

**Relatório de caracterização dos efluentes gasosos da fonte  
FF3 - Forno 3  
(HF, Metais pesados, Hg e PCDD/F)**

**CIMPOR – Indústria de Cimentos, S.A.**

**Centro de Produção de Souselas**

**Relatório n.º E3/2023 – 1**

## FICHA TÉCNICA

<b>Designação do projeto:</b>	Relatório de caracterização de efluentes gasosos (HF, Metais pesados, Hg e PCDD/F)
<b>Entidade adjudicante:</b>	CIMPOR – Indústria de Cimentos, S.A.
<b>Localização das medições:</b>	Centro de Produção de Souselas Rua dos Troviscais 10 3020-886 Souselas
<b>Fonte:</b>	FF3 - Forno 3
<b>Período de medição:</b>	26 de maio de 2023 a 6 de junho de 2023
<b>Número de relatório:</b>	E3/2023 – 1
<b>Responsável técnico:</b>	Ricardo Rodrigues, Licenciado em Engenharia do Ambiente
<b>Equipa técnica:</b>	André Ferreira, Licenciado em Engenharia do Ambiente Miguel Cunha, Mestre em Engenharia do Ambiente Pedro Silva, Licenciado em Biologia Sérgio Moreira, Técnico de Qualidade Ambiental
<b>Elaboração do relatório:</b>	Jorge Cardoso, Mestre em Engenharia do Ambiente
<b>Aprovação do relatório:</b>	



Ricardo Rodrigues  
Responsável Técnico



Aprovado  
Porto, 10/07/2023

Os resultados deste relatório referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

## ÍNDICE

1. Âmbito .....	4
2. Condições de operação.....	4
3. Local de amostragem .....	4
4. Métodos e equipamentos utilizados .....	6
5. Resultados das medições .....	6
6. Anexos .....	9

## 1. ÂMBITO

A CIMPOR – Indústria de Cimentos, S.A. adjudicou ao LCM a realização de medições para determinação de fluoreto de hidrogénio (HF), metais pesados, mercúrio (Hg) e dioxinas e furanos (PCDD/F), nos efluentes gasosos da fonte FF3 - Forno 3 do Centro de Produção de Souselas.

Este projeto foi desenvolvido pelo LCM de acordo com os mais elevados padrões de qualidade, salvaguardando o cumprimento de todos os requisitos da NP EN ISO/IEC 17025:2018. O certificado de acreditação, bem como a lista de ensaios com acreditação flexível intermédia pode ser consultado no *site*:

<http://www.lcm.pt/>

As medições foram realizadas com o objetivo de dar cumprimento a requisitos de monitorização de efluentes gasosos definidos na Licença Ambiental n.º 585/0.1/2015 e seus aditamentos.

## 2. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

As condições de operação foram fornecidas pelo operador, estando definidas na(s) tabela(s) 2.1 e 2.2, para os períodos de amostragem.

**Tabela 2.1:** Condições de operação da fonte FF3 - Forno 3 nos períodos em que ocorreram as medições.

Datas e períodos	Média de alimentação [ton.h <sup>-1</sup> ]	Média de Produção [ton.h <sup>-1</sup> ]
26-05-2023 (10:30 às 15:15)	261	156
06-06-2023 (11:00 às 16:45)	271	162

**Tabela 2.2:** Consumo de combustíveis da fonte FF3 - Forno 3 nos períodos em que ocorreram as medições.

Datas e períodos	Petcoque [ton.h <sup>-1</sup> ]	Resíduos perigosos [ton.h <sup>-1</sup> ]	CDR [ton.h <sup>-1</sup> ]	Bypass ON - velocidade ventilador final - Filtro de Mangas [rpm]
26-05-2023 (10:30 às 15:15)	11,31	0,32	8,17	549,72
06-06-2023 (11:00 às 16:45)	9,20	0,40	13,15	614,02

A descrição da instalação encontra-se no anexo A.3.

## 3. LOCAL DE AMOSTRAGEM

As medições foram realizadas numa plataforma fixa da chaminé da fonte FF3 - Forno 3, dotada de 4 tomas de amostragem, desfasadas a 90°, numa secção com 3,5 m de diâmetro interno. A altura total da chaminé é de

90 m. A distância às perturbações, a montante e a jusante, é de aproximadamente 12 e 7 vezes o diâmetro interno da chaminé.

