 1.1 Histórico

O cimento é uma das substâncias fabricadas pelo homem mais utilizadas no planeta. A cada ano, aproximadamente 450 kg de cimento são consumidos para cada homem, mulher e criança. Produzir cimento é um processo com consumo intensivo de energia e recursos, gerador de impactos globais e locais. Ao reconhecer estes fatores, algumas companhias de cimento promoveram a Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento (CSI) em 1999, um programa, patrocinado pelos seus membros, do Conselho Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (World Business Council for Sustainable Development - WBCSD).

Atualmente, a CSI representa a união global de esforços das 24 maiores produtoras de cimento com operações em mais de 100 países que acreditam na importância da busca de um desenvolvimento sustentável. Coletivamente, estas companhias representam um terço da produção mundial de cimento, variando de grandes multinacionais até pequenos produtores locais.

Informações gerais sobre a CSI podem ser encontradas no site: [www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org)

### 1.2 Monitoramento e elaboração do relatório de emissões

Uma das questões que a CSI abordou desde a publicação de seu Plano de Ação em 2002 é a gestão das emissões atmosféricas procedentes da produção de cimento. A medição das emissões, o monitoramento e a elaboração de relatórios contribuem para o entendimento, a documentação e a melhora do desempenho ambiental da indústria. A falta de informações sobre as emissões pode conduzir a preocupações locais sobre as operações da planta.

Em 2005, a CSI publicou seu primeiro Protocolo de Medições e Elaboração de Relatórios de Emissões para fornecer uma regra comum para todos os seus membros. Subsequentemente, as companhias individualmente definiram suas metas e começaram a reportar anualmente seus progressos.

O Protocolo CSI tem enfoque na tarefa prática de monitoramento e elaboração do relatório de emissões provenientes da produção de cimento. Enquanto muitos padrões analíticos estão disponíveis em vários governos nacionais e internacionais, estes padrões não são utilizados sistematicamente em todas as partes do mundo. Como resultado as emissões podem não ser corretamente monitoradas e as regulamentações ambientais podem não estar disponíveis ou adequadamente aplicadas em muitos lugares. Portanto, este Protocolo foi desenvolvido para atender três principais objetivos:

- Encorajar que o monitoramento e a elaboração de relatórios das emissões no processo de cimento sejam feitos uniformemente;
- Fornecer informações, sobre emissões, confiáveis, relevantes e de fácil compreensão;
- Fornecer à gestão interna ferramentas para a coleta de informações relevantes para o planejamento do monitoramento e elaboração do relatório de emissões.

O Protocolo abrange as emissões provenientes dos fornos de cimento. Estes são a principal fonte isolada, potencialmente geradores de impactos significativos no meio ambiente e podem ser monitorados com esforço e precisão razoáveis. Os métodos propostos para quantificar emissões são aqueles estabelecidos por especialistas em química analítica e com experiência de campo na indústria de cimento. Estes métodos produzem resultados representativos mesmo sob difíceis condições de medição. O monitoramento contínuo de emissões é recomendado como método preferencial sempre que possível, tendo em conta fatores como exatidão, manutenção de instrumentos, calibração adequada e custo.

O Protocolo detalha as ações que os membros CSI concertaram para monitorar as emissões. Baseadas nestes dados, companhias individualmente concordaram em estabelecer suas próprias metas de emissões e controlar seu progresso na redução das emissões utilizando os principais indicadores de desempenho (KPIs) discutidos na Secção 5. Cada companhia concordou em publicar seus

dados de emissões regularmente (anualmente), transparentemente e compreensivelmente (mas suficientemente consolidados), e em concordância com as leis de livre concorrência aplicáveis. Estas companhias também concordaram em monitorar a frequência e o formato dos relatórios para aumentar a transparência e o entendimento de suas operações para as comunidades locais e seus reguladores.

## Versão 2 (2012)

A versão 2 revisada das Diretrizes para Relatório e Monitoramento das Emissões na Indústria de Cimento mostra a experiência adquirida com a aplicação e a avaliação do primeiro protocolo desde 2005 por muitas companhias mundiais de cimento.

Esta versão também leva em conta o desenvolvimento do quadro regulatório desde a publicação das primeiras diretrizes, notavelmente a publicação dos Documentos de Referência sobre as Melhores Técnicas disponíveis (BREF) na Europa em junho de 2010, da Diretiva Industrial de Emissões (IED) no outono de 2010 e do Padrão Nacional de Emissões para Poluentes Atmosféricos Perigosos (NESHAP) nos USA em setembro de 2010.

O principal objetivo para esta revisão das diretrizes foi o seu ajustamento com o desenvolvimento de tecnologias e a evolução das expectativas dos stakeholders nos últimos anos, a fim de ter um documento que possa servir como um guia para companhias membro e reguladores, para o reporte e medições de emissões atmosféricas.



## 2 Emissões da Produção de Cimento

### 2.1 Geral

As emissões podem vir de diferentes pontos do processo de produção de cimento, dependendo das matérias-primas e combustíveis, dos procedimentos de preparação e dos tipos de fornos, e dos sistemas de controle de emissão de gases. Os principais passos da produção, que são também fontes de emissão potenciais, são:

- Mineração e preparação de matérias-primas;
  - Manuseio de combustíveis;
  - Produção de clínquer;
  - Moagem final;
  - Ensacamento;
  - Armazenamento;
  - Mistura;
  - Transporte;
  - Carregamento do material.
- As substâncias emitidas com maior volume durante a produção de cimento são: material particulado ou poeiras (MP), óxidos de nitrogênio,

dióxido de enxofre, dióxido de carbono e monóxido de carbono. Traços de compostos orgânicos voláteis, gases ácidos, alguns traços de metais e micro poluentes orgânicos também podem ser emitidos. Mesmo que os fornos de cimento normalmente operem em condições estáveis (excluindo partida e parada), variações naturais na composição das matérias-primas e combustíveis podem produzir pequenas variações nas emissões no dia-a-dia.

### 2.2 Componentes das Emissões

#### 2.2.1 Resumo dos componentes das emissões

As plantas de cimento emitem uma série de poluentes, dos quais vários são, agora, objetivo de regulação e controle. Melhoras significativas têm sido introduzidas para reduzir as emissões; contudo, as plantas de cimento ainda continuam sendo uma fonte de emissões de poluentes. A Tabela 1 mostra valores típicos de emissões de vários poluentes reportados no documento europeu BREF em maio de 2010<sup>1</sup>.

Tabela 1: Médias de emissões dos fornos europeus

Emissões reportadas nos fornos de cimento europeus			
Poluente	Concentração Média	Varição da Concentração min/máx	Emissão Específica Média
MP	20,3 mg/Nm <sup>3</sup>	0,3/227 mg/Nm <sup>3</sup>	46,7 g/ton clk
NO <sub>x</sub> como NO <sub>2</sub>	785 mg/Nm <sup>3</sup>	145/2040 mg/Nm <sup>3</sup>	1,805 kg/ton clk
SO <sub>2</sub>	219 mg/Nm <sup>3</sup>	Até 4837 mg/Nm <sup>3</sup>	0,504 kg/ton clk
CO		Até 2000 mg/Nm <sup>3</sup>	
VOC/THC como C	22,8 mg/Nm <sup>3</sup>	1/60 mg/Nm <sup>3</sup>	52,4 g/ton clk
HCl	4,3 mg/Nm <sup>3</sup>	0,02/20 mg/Nm <sup>3</sup>	9,8 g/ton clk
HF	0,3 mg/Nm <sup>3</sup>	0,01/1 mg/Nm <sup>3</sup>	0,7 g/ton clk
PCDD/F como ITEQ	0,016 ng/Nm <sup>3</sup>	0,000012/0,27 mg/Nm <sup>3</sup>	0,037 g/ton clk
Metais			
Hg	0,02 mg/Nm <sup>3</sup>	0,0/0,03 mg/Nm <sup>3</sup>	0,046 g/ton clk
Σ (Cd, Tl)	0,02 mg/Nm <sup>3</sup>	0,0/0,68 mg/Nm <sup>3</sup>	0,046 g/ton clk
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	0,14 mg/Nm <sup>3</sup>	0,0/4,0 mg/Nm <sup>3</sup>	0,322 g/ton clk
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração nas condições padrão, i.e 273K, 101,3 kPa, 10% de O<sub>2</sub> e base seca</li> <li>• Emissões específicas são baseadas em 2300 m<sup>3</sup>/ton clk</li> </ul>			

Fonte: BREF na indústria de produção de cimento, cal e óxido de magnésio, maio 2010

### 2.2.2 Material Particulado

Os termos 'poeiras' ou 'material particulado' incluem emissões de poeiras espessas, finas, fuligem, partículas e aerossóis.

As emissões de material particulado dos fornos de cimento têm sido reduzidas dramaticamente nas últimas duas e três décadas devido ao aperfeiçoamento em design e operação, incluindo o aumento do uso de modernos equipamentos. Entretanto as emissões de material particulado em fornos mal equipados ou mal operados podem ser altas e contabilizadas em alguns países acima de 40% do total de emissões industriais de materiais particulados.

Na maior parte dos países a indústria de cimento não é a maior fonte de poeiras e particulados, embora em algumas plantas estas emissões ainda sejam significativas. Estes dados são similares aos inventários australianos e norte-americanos em fábricas de cimento (NPI 1999; EPA AP-42 1994).

### 2.2.3 Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e Enxofre (SO<sub>2</sub>)

O NO<sub>x</sub> é formado pela reação de nitrogênio encontrado no ar e nos combustíveis com o oxigênio nas altas temperaturas atingidas durante o processo de clínquerização. As emissões de SO<sub>x</sub> são predominantemente (99%) na forma de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Elas provêm da oxidação de sulfetos (sulfuretos) voláteis presentes em matérias-primas e combustíveis. Devido à natureza alcalina do calcário e do clínquer, normalmente estes compostos são oxidados e capturados pelo clínquer e não são emitidos na atmosfera.

As indústrias de cimento têm melhorado significativamente seu desempenho nos últimos 30 anos, mas ainda são fontes de NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. Os dados mostrados na Tabela 1 do BREF são novamente similares às plantas de cimento australianas e norte-americanas (NPI 1999; EPA AP-42 1995).

Em alguns países, o contributo da indústria para a emissão nacional destes poluentes é pouco significativo. Por exemplo, o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas UK (NAEI 2009) mostrou que a indústria de cimento contribuiu com 2,5% do total de NO<sub>x</sub> e com 1% do total de SO<sub>2</sub> emitidos no Reino Unido no ano de 2008.

### 2.2.4 Óxidos de Carbono (CO<sub>2</sub> e CO)

A produção de cimento é uma fonte de emissão do gás com efeito de estufa CO<sub>2</sub>. Aproximadamente 6% das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> provêm da indústria de cimento<sup>2</sup>.

Grande parte (cerca de 50%) das emissões de dióxido de carbono na produção de cimento são originadas na reação química de conversão do calcário (CaCO<sub>3</sub>) para óxido de cálcio (CaO), o primeiro precursor do cimento. Cerca de 40% das emissões de CO<sub>2</sub> resultam da combustão de combustíveis fósseis durante as operações de produção do cimento. O remanescente é resultante das emissões do transporte de matérias-primas (cerca de 5%) e da combustão de combustíveis fósseis requeridos para a produção da eletricidade consumida pela produção do cimento (cerca de 5%) (Battelle 2002). De acordo com a base de dados do Getting the Numbers Right (GNR) da CSI, que abrange um terço da produção global de cimento, a média específica de emissões de CO<sub>2</sub> atinge 652 kg/ton de produto cimentício em 2010<sup>3</sup>.

A redução das emissões de CO<sub>2</sub> é o foco principal do trabalho da CSI. Em 2001 as companhias CSI acordaram uma metodologia de cálculo e reporte das emissões de CO<sub>2</sub>, o Protocolo de Cimento, CO<sub>2</sub> e Energia. Ele é alinhado com o WBCSD/WRI Protocolo de Gases Estufa e foi revisado em 2005 e em 2011. Desde então, todas as companhias CSI seguem este protocolo para determinar e reportar suas emissões de CO<sub>2</sub><sup>4</sup>.

A emissão de CO durante o processo de produção de clínquer é causada pela combustão incompleta de pequenas quantidades de constituintes orgânicos presentes em algumas matérias-primas. Para a maioria dos fornos o volume de CO é bem abaixo de 2000 ppm (BREF 2010).

### 2.2.5 Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)

A produção de cimento não é origem significativa de VOCs, mas pequenas quantidades de constituintes orgânicos podem ser liberadas de matérias-primas naturais durante o processo de produção de clínquer. Em circunstâncias normais, o teor de VOC dos gases de exaustão dos fornos de cimento está entre 1 e 60 mg/Nm<sup>3</sup> (BREF 2010). De acordo com inventários nacionais de poluentes, as maiores origens de emissões de VOC são tipicamente tráfico aéreo e terrestre, o uso de solventes orgânicos, a indústria químicas e de petróleo e processos de combustão doméstica e industrial.

### 2.2.6 Gases Ácidos

A produção de cimento é uma pequena fonte de cloreto de hidrogênio (HCl) e fluoreto de hidrogênio (HF) surgidos de traços de cloretos e fluoretos presentes em matérias-primas e combustíveis.

1 "Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing, May 2010", Comissão Europeia. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

2 IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas da UNEP, 2005 [www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/.files-images/SRCCS-WholeReport.pdf](http://www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/.files-images/SRCCS-WholeReport.pdf), p. 113.

3 Consultar [www.wbcscement.org/co2data](http://www.wbcscement.org/co2data)

4 Diretamente acessível via: [www.cement-co2-protocol.org](http://www.cement-co2-protocol.org)

### 2.2.7 Traços de Metais

Traços de metais estão presentes em matérias-primas e combustíveis, em concentrações bastante variáveis, mas geralmente em níveis muito baixos<sup>5</sup>. O comportamento dos traços de metais em fornos de cimento depende de sua volatilidade. Metais não voláteis e compostos metálicos permanecem no processo e são retirados do forno através do clínquer. Metais semi-voláteis são enviados para a fase gasosa nas temperaturas de sinterização e condensam nas matérias-primas nas partes mais frias do forno. Metais voláteis podem apresentar comportamentos similares aos metais semi-voláteis, ou sair com os gases de combustão em níveis baixos.

### 2.2.8 Micro-poluentes Orgânicos

As substâncias orgânicas de interesse são:

- As dibenzodioxinas policloradas e os dibenzofuranos policlorados – popularmente conhecidas como “dioxinas” e “furanos” pelas abreviaturas ‘PCDD/Fs’
- As bifenilas policloradas – usualmente conhecidas como ‘PCBs’
- Hidrocarbonetos poliaromáticos – conhecidos como ‘PAHs’.

Estas substâncias são conhecidas como ‘micro-poluentes orgânicos’ porque a massa absoluta emitida no decurso de um dado processo é normalmente de baixa magnitude em comparação às emissões de NOx ou de outros poluentes atmosféricos. A formação de dioxinas ocorre em temperaturas relativamente baixas – mais tipicamente em gases de exaustão de uma variedade de processos de combustão (incluindo queimadas em florestas e cozinhas domésticas) com o resfriamento dos gases na faixa de 450°C a 200°C. Para minimizar a possibilidade de formação de dioxinas é importante que os gases dos fornos sejam resfriados o mais rápido possível nessa escala crítica de temperatura. De acordo com análises detalhadas de dados existentes e novas amostras coletadas por membros CSI, em boas condições de operação, as emissões de dioxinas em fornos modernos não são relacionadas com o tipo de combustível utilizado (SINTEF Segunda Edição, Janeiro 2006).

Inúmeros países têm conduzido inventários nacionais de dioxinas. Em alguns países, estes dados mostram que a indústria de cimento é geralmente uma pequena contribuinte nas emissões de dioxina (menos que 3% do total). As maiores fontes incluem incineradores municipais de resíduos, combustão de madeira em residências, queima na agricultura e indústria siderúrgica, entre outras<sup>6</sup>.

5 Consulte, por exemplo, as concentrações típicas identificadas no trabalho desenvolvido pela CSI no domínio da utilização de combustíveis e materiais: [www.wbcdcement.org](http://www.wbcdcement.org)

6 Por exemplo, o inventário de dioxinas do Canadá (1999) revelou que a incineração de resíduos domésticos era responsável por 58% das emissões de dioxinas. As emissões resultantes do sector do cimento eram inferiores a 1%: “Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene, Inventory of Releases,” Environment Canada, January 1999. Pode ser descarregado no sítio da internet da CÉPA.



## 3 Identificação das principais fontes de emissões e poluentes

O objetivo principal deste protocolo é assegurar que as empresas da CSI foquem na medição, monitoramento e reporte das fontes mais importantes de emissão de poluentes da indústria do cimento. Esta seção identifica as fontes e poluentes chaves para este protocolo.

### 3.1 Identificação das principais fontes de emissão

Alguns sistemas reguladores designam pontos específicos de medida para processos específicos. Comparações de plantas com diferentes sistemas de fornos, instalações de despoejamento e locais geográficos têm mostrado que a chaminé principal do processo de produção do clínquer é a mais importante fonte de emissões atmosféricas pela indústria de cimento. Isto é devido à vazão volumétrica e à concentração das emissões as quais são comparativamente altas nesse ponto do processo

Emissões de poeiras próximas ao solo resultam, na maioria dos casos, das operações de moagem, preparação de matérias-primas, manipulação e armazenamento de combustíveis e transporte (às vezes agravado devido à ação de vento), e não do processo de combustão. As emissões fugitivas deste tipo são difíceis de medir e impactam principalmente o ambiente local (e são, portanto, de responsabilidade da gerência local da fábrica), ao passo que as emissões de chaminés altas podem ter um impacto na qualidade do ar sobre uma área muito maior.

Este protocolo, portanto, considera apenas as emissões da chaminé do forno, mas encoraja as companhias a alargar o escopo do monitoramento a um conjunto mais alargado de emissões atmosféricas além do definido neste documento.

### 3.2 Identificação dos principais poluentes

As emissões abaixo foram identificadas como o foco principal deste protocolo e, portanto, devem ser informadas dentro da CSI, devido ao seu volume e/ou sua importância:

- Poeiras / material particulado
- Óxidos de nitrogênio e outros compostos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)
- Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

### 3.3 Identificação de outros poluentes

Outros poluentes que são de interesse dos stakeholders (incluindo comunidades locais e autoridades reguladoras) e que devem ser medidos são:

- Traços de metais e seus compostos (Hg, Cd, Tl, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni e V).
- Compostos orgânicos voláteis (VOCs) ou Hidrocarbonetos Totais (THC); incluem metano e etano, bem como outros hidrocarbonetos reportados como carbono.
- Dibenzodioxinas policloradas e dibenzofuranos (PCDD/Fs); incluem as 17 congêneres de acordo com o esquema da NATO adotado internacionalmente e são reportadas em Equivalente Tóxico Internacional (I-TEQ)<sup>7</sup>.

Esta lista está de acordo com outras diretrizes internacionais importantes como o Reference Documents on Best Available Technique (BREF) e a Diretiva Emissões Industriais, na Europa, e o NESHAP nos EUA. Outros documentos de referência foram também considerados como a US EPA AP-42 (Compilation of Air Pollutant Emission Factors) e a Diretriz NPI Australiana.

Outros poluentes como gases ácidos podem ser considerados menores e não materiais, considerando as quantidades traço de Cl e F presentes em matérias-primas e combustíveis.

<sup>7</sup> Referência: Anexo Técnico, Tabela A6



## 4 Monitoramento das Emissões (Medições)

As emissões podem ser controladas pelo uso de medições contínuas ou descontínuas. As medições serão feitas de acordo com as reconhecidas regras de metrologia (ISO normas ou diretrizes nacionais, como VDI/DIN ou USEPA) e de acordo com métodos reconhecidos em regulamentos ambientais nacionais correspondentes.

O Anexo Técnico deste protocolo dá exemplos de várias tecnologias disponíveis para medições contínuas, dispositivos de medição e diferentes métodos físicos de análises.

O Anexo Técnico apresenta os padrões recomendados para as medições – análises e amostragem - de poluentes e parâmetros. Estes padrões são as Normas Internacionais ISO (veja: [www.iso.org](http://www.iso.org)), métodos US-EPA (veja: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)) e os Padrões Europeus (veja: [www.cen.eu](http://www.cen.eu)). Métodos definidos por padrões nacionais ou métodos reconhecidos equivalentes aos padrões recomendados também podem ser utilizados. Os métodos usados devem ser devidamente identificados.

O Anexo Técnico recomenda que os critérios de seleção para o monitoramento contínuo de emissões (CEM) podem incluir – entre outros - a identificação correta dos poluentes a serem medidos de acordo com os requisitos estabelecidos nas regulações e acordos de permissão e de acordo com os compromissos desta diretriz; parâmetros como oxigênio, umidade e vazão de gás devem ser incluídos também. Os níveis e valores de emissão devem ser avaliados para os vários cenários de operação do forno. Os laboratórios responsáveis pela realização das análises devem ser certificados por órgãos de certificação reconhecidos ou suas capacidades demonstradas com testes de desempenho. Atenção deve ser dada para a capacidade do fornecedor de providenciar suporte técnico local.

O Anexo Técnico recomenda que os contratados ou os órgãos que efetuam o monitoramento descontínuo e as análises tenham implementado um sistema de gestão de qualidade de acordo com a ISO 17025:2005 “Requisitos gerais para a competência em testes e calibração dos laboratórios”. A experiência dos contratados com os componentes analisados deve ser verificada.

### 4.1 Frequência recomendada para as medições

A frequência das medições deve ser baseada na natureza dos poluentes emitidos e no interesse dos stakeholders. Uma companhia que adere a esta diretriz irá medir continuamente os poluentes principais (poeiras, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>) com equipamento de monitoramento contínuo de emissões (CEM). Antes dos CEM começarem a operar, estes poluentes devem ser medidos ao menos uma vez por ano.

Os compostos voláteis orgânicos ou hidrocarbonetos totais (VOC/THC) devem, preferencialmente, ser medidos continuamente ou, no mínimo, uma vez ao ano.

Outros poluentes devem ser medidos periodicamente, de acordo com a frequência reportada na Tabela 2. As medições devem ser feitas sob condições que refletem as condições normais de operação do processo de produção de cimento.

As medições feitas periodicamente serão renovadas dentro de um período de seis meses após qualquer alteração<sup>8</sup> significativa no processo: natureza dos combustíveis, matérias-primas ou dispositivo de controle de poluição do ar.

**Tabela 2 – Frequência de Medições de Poluentes abrangidos**

Poluente	Frequência de Medições
MP	Contínua
NO <sub>x</sub>	Contínua
SO <sub>2</sub>	Contínua
VOC/THC	Contínua ou no mínimo uma vez ao ano
PCDD/F	Uma vez a cada dois anos
Hg	Uma vez ao ano
Outros metais pesados	Uma vez a cada dois anos

A frequência de medições pode ser reduzida para o mercúrio quando as emissões medidas estão abaixo do limiar da Tabela 3. A frequência de medições deve retornar à frequência normal da Tabela 2 quando as medições estiverem acima do limiar.

Quando o PCDD/F ou mercúrio são medidos continuamente, eles não têm que ser também medidos periodicamente.

**Tabela 3 – Limiar para mercúrio**

Poluente	Limiar	Medições são feitas...
Hg	25 µg/Nm <sup>3</sup>	Uma vez a cada dois anos

## 4.2 Garantia da Qualidade

A qualidade do relatório e das medições baseia-se em uma implementação bem-sucedida das sucessivas etapas de trabalho: amostragem, análises e reporte. As companhias devem atribuir recursos e responsabilidades claras de monitoramento, validação e registro das emissões. Pessoas devem ser treinadas para ambas verificações operacionais e de manutenção.