Durante a medição do caudal, e de acordo com o ponto 6.2.1 da EN 15259:2007, foram realizados vários testes para avaliar a adequação do local para a realização da amostragem. Nestes testes verificaram-se os seguintes requisitos:

- Ângulo da direção do escoamento inferior a 15°: condição verificada;
- Inexistência de caudais negativos: condição verificada;
- Velocidade mínima (pressão diferencial superior a 5 Pa): para a velocidade mínima de 21,0 m/s, a pressão diferencial registada foi de 308 Pa;
- Rácio entre velocidades inferior a 3:1: O rácio máximo de velocidades foi de 1,3:1.

É apresentada nas tabelas 3.1 e 3.2 a distribuição pontual da velocidade do efluente gasoso na secção de amostragem.

**Tabela 3.1:** Distribuição da velocidade do efluente gasoso na secção de amostragem da fonte FF3 - Forno 3 em 26-05-2023.

Velocidade (m/s)										
Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eixo 1	21,3	22,9	25,1	24,8	24,5	25,0	24,3	25,3	23,1	22,3
Eixo 2	24,1	25,7	26,1	25,3	24,8	24,2	23,8	23,5	22,2	21,4

**Tabela 3.2:** Distribuição da velocidade do efluente gasoso na secção de amostragem da fonte FF3 - Forno 3 em 06-06-2023.

Velocidade (m/s)										
Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eixo 1	21,7	24,4	25,1	25,9	25,1	25,0	24,6	25,3	24,3	23,0
Eixo 2	25,4	25,6	26,4	25,2	24,1	24,7	23,3	22,6	22,1	21,0

A secção de amostragem está de acordo com os requisitos definidos nos pontos 6.2.1 e 6.2.2 da EN 15259:2007 e ponto 4.1. da NP 2167:2007.

#### 4. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foram usados os métodos e equipamentos apresentados na tabela abaixo.

**Tabela 4.1:** Métodos e equipamentos utilizados.

Parâmetro	Norma	Método	Equipamento
Fluoreto de hidrogénio (HF) <sup>(AA/SA)</sup>	ISO 15713:2006	Potenciometria	Contador de gás n.º EP215
Metais Pesados <sup>(AA/SA)</sup>	EN 14385:2004	Espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo (ICP-MS)	Unidade de controlo de isocinetismo n.º EP250
Mercúrio (Hg) <sup>(AA/SA)</sup>	EN 13211:2001/AC:2005	Espectrometria de absorção atómica	Contador de gás n.º EP071
Dioxinas e furanos (PCDD/F) <sup>(AA/SA)</sup>	Amostragem: EN 1948-1:2006 Análise: EN 1948-2,3:2006	Cromatografia gasosa/ espectrometria de massa de alta resolução	Unidade de controlo de isocinetismo n.º EP250
Oxigénio (O <sub>2</sub> )	EN 14789:2017	Paramagnetismo	Analisador n.º EP226 Condicionamento da amostra n.º EP103 Sistema de aquisição de dados n.º EP118
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	CEN/TS 17405:2020	Espectrometria de Infravermelho	Analisador n.º EP226 Condicionamento da amostra n.º EP103 Sistema de aquisição de dados n.º EP118
Velocidade e caudal	EN ISO 16911-1:2013	Tubo de Pitot	Micromanómetro n.º EP233 Termopar n.º EP142 Barómetro n.º EP217 Tubo de pitot S n.º EP175
Humidade	EN 14790:2017	Condensação/adsorção	Balança n.º Contador de gás n.º

<sup>AA</sup>: Amostragem no âmbito de acreditação do LCM

<sup>SA</sup>: Determinação analítica fora do âmbito de acreditação do LCM e contratada a laboratório externo com método acreditado

#### 5. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

As medições foram realizadas nos efluentes gasosos da fonte FF3 - Forno 3 nos dias 26 de maio de 2023 a 6 de junho de 2023.

De acordo com a Licença Ambiental n.º 585/0.1/2015 e seus aditamentos, as concentrações de todos os parâmetros medidos foram normalizadas para uma temperatura de 273,15 K, pressão de 101,3 kPa (condições PTN) e corrigidas para um teor volúmico de oxigénio de 10 %, em base seca.

Na tabela 5.1 são apresentados de forma sumária os resultados obtidos.

**Tabela 5.1:** Resultados obtidos em condições PTN, em base seca e em relação a um teor de referência de 10 % vol. de oxigénio.

Parâmetro	Unidades	Resultado	Incerteza expandida - $U_{(C)}$	Resultado excluindo incerteza	VLE
Fluoreto de hidrogénio (HF) <sup>(AA/SA)</sup>	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,1	-	-	1
Soma Cd e TI <sup>(AA/SA)</sup>	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	0,00019	0,00001	0,00018	0,05
Soma Sb até V <sup>(AA/SA)</sup>	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	0,00459	0,00033	0,00426	0,05
Mercúrio (Hg) <sup>(AA/SA)</sup>	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	0,00037	0,00004	0,00033	0,05
Dioxinas e furanos (PCDD/F) <sup>(AA/SA)</sup>	[ng/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,00114	-	-	0,1

<: Concentração abaixo do LQ indicado

AA: Amostragem no âmbito de acreditação do LCM

SA: Determinação analítica fora do âmbito de acreditação do LCM e contratada a laboratório externo com método acreditado

As concentrações medidas de todos os parâmetros são inferiores aos valores limite de emissão (VLE) definidos na Licença Ambiental n.º 585/0.1/2015 e seus aditamentos.

Para a verificação da conformidade legal do resultado da medição, relativamente ao VLE, e tal como estabelecido pela Agência Portuguesa do Ambiente, é tido em consideração a concentração do parâmetro (nas condições de referência) após subtração do valor da incerteza da medição. Para os parâmetros que revelaram valores medidos inferiores ao LQ, a verificação da conformidade legal é efetuada com a concentração medida.

Os valores obtidos para os metais pesados, incluindo o Hg, consideram a análise das fases particulada e gasosa, assim como as suas combinações (compostos). Na tabela 5.1 são apresentadas somas de elementos de modo a permitir uma comparação com os valores limite de emissão. No caso do resultado dum elemento individual ser inferior ao limite de quantificação, considera-se metade desse valor para o cálculo da soma do grupo dos vários elementos. Quando a globalidade dos elementos é inferior ao limite de quantificação, o cálculo da soma do grupo considera o limite de quantificação de cada parâmetro.

Para a análise das PCDD/F foi realizada a determinação dos congéneres e calculada a concentração total com base no conceito de equivalência tóxica, de acordo com o anexo VI do Decreto-Lei n.º 127/2013, de 30 de agosto. Com base neste valor I-TEQ é possível a sua comparação com os valores limite de emissão. As concentrações dos diversos congéneres são apresentadas nas tabelas de resultados detalhados no anexo A.1. Os resultados obtidos para as PCDD/F baseiam-se num período de recolha de amostra de seis horas (período mínimo de recolha de amostras). Sempre que o resultado de um congénere é inferior ao limite de quantificação, o cálculo da soma dos diversos congéneres, apresentada na tabela 5.1, considera o limite de quantificação de cada congénere.

A incerteza das medições inclui as componentes da amostragem e da determinação analítica, tendo sido calculada com base no Guia para a Expressão da Incerteza na Medição (GUM), usando o método indireto.

A incerteza expandida apresentada está expressa pela incerteza padrão multiplicada por fator de expansão  $k=2$ , o qual para uma distribuição normal corresponde a um nível de confiança de, aproximadamente, 95 %.

A incerteza expandida ( $k=2$ ) estimada para o caudal, nas condições de operação, é de 4 % do valor medido.

Para valores próximos dos limites de quantificação a incerteza pode ser superior aos valores apresentados.

Para o HF e PCDD/F não se apresenta o valor da incerteza, uma vez que as concentrações medidas são inferiores aos limites de quantificação.