As medições contínuas com CEM após o comissionamento necessitam de averiguações contínuas, manutenção adequada e calibração periódica.

O processo de garantia de qualidade para medições contínuas e descontínuas deve incluir:

- Avaliação técnica dos dados: dados estão dentro de um intervalo para o processo de produção do cimento, dados são coerentes;
- A comparação das emissões monitoradas para os mesmos fornos e poluentes em diferentes meses e anos;
- Um processo de validação dos dados o qual deve ser implementado pela companhia.

Mais orientações são fornecidas no Anexo Técnico.



## 5 Indicadores Chave de Desempenho (KPIs)

As empresas da CSI (Cement Sustainability Initiative) estão cientes da necessidade de registrar o progresso de suas melhoras e divulgar este progresso a todas as partes interessadas. Este protocolo, portanto, inclui um número de Indicadores Chave de Desempenho (KPIs) simples, representativos e confiáveis.

### KPI 1: Taxa de Cobertura Total

Este KPI é utilizado para demonstrar a porcentagem de clínquer produzido pelos fornos cobertos pelo sistema de monitoramento (medições contínuas ou descontínuas) de Material Particulado, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC/THC, metais pesados (Hg, Cd, Tl, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni e V), PCDD/F. Somente quando todas as emissões dos poluentes (previamente identificadas) são monitoradas no forno a quantidade total de clínquer produzido neste forno será incluído no cálculo do KPI. Caso contrário, a contribuição de produção do forno será considerada zero.

#### Exemplo de Cálculo para o KPI 1:

A empresa A opera 50 fornos produzindo 50 milhões de toneladas de clínquer por ano. Em um certo tempo, todas as emissões principais e de outros poluentes foram controladas em 35 fornos (produzindo 40 milhões de toneladas de clínquer).

Neste caso nós obtemos:  $KPI\ 1 = (40.000.000\ ton / 50.000.000\ ton) * 100 = 80\%$

O KPI 1 da empresa A é, portanto, 80%, significando que 80% de seu clínquer é produzido em fornos coberto pelo sistema de controle apresentado neste protocolo.

### KPI 2: Taxa de Cobertura de Medições Contínuas

Este KPI indica a porcentagem de clínquer produzido pelos fornos nos quais foram instaladas as medições contínuas de material particulado, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. A produção total deste forno é incluída no KPI apenas quando todas as emissões dos poluentes (MP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) são monitoradas, caso contrário a contribuição da produção deste forno deve ser considerada zero.

### KPI 3 "X": Dados de Emissão do Poluente "X"<sup>9</sup>

Este KPI é projetado para mostrar o lançamento das emissões de MP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC/THC, Hg, metais pesados 1 (soma de Cd e Tl), metais pesados 2 (soma de Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni e V) e PCDD/F (poluente anteriormente identificado) do forno para o ar. Há KPIs separados para cada um desses poluentes ou grupo de poluentes como indicado na Tabela 4. Valores específicos e absolutos são reportados.

Tabela 4 – Definição do KPI 3 "X" para cada poluente

Indicador	Comentários
KPI 3 "MP"	
KPI 3 "NO <sub>x</sub> "	Soma de monóxido e dióxido de nitrogênio
KPI 3 "SO <sub>2</sub> "	
KPI 3 "VOC/THC"	Total de hidrocarbonetos incluindo metano e etano expressos como carbono (C)
KPI 3 "PCDD/F"	Soma de 17 compostos do esquema NATO expressa como I-TEQ
KPI 3 "Hg"	Mercúrio e seus compostos expressos como mercúrio (Hg)
KPI 3 "HM1"	Soma de cádmio e tálio e seus compostos expressos como cádmio (Cd) e tálio (Tl)
KPI 3 "HM2"	Soma de antimônio, arsênio, chumbo, cromo, cobalto, cobre, manganês, níquel e vanádio e seus compostos expressos como os metais já mencionados (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni e V).

9 X é uma referência genérica a qualquer um dos poluentes.

O cálculo de emissões de uma base específica (g/ton clk, ng/ton clk) deve ser feito utilizando as massas médias ponderadas dos fornos para assegurar a precisão dos dados, enquanto que os valores absolutos de emissões (t/ano, kg/ano, mg/ano) são calculados por adição das emissões totais de cada forno.

Metais pesados (Hg, Cd, Tl, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni e V) e PCDD/F não precisam ser medidos nas instalações com fatores de execução (capacidade operacional ou tempo) abaixo de 50% no ano. Nessas circunstâncias, para evitar algum impacto nas taxas de cobertura dos indicadores KPI 1 e KPI 4, o clínquer produzido nestas instalações não pode ser considerado para a determinação destes indicadores.

Os valores absolutos são extrapolados para a quantidade total de clínquer produzido pela companhia.

#### Exemplo de cálculo para emissões específicas e absolutas de MP

A empresa A opera 3 fornos:

- O forno A produz 1 milhão de toneladas de clínquer por ano com uma emissão de material particulado específica de 10 g/t de clínquer e emissão absoluta de 10 ton/ano;
- O forno B produz 0.5 milhões de toneladas de clínquer por ano com uma emissão de material particulado específica de 40 g/t de clínquer e emissão absoluta de 20 ton/ano;
- O forno C produz 0.4 milhões de toneladas de clínquer por ano com uma emissão de material particulado específica de 100 g/t de clínquer e emissão absoluta de 40 ton/ano.

$$\text{KPI 3 "MP"} = (10\text{g} * 1.000.000\text{ton} + 40\text{g} * 500.000\text{ton} + 100\text{g} * 400.000\text{ton}) / (1.000.000\text{ton} + 500.000\text{ton} + 400.000\text{ton}) = 36,8 \text{ g/ton clk, e}$$

$$\text{KPI 3 "MP"} = 10\text{ton} + 20 \text{ ton} + 40 \text{ ton} = 70 \text{ ton/ano}$$

Se a Companhia A tivesse operado um forno D produzindo 0,2 milhões de ton clk/ano e sem dados de emissões específicas de MP reportados, o indicador ficaria:

$$\text{KPI 3 "MP"} = 36.8 \text{ g/ton clk, e}$$

$$\text{KPI 3 "MP"} = 70 \text{ ton} * (1.000.000\text{ton} + 500.000 \text{ ton} + 400.000 \text{ ton} + 200.000 \text{ ton}) / (1.000.000\text{ton} + 500.000\text{ton} + 400.000 \text{ ton}) = 77,4 \text{ ton/ano}$$

Quando mercúrio não é medido durante um ano devido ao fato de estar abaixo do limiar ou outros metais pesados ou dioxinas e furanos não são medidos de acordo com a frequência desta diretriz, o último valor específico disponível medido deve ser utilizado no relatório; o valor absoluto deve ser calculado multiplicando o valor específico pela massa total de clínquer produzido durante o ano do relatório.

#### Exemplo de cálculo para emissão de mercúrio

Uma emissão específica de mercúrio de 20 mg/to clk foi medida em 2009 na chaminé do forno A. Em 2010, não foram realizadas medições, o forno A produziu 1 milhão de ton de clínquer. A emissão de mercúrio reportada em 2010 deve ser:

$$\text{KPI 3 "Hg"} = 20\text{mg/ton clk, e}$$

$$\text{KPI 3 "Hg"} = 20\text{mg} * 1.000.000 \text{ ton} = 20 \text{ kg/ano}$$

Os metais pesados referem-se às formas gasosa, vapor e condensada das emissões dos metais pesados relevantes e seus compostos.

#### KPI 4 "X": Taxa de cobertura do poluente "X"

Este KPI indica a porcentagem de clínquer produzido pelos fornos que tem monitorado o poluente "X".



## 6 Relatório

O objetivo do relatório ambiental é fornecer ao leitor uma avaliação justa da situação ambiental da empresa. O relatório de emissões deve atender aos seguintes critérios:

- Os dados devem ser consistentes, transparentes e ter credibilidade;
- Os dados devem ser apresentados num formato claro e padronizado;
- Os dados devem satisfazer os requisitos de garantia da qualidade (GQ) (ver Secção 4.2);
- Os dados devem possibilitar que o registro das emissões seja informado em termos absolutos e específicos;
- Os relatórios devem servir de ferramenta flexível para as necessidades de diferentes propósitos em monitorar e reportar.

### 6.1 Quais instalações são cobertas?

A empresa pode escolher uma das seguintes opções para estabelecer limites organizacionais no relatório dos dados de emissões coberto por este protocolo:

- Enfoque participação acionária;
- Enfoque de controle (operacional ou financeiro);
- Uma combinação de ambos.

Uma empresa deve ser clara em seus relatórios públicos sobre quais métodos são aplicados e o escopo exato de seus dados reportados.

Para efeitos deste protocolo, são aplicáveis as definições delineadas no documento "Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa".

Filiais/unidades/instalações novas ou adquiridas têm que obedecer este protocolo no mais tardar no segundo ano após o primeiro ano de produção do clínquer ou no ano em que ele foi adquirido.

As filiais/unidades/instalações fechadas ou vendidas podem ser excluídas do protocolo a partir do ano de fechamento ou venda, inclusive.

Não obstante, as quantidades de clínquer produzidos em ambas as circunstâncias devem ser consideradas para a determinação de emissões absolutas reportadas pela empresa.

#### Exemplo:

Se a unidade foi adquirida em maio de 2009 deve obedecer ao protocolo em 2011, o que significa relatório dos dados de 2011 em 2012.

### 6.2 Frequência e Períodos do Relatório

Os valores dos KPI's têm que ser registrados anualmente por cada empresa individualmente. As empresas podem tomar suas próprias decisões sobre qual tipo de documentação será usada para o relatório (por exemplo, um relatório ambiental ou de sustentabilidade, website, etc.)

O reporte de emissões pode ser baseado no ano financeiro, ao invés do ano de calendário. Isto pode ajudar a reduzir os custos do relatório e não causar nenhum problema se o mesmo é realizado coerentemente no tempo, sem nenhuma lacuna ou sobreposição. Qualquer mudança no relatório do ano deve ser claramente indicada. Legislação e regulamentação nacionais devem ser levadas em conta.

### 6.3 Metas de Emissão

De acordo com o Plano de Ação da CSI, cada empresa membro da CSI estabelecerá, publicará e informará os valores individuais de metas para MP, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>.

### 6.4 Formato para o Relatório de Monitoramento das Emissões

O KPI deve ser reportado no formato mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Formulário de Relatório dos KPIs

<b>Nome da empresa</b>			
<b>Período coberto pelo relatório</b>			
<b>KPI 1 Taxa de cobertura total</b>			<b>%</b>
<b>KPI 2 Taxa de monitoramento contínuo</b>			<b>%</b>
<b>KPI 3 Dados de emissões e Taxa de monitoramento KPI 4</b>			
<b>Poluente</b>	<b>Emissão Específica</b>	<b>Emissão absoluta</b>	<b>Taxa de monitoramento</b>
MP	g/ton clínquer	ton/ano	%
NO <sub>x</sub>	g/ton clínquer	ton/ano	%
SO <sub>2</sub>	g/ton clínquer	ton/ano	%
VOC/THC	g/ton clínquer	ton/ano	%
PCDD/F	ng/ton clínquer	mg/ano	%
Hg	mg/ton clínquer	kg/ano	%
HM1	mg/ton clínquer	kg/ano	%
HM2	mg/ton clínquer	kg/ano	%

## 6.5 Garantia dos dados de emissões

Com o objetivo de estabelecer um método de garantia padrão e aumentar a transparência, confiabilidade e exatidão do relatório de emissões da CSI, estes KPIs devem ser verificados por entidade independente de acordo com os seguintes requisitos:

Tabela 6 : Requerimentos de segurança

<b>Item</b>	<b>Requisito</b>
<b>Nível de segurança</b>	Limite de segurança a nível corporativo
<b>Reputação da verificadora</b>	A verificadora deve ser uma empresa terceira independente e reconhecida.
<b>Escopo dos dados</b>	KPIs CSI: KPI 1 : Taxa de monitoramento total KPI 2: Taxa de monitoramento contínuo KPI 3 :MP, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> ": Dados de emissões KPI 4 :MP, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> ": Taxa de monitoramento dos poluentes
<b>Frequência da verificação</b>	Uma vez cada 2 anos, devendo ser verificados os dados referentes a ambos os anos
<b>Cobertura dos locais</b>	A ser definido com a verificadora com o número de unidades de negócio e locais examinados explicitamente declarados.
<b>Padrão de Segurança</b>	A verificadora deve utilizar a ISAE 3000* (ou equivalente) e as Diretrizes para o Relatório e Monitoramento das Emissões na Indústria de Cimento da CSI, explicitamente citando sua utilização na carta de garantia
<b>Nível de significância</b>	5%
<b>Declaração de garantia</b>	A verificadora deve fornecer para o membro CSI uma declaração de garantia resumindo as conclusões sobre os KPIs de emissões e mencionar explicitamente o uso das Diretrizes para o Relatório e Monitoramento das Emissões na Indústria de Cimento da CSI e o número de locais examinados e a correspondente porcentagem de emissões cobertas.

\* International Standard for Assurance Engagements



## 7 REFERÊNCIAS

### **EIPPC 2010**

*Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries.* EIPPC (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau), Seville, May 2010.

### **IED 2010**

Directive of the European Parliament and of the Council on industrial emissions, Brussels, November 2010.

### **NPI 1999**

*Emission Estimation Technique Manual for Cement Manufacturing.* National Pollutant Inventory, August 1999.

### **EPA AP-42 1995**

*AP-42, 5<sup>th</sup> Edition, Volume 1, Chapter 11: Mineral products Industry; Section 11.6: Portland Cement Manufacturing,* January 1995.

### **NAEI 2009**

UK National Atmospheric Emissions Inventory, 2009. See [www.naei.org.uk](http://www.naei.org.uk) for data

### **Battelle 2002**

*Toward a Sustainable Cement Industry - Substudy 10: Environment, Health & Safety Performance Improvement.* AEA Technology research for WBCSD, December 2002. Available on website [www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org)

### **VDZ 2001**

*Environmental data of the German cement industry 2001.* Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf 2002.

### **SINTEF 2006**

*Formation and Release of POP's in the Cement Industry. The Foundation for Industrial and Scientific Research of Norway, 2<sup>nd</sup> edition, WBCSD, January 2006.*

### **WBCSD-WRI 2004**

*The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition, 2004.*

## ANEXO TÉCNICO

A1	Introdução	16
A2	Terminologia – Medição de Emissões	17
A3	Sistema de Monitoramento de Emissões Contínuas (CEM)	18
	A3.1 Critério de Seleção para CEM	
	A3.2 Garantia de qualidade para CEM	
A4	Medições descontínuas	20
	A4.1 Critério de seleção e avaliação dos contratados	
	A4.2 Padrão para medições: amostra e análise	
	A4.3 Requisitos mínimos para Limite de Detecção	
	A4.4 Recomendações para relatórios emitidos por laboratórios	
A5	Representatividade e validação dos dados	23
A6	Dados do relatório	24
A7	Mudanças significativas	28
A8	Informação adicional e outras referências	29
Apêndice		31
	AA Sistema de Monitoramento Contínuo de Emissões: Visão Geral da Tecnologia	
	AB Limite de detecção – valores indicados	



## A1 Introdução

Este Anexo Técnico fornece suporte para as “Diretrizes para Relatório e Monitoramento de Emissões na Indústria de Cimento”, versão 2 (2012), emitido pela Iniciativa em Sustentabilidade no Cimento (CSI). Ele enuncia os requerimentos de monitoramento, manutenção da medição, reporte e controle de qualidade durante o processo de monitoramento e reporte de emissões.

No geral, os requerimentos descritos aqui se relacionam a:

- Instalação e know-how relacionados à operação do monitoramento contínuo de emissões (CEM), equipamentos de MP,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , VOCs e calibração e manutenção dos equipamentos CEM em intervalos regulares pré-determinados;
- Medições descontínuas dos componentes anteriores mais VOCs, PCDD/F e metais pesados (HM), para frequências regulares definidas;
- Nível de competência da empresa que realizará as medições (elas devem comprová-la) e;
- Relatório dos dados de emissões na forma padronizada permitindo que as empresas comuniquem os dados interna e externamente.



## A2 Terminologia – Medição de Emissões

**Função de Análise:** A correlação (matemática) entre a resposta do instrumento e o (aparente) valor real, determinado através da utilização de um procedimento padrão

**Sistema de Medição Automático:** Sistema de medição permanentemente instalado no local para o monitoramento contínuo de emissões; também chamado de **Monitor de Emissões Contínuo**

**Calibração:** Determina a variação da resposta de medição do dispositivo comparando-o com os valores produzidos por um método de referência. Calibração é um meio de estabelecer ou verificar a função da análise do equipamento de medição em uma operação contínua em uma planta

**Gases de calibração:** Gases com composição definida. Gases de calibração são preparados por empresas especializadas

**Concentração:** A massa de uma substância emitida em relação ao volume dos gases de escape. (por exemplo em  $\text{mg}/\text{m}^3$ )

**Validação dos dados:** Um método para garantir que os dados corretos foram utilizados na análise

**Verificação dos dados:** Um método para garantir que os dados estão corretos.

**Emissão:** Poluente atmosférico direta ou indiretamente liberado, presente nos gases de exaustão

**Valor Limite de Emissão (ELV):** A massa de uma substância emitida, expressa como parâmetro específico (concentração, nível de emissão), que não deve ser excedido durante um ou mais períodos, determinado e calculado dentro das condições padrão

**Gases de exaustão:** Gases lançados na atmosfera por uma chaminé, que podem conter poluentes na forma de gases, partículas ou aerossol

**Limite de Detecção (LOD):** A quantidade mais baixa da substância que pode ser detectável

**Limite de Quantificação (LOQ):** A concentração mais baixa da substância que pode ser quantificada com uma certeza prescrita (geralmente 95%); também chamado de **limite de determinação**

**Vazão:** A massa de uma substância emitida por unidade de tempo (i.e.  $\text{g}/\text{h}$ )

**Modos de operação:** *Operação composta:* vazão do gás de exaustão do forno passado parcialmente ou completamente através do moinho de cru antes de ser tratado no sistema coletor de poeira

**Operação direta:** Vazão do gás de exaustão passado diretamente para o sistema coletor de poeira sem passar através do moinho de cru

**Material de referência:** Material ou substância para qual uma ou mais propriedades são suficientemente homogêneas e bem estabelecidas para serem utilizadas para calibração e/ou a validação do sistema de medição

**Método de referência:** Um procedimento de medição estabelecido por uma organização técnica reconhecida para determinar uma variável de medição

**Período de amostragem:** Campanha de medição durante um intervalo de tempo suficiente

**Local de amostragem:** A posição do canal do gás de exaustão onde a amostragem é realizada

**Ponto de amostragem:** Uma plataforma de trabalho para a execução das medições e onde os equipamentos de medição são instalados

**Método Padrão de Referência (SRM):** Metodologia reconhecida e padronizada para a realização das medições, instalados temporariamente no local para fins de verificação



## A3 Sistema de Monitoramento de Emissões Contínuas (CEM)

### A3.1 Critério de Seleção para CEM

Os poluentes medidos devem ser classificados de acordo com os requisitos estabelecidos nas regulações e permissões / licenças operacionais e de acordo com os compromissos assumidos pela empresa nestas diretrizes e em outros acordos voluntários. Além dos poluentes, outros parâmetros relevantes devem estar disponíveis. Estes parâmetros são oxigênio, umidade, vazão, pressão, temperatura e saída de clínquer do forno.

Para cada poluente e parâmetro identificado, os níveis e valores de emissão devem ser avaliados para os vários cenários que podem ocorrer durante a operação do forno: start-up, shut down, operação composta ou direta (gás passando através do moinho de cru ou direto para o coletor de MP), e a natureza das matérias-primas e misturas de combustíveis.

O escopo das emissões deve ser estabelecido de acordo com as condições permitidas e concentrações esperadas.

Atenção especial deve ser dada para as amostras. Exemplos de metodologias de amostragem podem ser encontradas na ISO 10396:2007 "Fontes de Emissões Estacionárias – Amostragem para a determinação automática de concentração de emissões de gás para sistemas de monitoramento instalados permanentemente".

O CEM deve ser selecionado entre tecnologias comprovadas descritas neste documento.

Tabela A1: Tabela resumo para monitoramento de MP e gás

Poluente	Método Recomendado de Determinação
MP Concentração <20 mg/Nm <sup>3</sup>	Método da Luz Dispersa
MP Concentração >20 mg/Nm <sup>3</sup>	Método de Transmissão Óptica
NO	NDIR (frio e quente)/ FTIR/ DOAS-UV
NO <sub>2</sub>	FTIR/DNIR (frio) e conversão/ cálculo <sup>1</sup>
SO <sub>2</sub>	NDIR (frio e quente)/ FTIR/ DOAS-UV
VOC	FID (Detector de Chama de Ionização)

Tabela A2: Resumo da tabela dos parâmetros

Parâmetro	Método Recomendado de Determinação
O <sub>2</sub>	Método XRO <sub>2</sub> (óxido de zircônio)/ Método Paramagnético
Conteúdo de Água	NDIR (quente)/FTIR/ Método Laser/ Valores fixados <sup>1</sup>
Vazão	Método Ultrasônico / Princípio de pressão diferencial
Temperatura	Sensor-Pt100/ Analisador Implementado in situ
Pressão Absoluta	Analisador Integrado in situ – Valores fixados <sup>1</sup>
Pressão do Gás	Sensor separado/ Vazão Integrada (pressão diferenciada)/ Valores fixados <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Em alternativa, valores por defeito baseados nos resultados de medições pontuais ou calculados poderão ser usados.

É importante que o fornecedor providencie um suporte técnico local; o melhor analisador do melhor fabricante não pode ser eficiente sem um suporte técnico local competente.

Além disso, atenção deve ser dada para equipamentos auxiliares e serviços que contribuem para (ou são essenciais para) a operação das análises e disponibilidade dos dados de emissões: abrigos/ cabines para os analisadores, ar condicionado, layout geral, fornecimento de energia e ar comprimido, gases de calibração, rotinas de proteção, registro dos dados.

A adequação dos analisadores deve ser demonstrada com aprovação formal – certificação por órgão reconhecido – ou com testes de desempenho de acordo com requisitos nacionais.

Igualmente importante é a qualidade dos resultados das medições que devem ser reportados pelo fornecedor e pode ser quantificada pela incerteza das medições. Um exemplo de quantificação de incerteza das medições pode ser encontrados na ISO 14956:2002 “Avaliação para a adequação de procedimentos de medição pela comparação com incertezas das medições requeridas” e EM 15267-3:2008 “Certificação de sistemas de Medição Automática – Critério de desempenho e procedimentos dos testes para sistemas de medições automáticas para monitoramento das emissões de fontes estacionárias”.

### A3.2 Garantia de qualidade para CEM

Atingir e manter a qualidade dos dados entregues pelos CEM ao longo do tempo requer o desenvolvimento e implementação de ações específicas de comissionamento dos CEM, incluindo verificações de rotina, manutenção e calibrações periódicas.