Os resultados das medições referidas a um teor volúmico de oxigénio de 10 %, caudais mássicos de emissão e condições do escoamento (velocidade e caudal do efluente, teor de oxigénio, humidade, temperatura e pressão), assim como os valores “tal-qual” medidos, sem qualquer correção em relação ao oxigénio são apresentados nas tabelas de resultados detalhados no anexo A.1.

O caudal do gás amostrado foi ajustado para condições de isocinetismo durante a amostragem de metais pesados e PCDD/F.

Os caudais mássicos foram calculados a partir do produto da concentração e o caudal do efluente gasoso.

Todos os métodos utilizados na determinação dos componentes solicitados estão acreditados pela norma NP EN ISO/IEC 17025:2018.

## **6. ANEXOS**

A.1. Resultados detalhados

A.2. Materiais de referência

A.3. Descrição da instalação

A.4. Lay-out

A.5. Desenho da chaminé

## A.1. Resultados detalhados

Os resultados detalhados são representados nas tabelas A.1. 1. a A.1. 9.

**Tabela A.1. 1:** Concentração e caudal mássico de Fluoreto de hidrogénio (HF) no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		26-05-2023
Número de laboratório da amostra		E3/2023-1.401
Data de análise		20-06-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		13:05-13:42
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	994
Temperatura	[°C]	113
Humidade	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	0,123
Humidade	[%]	13,2
Oxigénio (O <sub>2</sub> )	[%]	12,41
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	14,78
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,2
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m <sup>3</sup> /h]	803000
Condição PTN, húmida	[Nm <sup>3</sup> /h]	557000
Condição PTN, seca	[Nm <sup>3</sup> /h]	484000
Volume da amostra	[Nm <sup>3</sup> ]	0,258
<b>Concentrações, em condições PTN @ 10 % Vol. de O<sub>2</sub>, em base seca</b>		
Fluoreto de hidrogénio (HF)	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,1
<b>Concentrações, em condições PTN, em base seca</b>		
Fluoreto de hidrogénio (HF)	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,1
<b>Caudal mássico</b>		
Fluoreto de hidrogénio (HF)	[kg/h]	< 0,04

<: Concentração e caudal mássico abaixo do LQ indicado

**Tabela A.1. 2:** Concentração de Metais pesados, em condições PTN, em base seca e em relação a um teor de referência de 10 % vol. de oxigênio, no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		26-05-2023
Número de laboratório da amostra		PR235807600.5-8
Data de análise		31-05-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		13:57-15:11
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	994
Temperatura	[°C]	113
Humidade	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	0,123
Humidade	[%]	13,2
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	[%]	12,22
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	15,15
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,2
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m <sup>3</sup> /h]	803000
Condição PTN, húmida	[Nm <sup>3</sup> /h]	557000
Condição PTN, seca	[Nm <sup>3</sup> /h]	484000
Volume da amostra	[Nm <sup>3</sup> ]	1,455
Taxa de isocinetismo	[%]	102
<b>Concentrações, em condições PTN @ 10 % Vol. de O<sub>2</sub>, em base seca</b>		
Cádmio (Cd)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,0761
Tálio (Tl)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1542
Soma Cd e Tl excl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1542
Soma Cd e Tl considerando metade do LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1923
Soma Cd e Tl incl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,2303
Antimônio (Sb)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,137
Arsénio (As)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,0393
Chumbo (Pb)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,591
Cobalto (Co)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,0336
Cobre (Cu)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,701
Crómio (Cr)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,395
Manganês (Mn)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	1,403
Níquel (Ni)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	1,148
Vanádio (V)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1397
Soma Sb até V excl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	4,587
Soma Sb até V considerando metade do LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	4,587
Soma Sb até V incl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	4,587

Soma excl. LQ: Valor calculado incluindo apenas os elementos quantificados

Soma considerando metade do LQ: Valor calculado considerando para os elementos não quantificados metade do seu limite de quantificação (LQ)

Soma incl. LQ: Valor calculado incluindo os elementos não quantificados, considerando o valor do limite de quantificação (LQ)