Os controles na planta com vista ao comissionamento dos CEM devem incluir testes de equipamentos e rotina de proteção dos instrumentos, verificação de vazamentos e verificações de zero e span usando materiais de referência. O equipamento de monitoramento de MP e o CEM para poluentes gasosos devem ser calibrados. A calibração é feita utilizando método gravimétrico manual para MP, por exemplo, o método de calibração encontrado na ISO 9096 e ISO 12141, dependendo da concentração de MP, o último é específico para baixas concentrações. A calibração deve ser feita utilizando um Método

Padrão de Referência (SRM) em paralelo com CEM para poluentes gasosos. Em ambos os casos as funções das análises devem ser estabelecidas. Um exemplo de método de calibração pode ser encontrado na ISO 11095:1996 “Calibração linear utilizando materiais de referência”. As condições de processos e a escala das concentrações de poluentes para os quais as funções de análise são estabelecidas devem ser precisamente avaliados. Qualquer modificação significativa nas condições tal como uma grande mudança na operação da fábrica (mudança no sistema de abatimento do gás, mudança ou grande reparo do CEM) ou uma concentração de poluente significativamente fora do alcance de calibração exigirá o estabelecimento de uma nova função de análise. Funções de Análise que usam SRM devem ser reestabelecidas a cada cinco anos. As funções de análises podem ser determinadas em diferentes condições de operação se necessário.

Verificações de rotina e manutenções operacionais devem ser desenvolvidas e completamente implementadas na fábrica. Rotinas operacionais devem incluir verificações dos instrumentos de chamadas de alarme, verificações periódicas de vazamento, zero e span utilizando os materiais de referência.

Apesar da calibração utilizando SRM, os desvios do CEM no zero e span devem ser verificados utilizando materiais de referência de acordo com as recomendações do fabricante e ajustes devem ser feitos quando recomendado.

Rotinas de manutenção devem incluir verificação de pontos de amostragens (pré-filtro), sistema de tratamento de gases, dispositivos de análise e auxiliares, e substituição de peças usadas (peças substitutas devem estar disponíveis na fábrica) de acordo com as recomendações do fabricante.

Os intervalos de manutenção dependem dos parâmetros de operação existentes como conteúdo de MP e sua natureza, temperatura do gás, composição do gás e condições ambiente. A manutenção de equipamentos CEM deve ser realizada de acordo com as recomendações/ especificações do fabricante e os instrumentos devem ser verificados rotineiramente. É essencial que os funcionários de manutenção interna de cada fábrica sejam treinados e qualificados para resolver problemas que possam surgir na operação diária do CEM. Por esta razão, é importante considerar o treinamento de manutenção para o pessoal da fábrica quando avaliar equipamentos de diferentes fornecedores.



## A4 Medições descontínuas

### A4.1 Critério de seleção e avaliação dos contratados

Medições e análises devem ser realizadas por órgãos ou empresas com experiência reconhecida pela autoridade competente. Quando exigido por regulamentação nacional, o credenciamento e a certificação dos laboratórios de ensaio ou aceitação dos protocolos de testes pela autoridade competente devem ser verificados pela empresa.

A experiência do laboratório de ensaio deve ser verificada pela empresa para os componentes analisados.

O laboratório de ensaio deve ter implementado um sistema de garantia de qualidade. Um exemplo de metodologia de garantia de qualidade pode ser encontrado na ISO 9001:2008 e ISO 17025:2005 “Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração” que define os requisitos que os laboratórios de ensaio devem atender para demonstrar que eles operam um sistema de qualidade, são tecnicamente competentes e capazes de produzir resultados tecnicamente válidos.

A avaliação deve ser baseada nas atividades de medição da chaminé: amostragem, análise e reporte. Cada fase de trabalho deve contribuir para a exatidão dos resultados.

A planta deve assegurar uma localização adequada para a amostragem, em cumprimento das normas e métodos de referência. Diretrizes para a seleção de pontos de amostragem adequados constam da

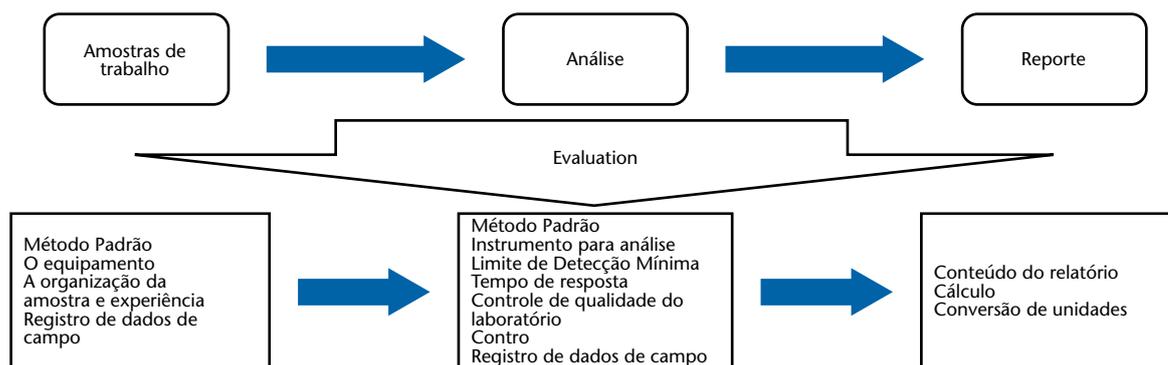
norma EN 15259:2007 “Medição de emissões em fontes estacionárias – requisitos para secções e locais de medição e para o objetivo, plano e relatório das medições”. As normas e métodos de referência orientam a planta com vista à seleção dos pontos de amostragem bem como da plataforma de trabalho.

Quando a planta, unidade de negócio ou centro técnico solicita serviços de amostragem da chaminé do forno ao laboratório, as seguintes considerações devem ser incluídas nas propostas para uma avaliação abrangente:

- Declaração do método específico utilizado e avaliação de risco, bem como os registros de segurança;
- Normas e métodos de referência utilizados, incluindo o título correto e a data de revisão;
- Detalhes dos equipamentos utilizados;
- Qualificação e experiência da equipe;
- Garantia de qualidade/ Procedimento de controle de qualidade;
- Detalhes dos equipamentos de laboratório;
- Limites de detecção (LOD) dos equipamentos de laboratório utilizados para as análises, dos métodos de amostragens e preparação das amostras e;
- A experiência do laboratório de ensaio em ensaios de emissões de fornos (p. ex., referências).

A avaliação pela empresa é feita baseada na revisão de documentos da proposta. A avaliação aplica aspectos técnicos e qualitativos para atender os requisitos das normas e métodos de referência. A figura A1 abaixo ilustra a avaliação recomendada.

Figura A1: Recommended evaluation for selection of contractors



## A4.2 Padrão para medições: amostra e análise

A tabela reúne as normas e métodos de referência disponíveis para medições descontínuas. A mesma indica o tipo de amostragem e medição que potencialmente resultam em dados no local ou medições contínuas (com analisadores) e o escopo dos padrões e métodos que poderiam ser apenas a amostragem ou amostragem e análise.

The plant should provide a proper sampling location in compliance with standards and reference methods. Guidance for establishing proper sampling locations can be found in the **standard EN 15259:2007** "Measurement of stationary source emissions – requirements for the measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report". The standards and reference methods guide the plant on how to determine a sampling location as well as a working platform.

Tabela A3: Padrões e Métodos de referência para amostragem (poluente)

Poluente	Norma/Método de referência	Descontínuo/ Contínuo	Amostragem/Análise
MP	EN 13284-1:2002	Descontínuo	Amostragem e análise
	Método US EPA 5, 5i, 17	Descontínuo	
	ISO 9096:2003	Descontínuo	
	ISO 12141:2002	Descontínuo	
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> e NO <sub>2</sub> )	EN 14792:2006	Contínuo	Amostragem e análise
	Método US EPA 7 E	Contínuo	
	Método US EPA 7 (A à D)	Descontínuo	
	ISO 10849:1996	Contínuo	
	ISO 11564:1998	Descontínuo	
Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> e SO <sub>2</sub> )	EN 14791:2006	Descontínuo	Amostragem e análise
	Método US EPA 6 C	Contínuo	
	US EPA 6, 6A, 8	Descontínuo	
	ISO 7935:1992	Contínuo	
	ISO 7934:1998	Descontínuo	
	ISO 11632:1998	Descontínuo	
Hg	EN 13211:2001-2005	Descontínuo	Amostragem
	EN 14884:2005	Contínuo	Amostragem e análise
	Método US EPA 29 101A	Descontínuo	
Metais Pesados	EN 14385:2004	Descontínuo	Amostragem e análise
	Método US EPA 29	Descontínuo	
VOC / THC	EN 13649:2002	Descontínuo	Amostragem e análise
	EN 12619:2000	Contínuo	
	Método US EPA 25A	Contínuo	
PCDD/F	EN 1948-1/2/3/4:2006	Descontínuo	Amostragem e análise
	Método US EPA 23	Descontínuo	

Tabela A4: Normas e Métodos de Referência para amostragem (parâmetros)

Parâmetro	Padrão/ Método de Referência	Descontínuo/Contínuo	Amostra/análise
<b>Velocidade do gás, umidade e oxigênio</b>			
<b>Taxa de vazão e velocidade</b>	US EPA 1, 2	Contínuo	Medição
	ISO 10780:1994	Contínuo	
<b>Umidade (vapor de água)</b>	EN 14790:2005	Descontínuo	Amostragem e análise
	US EPA 4	Descontínuo	
<b>Oxigênio</b>	EN 14789:2006	Descontínuo	Amostragem
	US EPA 3, 3B	Descontínuo	
	US EPA 3A	Contínuo	Amostragem e análise

É recomendável utilizar estas normas métodos de referência. Métodos definidos por normas nacionais ou métodos reconhecidos equivalentes às normas e métodos de referência recomendados podem ser utilizados. Métodos equivalentes podem ser utilizados depois de tais métodos serem comparados pelo menos uma vez por meio de testes em duplicata com os métodos ou padrões de referência recomendados.

#### A4.3 Requisitos mínimos para Limite de Detecção

Limite de Detecção (LOD) é o número de concentração mínima detectável pela metodologia de análise. O valor LOD depende da amostragem, preparação da amostra e métodos analíticos utilizados e, portanto, podem diferir em medida ou de um laboratório para outro. O valor de LOD deve incluir todo processo, amostragem e análise, e não ser limitado à parte analítica apenas. O Limite de Detecção deve ser reportado pelo laboratório e deve ser um fator determinante na escolha do laboratório adequado.

Atenção deve ser dada para o LOD de metais pesados (HM), dioxinas e furanos.

O Limite de Detecção está reportado no Apêndice B.

#### A4.4 Recomendações para relatórios emitidos por laboratórios

O relatório deve fornecer uma descrição do objetivo e o plano das medições e uma descrição completa das medições. Ele deve fornecer detalhes suficientes para que os resultados possam ser rastreados através dos cálculos até os dados básicos recolhidos e condições de operação do processo. Uma referência para a informação reportada pode ser encontrada na norma EN 15259:2007 "Medição de fontes estacionárias de emissão – requisitos para secções e locais de medição e para o objetivo, plano e relatório das medições".

Ele deve incluir as seguintes informações:

- Um sumário executivo fornecendo:
  - Referência da planta onde as medições foram feitas;
  - Referência do laboratório;
  - Objetivo das medições;
  - Poluentes e parâmetros medidos;
  - Data da amostragem;
  - Incertezas nas medições;
  - Métodos de medição aplicados;
  - Desvio do plano de medição e métodos;
  - Resultados de medição
- Definição do projeto pela especificação do objetivo das medições;
- Descrição da planta e condições de operação;
- Identificação dos pontos de medição;
- Identificação dos métodos de medição e aparelhos de acordo com os padrões;
- Condições de operação da planta durante as medições;
- Referência sobre como acessar e utilizar os dados originais para verificação;
- Resultados das medições e outros dados relevantes necessários para a interpretação dos resultados;
- Procedimentos de cálculo;
- Apresentação dos resultados;
- Os requisitos das normas devem ser observados. O desvio com relação às deve ser reportado e documentado, bem como o desvio dos planos de medição.



## A5 Representatividade e validação dos dados

Cada companhia deve estabelecer seu próprio processo de validação de dados.

Cada companhia deve atribuir recursos e responsabilidades para o monitoramento, validação e registro das emissões.

O processo de garantia de qualidade deve ser implantado para as medições contínuas e descontínuas e avaliar a coerência dos dados. Valores de concentração ou vazão específica ou fatores de emissão fora do intervalo normal para fornos de cimento têm origem, provavelmente, num erro de monitoramento.

O processo de validação deve comparar emissões monitoradas pelo mesmo forno e poluente em diferentes meses e anos. Um erro

de monitoramento é provável se diferenças de emissão não podem ser explicadas por mudanças no nível de atividade, mudanças na natureza dos combustíveis ou matérias-primas, ou modificações de processo, etc.

Os laboratórios devem enviar um projeto de relatório para a companhia revisar. A pessoa designada deve verificar se o relatório é consistente com a ordem dada para o laboratório, se inclui as informações necessárias estabelecidas no pedido e se os dados estão em conformidade com o processo de garantia descrito acima.

O projeto do relatório torna-se definitivo uma vez que a companhia o aceite. O relatório é então gravado e arquivado.



## A6 Dados do relatório

Relatórios de emissões ao redor do mundo devem ser padronizados. Para alcançar esta padronização é recomendável instalar um sistema de processamento dos dados de emissão e de avaliação, mesmo que ele não seja um requisito da autoridade, ou, no mínimo, uma ferramenta permitindo a aquisição rápida e precisa das informações de emissão de cada forno.

A aquisição e gestão dos dados deve permitir o relato dos seguintes parâmetros:

- Concentração de material particulado,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  e, em alguns casos, VOC, que são continuamente medidos, devem ter suas médias horária, diária, mensal e anual calculadas.
- Massa de material particulado,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  e, em alguns casos, VOC, que são continuamente medidos devem ter suas médias em base horária, diária, mensal e anual calculadas. O relatório CSI inclui apenas valores de massa anuais com os períodos de menor duração integrados para aumentar a exatidão do valor anual.
- Validação dos dados de acordo com todos os requisitos legais<sup>10</sup>.

Em complemento, a aquisição e gestão dos dados devem satisfazer os seguintes requisitos:

- Concentração e vazão utilizadas para a determinação da massa a ser convertida para a mesma referência para a determinação da massa.
- Salvo disposição contrária pela autoridade competente, é recomendado que todos os valores de concentração e vazão sejam convertidos para o valor de referência de  $\text{O}_2$  (10%), base seca.

- O período de integração dos valores adquiridos deve ser no máximo, uma vez por hora, a cada 30 minutos de preferência. O período de integração utilizado para calcular a média deve ser dentro do período operacional.
- O período operacional é definido pela autoridade local. Na ausência de regras locais, o período operacional é definido de acordo com as horas efetivamente operadas, excluindo o período de start-up e shutdown.

### A – Convenções para o relatório Condições de Referência

#### Temperatura e pressão

$$T_{\text{Referência}} = 273 \text{ K}$$

$$P_{\text{Referência}} = 101,3 \text{ kPa (1013 mbar)}$$

#### Umidade e oxigênio

$$f_{\text{Referência}} = 0\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$\text{O}_{2\text{Referência}} = 10\% \text{ O}_2$$

Outros valores de referência para concentração de oxigênio podem ser utilizados, mas tais casos devem ser explicitamente declarados.

<sup>10</sup> É recomendado o monitoramento do sinal de status dos CEM (erros, manutenção, etc.) e calcular a disponibilidade para cada medição.

## Conversões

Dependendo do método de medição os dados medidos  $C_{medido}$  devem ser calculados de acordo com as condições estabelecidas baseadas na correção ( $C_{corrigido}$ ).

$$C_{corrigido} = C_{medido} \times \frac{21 - O_{2referência}}{21 - O_{2medido}} \times \frac{T_{medido} + 273}{T_{referência} + 273} \times \frac{P_{referência}}{P_{medido}} \times \frac{100 - f_{referência}}{100 - f_{medido}}$$

## Concentração ([ppm] para [mg/Nm<sup>3</sup>])

$$C[mg/Nm^3] = \frac{MassaMolar[kg/kmol]}{22,4[Nm^3/kmol]} \times C[ppm]$$

## Concentração (para O<sub>2</sub> de referência)

$$C_{O_2referência} = C_{O_2medido} \times \frac{21 - O_{2referência}}{21 - O_{2medido}}$$

## Vazão

$$Q_{referência} [Nm^3/h] = Q_{medido} [m^3/h] \times \frac{T_{referência} [K]}{T_{medido} [K]} \times \frac{P_{medido} [kPa]}{P_{referência} [kPa]}$$

## Vazão (base úmida para base seca)

$$Q_{seca} = Q_{úmida} \times \frac{100 - \%H_2O}{100}$$

Tabela A5: Substâncias inorgânicas na forma de gás, vapor ou partícula.

Substâncias	Observações
<p><b>Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)</b> = NO + NO<sub>2</sub></p> <p>Expresso como NO<sub>2</sub>: mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>, base seca, 10% de O<sub>2</sub></p>	<p>a) No caso em que os analisadores medem apenas NO [ppm]:</p> $NO_x [mg NO_2/Nm^3] = \frac{46}{22,4} \times NO [ppm]$ <p>Nota: a contribuição de NO<sub>2</sub> [≤ 5% de NO medido] é negligenciada:</p> <hr/> <p>b) No caso em que NO [ppm] e NO<sub>2</sub> são medidos por analisadores contínuos:</p> $NO_x [mg NO_2/Nm^3] = \frac{46}{22,4} \times (NO[ppm] + NO_2[ppm])$
<p><b>Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>)</b> = SO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub></p> <p>Expresso como SO<sub>2</sub>: mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>, base seca, 10% de O<sub>2</sub></p>	<p>Analisadores contínuos medem apenas SO<sub>2</sub> [ppm]:</p> $SO_2 [mg SO_2/Nm^3] = \frac{64}{22,4} \times SO_2 [ppm]$ <p>Nota: O SO<sub>3</sub> é insignificante e na prática apenas SO<sub>2</sub> é considerado.</p>
<p><b>Metas pesados (Hg, Cd, Tl, Sb, Cr, Pb, Cu, Co, Mn, As, Ni, e V).</b> Expresso em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca, 10% de O<sub>2</sub></p>	<p>Os metais pesados incluem as formas gasosa, vapor e condensada das emissões dos metais pesados, bem como seus compostos</p>

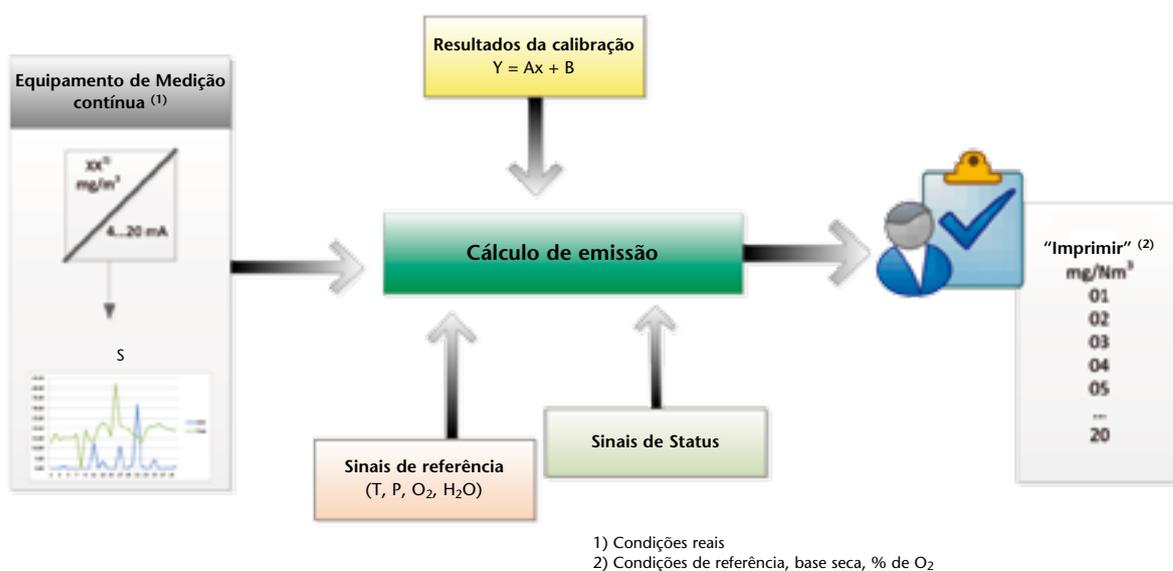
Tabela A6: Substâncias orgânicas na forma de gás, vapor ou partícula.

Substância	Observações
<b>Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)</b> Expresso como carbono: mg Carbono/Nm <sup>3</sup> , base seca, 10% de O <sub>2</sub>	VOCs são um grande número de diferentes compostos orgânicos e eles são medidos como carbono orgânico volátil (VOC) ou hidrocarbonetos totais (THC). Eles incluem metano e etano.
<b>Dioxinas e Furanos (PCDD/F)</b> Expresso como ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup> , base seca, 10% de O <sub>2</sub>	Onde I TEQ é Equivalente Tóxico internacional para 2,3,7,8 TCDD

É recomendável que os dados do sistema de monitoramento automático devam ser processados de acordo com as condições de referência estabelecidas no anexo Técnico. Em todo o caso,

deve ser possível integrar os dados do sistema de monitoramento automático às emissões de massa anuais como especificado neste documento.

Figura A2: Automated measuring system



## B – Monitoramentos Descontínuos – Laboratórios

Dados oriundos de medições descontínuas entregues pelos laboratórios devem ser processados para obter as emissões anuais específicas e absolutas que devem ser reportadas.

### Dados anuais:

A concentração é a média de cada concentração medida expressa nas condições de referência.

A vazão de massa pode ser determinada como:

*Concentração X vazão do gás X horas de operação do forno*

Or:

*Concentração X vazão específica do gás X clínquer produzido*

Onde uma medição é mais baixa que o limite de detecção, o valor que deve ser reportado por forno deve corresponder à metade do limite de detecção. No caso de duas ou mais medições nas quais ao menos um valor reportado está com o caractere “<” (abaixo do limite de detecção), o valor deste será calculado como metade do limite de detecção e a média final deve ser calculada adequadamente.

Na ausência de dados no relatório anual devido à ausência de medições de acordo com a frequência de medições definidos nestas diretrizes, a última emissão específica disponível (por exemplo, concentração multiplicada pela vazão específica do gás) multiplicada pela produção de clínquer deve ser utilizada para reportar a emissão de massa do dado poluente.

**Reporte anual dos dados de emissões sem CEM e onde não foi realizada nenhuma medição local:**

Se não tiverem sido realizadas medições válidas, a média das emissões específicas da companhia deve ser aplicada à produção do(s) forno(s) onde não há medições de acordo com estas diretrizes (Secção 5).

**Determinação da vazão específica na chaminé do forno**

Na ausência de medições de vazão do gás na chaminé do forno, as duas metodologias abaixo podem ser utilizadas para fornecer uma vazão específica: (A) cálculo através do consumo térmico e (B) fator de fluxo padrão quando o consumo térmico não está disponível.

A vazão específica é expressa em 0°C e 1013mbars.

A – Cálculo através do consumo térmico para combustíveis convencionais:

$$v_{\text{tot}} = (0,25 \cdot q + 0,27) \cdot \left( 1 + \frac{O_2}{(21 - O_2)} \right)$$

$v_{\text{tot}}$ : volume de gás de exaustão específico a 0°C, 1013mbars e base seca; unidade: Nm<sup>3</sup>/kg clínquer,

q: Consumo de calor específico do forno; unidade: MJ/kg clínquer;

O<sub>2</sub>: conteúdo de oxigênio no ponto de medição; unidade: volume % (seco).

Outras fórmulas podem ser utilizadas contanto que o relatório da companhia seja consistente. Nestes casos a fórmula deve estar disponível e devidamente justificada.

B – Fator padrão em Nm<sup>3</sup>/kg de clínquer nas condições de referência dependendo do tipo de processo de cimento:

**Tabela A7: Fator padrão para vazão específica na chaminé por tipo de forno**

Processo	Fator (Nm <sup>3</sup> /kg de clínquer)
AS Precalciner	2,2
AT Precalciner	2,2
Preheater	2,2
Semi-dry	2,3
Long-dry	2,7
Semi-wet	3,1
Wet	4,1



## A7 Mudanças significativas

Nestas diretrizes alguns poluentes são medidos continuamente, enquanto é apenas possível medir outros descontinuamente.

Dependendo do poluente, a frequência de medição descontinua varia de 1 a 2 anos de acordo com critérios que consideram os níveis de emissão típicos do poluente, a variabilidade das emissões e o impacto potencial no ambiente.

No entanto, quando é feita uma mudança no processo que tem o potencial de mudar o perfil de emissão de um dos poluentes para mais que os seguintes valores:

- 20% do Valor Limite de Emissão, ou;
- A concentração específica na tabela "Concentração Limiar", abaixo,

Então uma medição descontinua do poluente deve ser realizada para avaliar o novo perfil de emissão da chaminé.

Tabela A8: Concentração Limiar

Poluente	Concentração <sup>1</sup>
Hg	10µg/m <sup>3</sup>
Soma (Cd, Tl)	10µg/m <sup>3</sup>
Soma (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	100µg/m <sup>3</sup>
PCDD/PCDF como I-TEQ	20pg/m <sup>3</sup>

Nota:  
<sup>1</sup> Concentração está na condição de referência



## A8 Informação adicional e outras referências

ISO 10396:2007 – Stationary source emissions – Sampling for the automated determination of gas concentrations

ISO 14956:2002 – Evaluation of the suitability of a measurement procedure by comparison with a required measurement uncertainty

ISO 9096:2003 – Stationary source emissions – Manual determination of mass concentration of particulate matter

ISO 12141:2002 – Stationary source emissions – Determination of mass concentration of particulate matter (dust) at low concentrations – Manual gravimetric method

ISO 11095:1996 – Linear calibration using reference materials

ISO 10849:1996 – Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of nitrogen oxides – Performance characteristics of automated measuring systems

ISO 11564:1998 – Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of nitrogen oxides – Naphthylethylenediamine photometric method

ISO 7934:1998 – Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of sulfur dioxide – Hydrogen peroxide/barium perchlorate/Thorin method

ISO 7935:1992 – Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of sulfur dioxide – Performance characteristics of automated measuring

ISO 11632:1998 – Stationary source emissions – Determination of mass concentration of sulfur dioxide – Ion chromatography method

ISO 10780:1994 – Stationary source emissions – Measurement of velocity and volume flow rate of gas streams in ducts

ISO/IEC 17025:2005 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories.

EN 15259:2007 – Measurement of stationary source emissions – requirement for the measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report.

EN 13284.1:2002 – Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Manual gravimetric method

EN 15267:2008 – Air quality. Certification of automated measuring systems. Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources

EN 14792:2006 – Stationary source emissions. Determination of mass concentration of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). Reference method: Chemiluminescence

EN 14791:2005 – Stationary source emissions. Determination of mass concentration of sulfur dioxide. Reference method

EN 14884:2005 – Air quality. Stationary source emissions. Determination of total mercury: automated measuring systems

EN 14385:2005 – Stationary source emissions. Determination of the total emission of As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl and V

EN 13649:2002 – Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of individual gaseous organic compounds – Activated carbon and solvent desorption method

EN 12619:2000 – Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of total gaseous organic carbon at low concentrations in flue gases. Continuous flame ionization detector method

EN 13211:2001-2005 – Stationary source emissions. Manual method of determination of the concentration of total mercury

EN 1948-1,2,3,4:2006 or equivalent – Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs. Sampling of PCDDs/PCDFs

EN 14790:2005 – Stationary source emissions. Determination of the water vapor in ducts

EN 14789:2006 – Stationary source emissions. Determination of volume concentration of oxygen

EN 14181:2004 – Stationary source emissions. Quality assurance of automated measuring systems

US EPA method 5, 5i, 17 – Emissions from stationary sources. Determinations of particulate matters.

US EPA method 6, 6a, 6c – Determination of sulfur dioxide emissions from stationary sources

US EPA method 7a to e – Determination of nitrogen oxide emissions from stationary sources

US EPA method 8 – Determination of sulfuric acid and sulfur dioxide emissions from stationary sources

US EPA method 29 – Determination of metals emissions from stationary sources

US EPA method 101a – Determination of particulate and gaseous mercury emissions from sewage sludge incinerators.

US EPA method 25A – Determination of total gaseous organic concentration using a flame ionization analyzer

US EPA method 23 – Sampling method for polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofuran emissions from stationary sources

US EPA method 1 – Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources

US EPA method 2 – Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate

US EPA method 3 – Gas Analysis for the Determination of Dry Molecular Weight

US EPA method 3A – Determination of oxygen and carbon dioxide concentrations in emissions from stationary sources (instrumental analyzer procedure)

US EPA method 3B – Gas analysis for the determination of emission rate correction factor or excess air

US EPA method 4 – Determination of Moisture content in stacks gases

TÜV Rheinland acts as an independent, neutral and competent service provider, is governed by the principles of complete impartiality in conducting their inspection activities, control and certification and has no interest in manufacturers, installers, marketing or other developments which could pose a conflict of interest, which may in turn compromise the objectivity of the results of their actions.

MCERTS is the Environment Agency's Monitoring Certification Scheme. The Environment Agency has established its Monitoring Certification Scheme (MCERTS) to deliver quality environmental measurements. The MCERTS' product certification scheme provides for the certification of products according to Environment Agency performance standards, based on relevant CEN, ISO and national standards.

European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) – Reference Document on the General Principles of Monitoring – July 2003.

European Commission – Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Industries – May 2010.

Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on Industrial Emissions (IPPC).

National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants Compliance Monitoring (NESHAP).

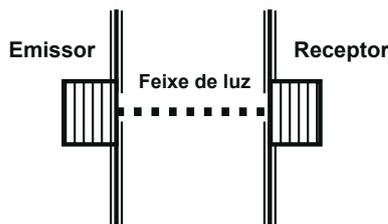


## Apêndice

### AA Sistema de Monitoramento Contínuo de Emissões: Visão Geral da Tecnologia

As medições *in situ* são feitas diretamente na chaminé e o gás não é extraído.

Figura A3: Princípio de medição do volume *in situ*



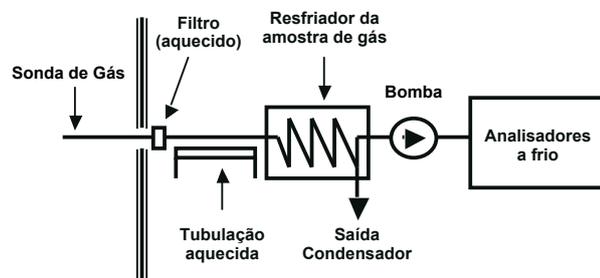
#### Dispositivos Extrativos de Medição

Na emissão extrativa, uma porção do gás é extraída da chaminé e transportada para um sistema de análise separado. O gás extraído deve ser limpo antes de entrar no analisador. A extração pode ser realizada "a frio" (a amostra é resfriada e a umidade é condensada) ou "à quente" (a amostra é mantida aquecida).

#### Dispositivos Extrativos de Medição "a frio"

Depois da extração de uma amostra do fluxo de gás este é resfriado à aproximadamente 4°C. O vapor de água condensa e é extraído através de um sistema de saída especial. O gás é então enviado aos analisadores.

Figura A4: Exemplo de dispositivo para medição extrativa a frio

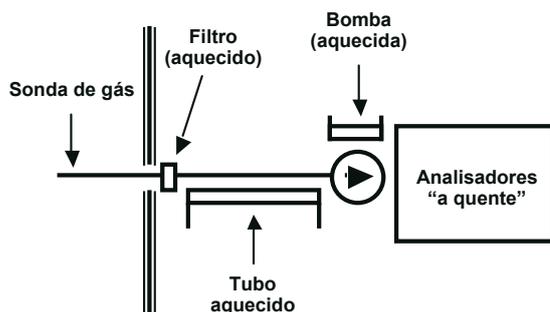


Os problemas destes dispositivos estão relacionados com as reações de alguns componentes com o condensador do resfriador de gás. Portanto, componentes como amônia, sulfetos, cloretos de hidrogênio, etc. são completamente ou parcialmente "lavados" com o condensado e uma medição precisa não é possível.

#### Dispositivo de Medição e Extração "a quente"

O gás é extraído e conservado a uma temperatura, a qual não permite condensação ou a ocorrência de reações químicas. Dependendo das substâncias medidas sua temperatura deve ser mantida entre 140°C e 200°C.

Figura A5 - Exemplo de um dispositivo de medição extrativa a quente



## Método para análise de Material Particulado

### Indicativo

- **Monitor do filtro/Sensor sonda combinado:** O monitor do filtro utiliza o efeito triboelétrico para determinar cargas de material particulado em um fluxo de gases. A carga elétrica sofrida pelas partículas devido ao atrito é captada através de uma sonda projetada dentro do canal e convertida em sinal de medição eletrônico. O sinal de medição é proporcional à medição de material particulado e pode ser calibrado com um gás de velocidade constante.

### Semi quantitativo

- **Opacidade óptica/Monitor de concentração de material particulado:** O dispositivo funciona utilizando um método de dupla passagem de acordo com o princípio da autocolimação. O feixe de luz atravessa a distância de medição duas vezes. A atenuação do feixe de luz através do conteúdo de material particulado na seção de medição é medida e avaliada.

### Quantitativo

- **Monitor de concentração de material particulado:** O dispositivo do monitor de material particulado opera de acordo com o método da dispersão de luz. A luz modulada a partir de uma lâmpada halógena ilumina as partículas no duto de exaustão. A luz difusa refletida por essas partículas é medida e avaliada.
- **Monitor de concentração de material particulado "frente de dispersão":** O dispositivo do monitor de material particulado funciona de acordo com o princípio de frente de dispersão. A luz concentrada e modulada de um diodo a laser penetra no volume a ser medido. A luz da frente de dispersão amplamente refletida pelo material particulado é medida e avaliada.

- **Concentração de material particulado para gases úmidos:** Uma corrente parcial é retirada do duto de exaustão e é continuamente aquecido e diluído com ar limpo na sonda de amostragem. Isto reduz a umidade relativa e evapora os aerossóis na sonda. A corrente parcial é opticamente medida na câmara de medição. O sinal é corrigido por um fator de diluição medido e é, portanto, uma medida do conteúdo de material particulado no duto de exaustão.
- **Monitor Indicador de material particulado extrativo beta:** A concentração de material particulado é determinada pela medição da absorção de raios beta emitido pelo emissor radioativo por partículas coletadas no duto de exaustão.

## Método de análise para gases inorgânicos

- **DL (Diodo a laser):** O princípio de medição é baseado na absorção de luz específica de componentes de gases diferentes. Se o analisador de gás emprega um único espectroscópio de absorção molecular, um diodo a laser emite um feixe de luz infravermelho próximo, o qual é enviado através de um gás de processo e detectado por uma unidade receptora. O comprimento de onda do diodo a laser é sintonizado para uma linha de absorção de gás específico. O laser examina continuamente a linha de absorção com uma resolução espectral alta. O resultado é uma linha molecular totalmente resolvida a qual é examinada através da força e forma das linhas de absorção. A medição é livre de interferências cruzadas, uma vez que o laser de luz monocromático é absorvido seletivamente por uma linha molecular específica em um gama espectral digitalizado.
- **IR (Espectroscópio infravermelho):** Muitos poluentes gasosos absorvem energia luminosa em uma ou mais regiões do espectro. Cada tipo de molécula poluente absorve luz em um comprimento de onda e, portanto, podem ser distinguidos de outras espécies de poluentes. Um feixe de infravermelho é produzido e dividido em duas partes separadas. Um passa através da amostra e o outro através da célula de referência. Ambos os feixes são refletidos de volta para o detector e os dois sinais são comparados. Algumas fontes de infravermelho normalmente utilizadas são os analisadores NDIR, DOAS e FTIR.

- **NDIR (Infravermelho não dispersivo):** Num analisador NDIR, a luz infravermelha é emitida de uma fonte e transmitida através de duas células gasosas: uma célula de referência e a outra da amostra. A célula de referência contém um gás (nitrogênio ou argônio) que não absorve luz no comprimento de onda utilizado no equipamento e a célula de amostra contém uma amostra de gás. Como o infravermelho passa através da célula de amostra, moléculas de poluente podem absorver alguma luz e, como resultado, quando a luz emerge na extremidade da célula de amostra ele pode ter menos energia do que quando entrou. O NDIR é utilizado tanto em medições no local quanto em medições extrativas.
- **DOAS (Espectroscópio de absorção diferencial óptica):** Neste sistema, um comprimento de onda de referência é utilizado ao invés de uma célula de referência como explicado acima. Uma fonte de luz é utilizada para emitir luz em diferentes comprimentos de onda através de uma célula contendo amostra de gás. O sinal do comprimento de onda do detector de luz, onde a energia não é absorvida, é utilizado como uma medição de referência para o sinal obtido no comprimento de onda onde a energia é absorvida. DOAS é utilizado tanto em medições no local quanto em medições extrativas.

## Métodos de análise para poluentes orgânicos

- **FID (Detector Chama de Ionização):** A amostra de gás é introduzida dentro de uma chama de hidrogênio dentro do FID. Alguns hidrocarbonetos da amostra podem produzir íons quando eles são queimados. Os íons são detectados utilizando um metal coletor o qual é polarizado com uma alta voltagem. Assim, a corrente através do coletor é proporcional a taxa de ionização a qual, por sua vez, depende da concentração de hidrocarbonetos na amostra.

## Medição de Oxigênio e Vazão

- **Medição de Vazão (Princípio da medição ultrasônica):** Dois transdutores de ultrassom, montados em um determinado ângulo em relação ao eixo do fluxo, funcionam alternadamente como emissor e receptor, ou seja, cada um envia ou recebe alternadamente pulsos de ultrassom que são acelerados ou retardados dependendo da direção eles viajam: com (na mesma direção) ou contra (sentido inverso) do fluxo de gás. A diferença resultante do tempo de trânsito é utilizada para determinar a velocidade do gás. A área de seção transversal produz o fluxo volumétrico durante a operação.
- **Analisador Zircônia de Dióxido de Oxigênio:** Oferece medições exatas de acordo com o princípio de medição do sensor. Isso significa que o sinal linear do sensor é obtido em relação à faixa total de medição com um zero físico fixo. Um fluxo constante de gás medido passa através da célula sólida eletrolítica aquecida. Uma tensão é aplicada as células do eletrodo em uma temperatura  $\geq 650$  °C ( $\geq 1200$  °F) para determinar a concentração de O<sub>2</sub>. Deste modo, o íon O<sub>2</sub> é medido. Isto é derivado através da correlação linear entre a concentração de O<sub>2</sub> e a quantidade de gás passando através da célula por tempo constante.

## AB Limite de detecção – valores indicados

Tabela A9: Limite de detecção – valores indicados

Poluente	Unidade	Limite de detecção <sup>1)</sup>
Hg	µg/m <sup>3</sup>	3-6
Cd	µg/m <sup>3</sup>	2-5
Tl	µg/m <sup>3</sup>	4-6
Sb	µg/m <sup>3</sup>	5-8
As	µg/m <sup>3</sup>	5-8
Pb	µg/m <sup>3</sup>	10-20
Cr	µg/m <sup>3</sup>	10-15
Cu	µg/m <sup>3</sup>	8-12
Co	µg/m <sup>3</sup>	10-15
Mn	µg/m <sup>3</sup>	5-8
Ni	µg/m <sup>3</sup>	6-9
V	µg/m <sup>3</sup>	5-8
PCDD/PCDF	pg/m <sup>3</sup>	0.1-4 <sup>2)</sup>

Notas:

<sup>1)</sup> Fonte: Research Institute of the Cement Industry (VDZ 2010) exceto para PCDD/PCDF

<sup>2)</sup> Soma dos 17 congêneres relatados como I-TEQ de acordo com EN 1948 1/2/4:2006

## Sobre o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

O WBCS (em português Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável) é uma organização liderada por CEO de empresas com visão de futuro que estimula a comunidade de negócios global para criar um futuro sustentável nas empresas, sociedade e meio ambiente. Juntamente com os membros, o conselho aplica um respeitado pensamento de liderança e efetiva representação para gerar soluções construtivas e tomar ações compartilhadas. Aproveitando sua forte relação com as partes interessadas como o principal representante dos negócios, o conselho auxilia nos debates e mudança de políticas em favor de soluções sustentáveis.

O WBCSD oferece um fórum para as 200 empresas associadas – as quais representam todos os setores de negócio, todos os continentes e um faturamento combinadas de mais de US \$7 trilhões – para compartilhar melhores práticas em questões de desenvolvimento sustentável e desenvolver ferramentas inovadoras para mudança da situação atual. O Conselho também beneficia a partir de uma rede de 60 conselhos nacionais e regionais e organizações parceiras, a maioria dos quais são baseados em países em desenvolvimento.

[www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org)

## Sobre o Cement Sustainability Initiative (CSI)

O CSI (em português Iniciativa em sustentabilidade do Cimento) é um esforço global dos 24 principais produtores de cimento com operação em mais de 100 países. Coletivamente, estas companhias representam cerca de 30% da produção mundial de cimento e variam desde multinacionais a pequenas companhias. Todos os membros CSI têm integrado em suas estratégias de negócio e operações o desenvolvimento sustentável, eles buscam um forte desempenho financeiro da mesma forma que têm compromisso ambiental e social. O CSI é uma iniciativa do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

[www.wbcsdcement.org](http://www.wbcsdcement.org)

### Aviso

Este relatório é publicado em nome do WBCSD. Ele é resultado de um esforço de colaboração dos membros de secretariado e executivo das companhias participantes do CSI. As versões foram avaliadas pelos membros do CSI de modo a assegurar que o documento represente a opinião da maioria dos membros. Contudo, isto não significa que cada empresa concorda com cada palavra.

The Portuguese language version of this document (prepared with kind contribution of Votorantim and reviewed by Cimpor) is a convenience translation of the original English language version. In case of discrepancies between the original English language document and its Portuguese convenience translation, the original English version shall apply and prevail. Please visit the CSI website ([www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org)) for more information.

A versão em Português do presente documento (uma importante contribuição do Grupo Votorantim e revista pela Cimpor) é resultado de uma tradução a partir da versão em Inglês. Para eventuais discrepâncias existentes entre o presente texto e a versão original, deverá prevalecer versão em Inglês. Para informações adicionais, visite o site da CSI ([www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org)).

**Original Layout:**  
Estelle Geisinger

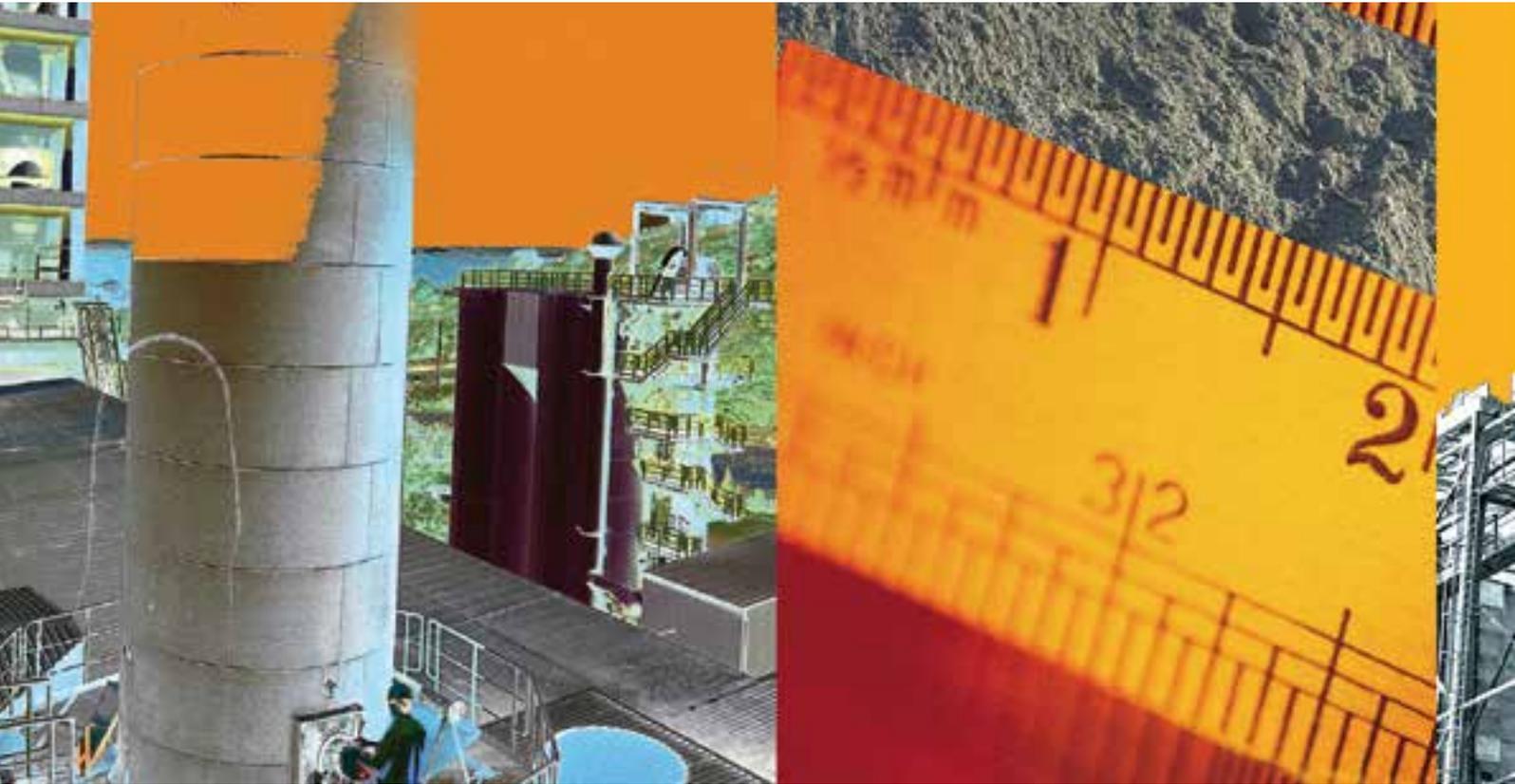
**Version 2.0:**  
Services Concept

**Photo credits:**  
Courtesy of CSI members companies

**Copyright:**  
© WBCSD, March 2012

**ISBN:**  
2-940240-77-9





World Business Council for Sustainable Development

4, chemin de Conches, CH-1231 Conches-Geneva, Switzerland, Tel: +41 (0)22 839 31 00, E-mail: [info@wbcsd.org](mailto:info@wbcsd.org)  
1500 K Street NW, Suite 850, Washington, DC 20005, US, Tel: +1 202 383 9505, E-mail: [washington@wbcsd.org](mailto:washington@wbcsd.org)

[www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org)