<: Concentração abaixo do LQ indicado

**Tabela A.1. 3:** Concentração de Metais pesados, em condições PTN, em base seca “tal qual” medidos no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		26-05-2023
Número de laboratório da amostra		PR235807600.5-8
Data de análise		31-05-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		13:57-15:11
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	994
Temperatura	[°C]	113
Humidade	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	0,123
Humidade	[%]	13,2
Oxigénio (O <sub>2</sub> )	[%]	12,22
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	15,15
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,2
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m <sup>3</sup> /h]	803000
Condição PTN, húmida	[Nm <sup>3</sup> /h]	557000
Condição PTN, seca	[Nm <sup>3</sup> /h]	484000
Volume da amostra	[Nm <sup>3</sup> ]	1,455
Taxa de isocinetismo	[%]	102
<b>Concentrações, em condições PTN, em base seca</b>		
Cádmio (Cd)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,0607
Tálio (Tl)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1231
Soma Cd e Tl excl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1231
Soma Cd e Tl considerando metade do LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1534
Soma Cd e Tl incl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1838
Antimónio (Sb)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,109
Arsénio (As)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,0314
Chumbo (Pb)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,471
Cobalto (Co)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,0268
Cobre (Cu)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,559
Crómio (Cr)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,315
Manganês (Mn)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	1,120
Níquel (Ni)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,9159
Vanádio (V)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,1115
Soma Sb até V excl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	3,661
Soma Sb até V considerando metade do LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	3,661
Soma Sb até V incl. LQ	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	3,661

Soma excl. LQ: Valor calculado incluindo apenas os elementos quantificados

Soma considerando metade do LQ: Valor calculado considerando para os elementos não quantificados metade do seu limite de quantificação (LQ)

Soma incl. LQ: Valor calculado incluindo os elementos não quantificados, considerando o valor do limite de quantificação (LQ)

<: Concentração abaixo do LQ indicado

**Tabela A.1. 4:** Caudal mássico de Metais pesados no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		26-05-2023
Número de laboratório da amostra		PR235807600.5-8
Data de análise		31-05-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		13:57-15:11
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	994
Temperatura	[°C]	113
Humidade	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	0,123
Humidade	[%]	13,2
Oxigénio (O <sub>2</sub> )	[%]	12,22
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	15,15
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,2
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m <sup>3</sup> /h]	803000
Condição PTN, húmida	[Nm <sup>3</sup> /h]	557000
Condição PTN, seca	[Nm <sup>3</sup> /h]	484000
Volume da amostra	[Nm <sup>3</sup> ]	1,455
Taxa de isocinetismo	[%]	102
<b>Caudal mássico</b>		
Cádmio (Cd)	[g/h]	< 0,0294
Tálio (Tl)	[g/h]	0,05956
Soma Cd e Tl excl. LQ	[g/h]	0,05956
Soma Cd e Tl considerando metade do LQ	[g/h]	0,07426
Soma Cd e Tl incl. LQ	[g/h]	0,08896
Antimónio (Sb)	[g/h]	0,0529
Arsénio (As)	[g/h]	0,0152
Chumbo (Pb)	[g/h]	0,228
Cobalto (Co)	[g/h]	0,0130
Cobre (Cu)	[g/h]	0,271
Crómio (Cr)	[g/h]	0,153
Manganês (Mn)	[g/h]	0,5421
Níquel (Ni)	[g/h]	0,4433
Vanádio (V)	[g/h]	0,05397
Soma Sb até V excl. LQ	[g/h]	1,772
Soma Sb até V considerando metade do LQ	[g/h]	1,772
Soma Sb até V incl. LQ	[g/h]	1,772

Soma excl. LQ: Valor calculado incluindo apenas os elementos quantificados

Soma considerando metade do LQ: Valor calculado considerando para os elementos não quantificados metade do seu limite de quantificação (LQ)

Soma incl. LQ: Valor calculado incluindo os elementos não quantificados, considerando o valor do limite de quantificação (LQ)

<: Caudal mássico abaixo do valor indicado

**Tabela A.1. 5:** Concentração e caudal mássico de Mercúrio (Hg) no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		26-05-2023
Número de laboratório da amostra		PR235807601.3-6
Data de análise		31-05-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		10:30-11:10
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	994
Temperatura	[°C]	113
Humidade	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	0,118
Humidade	[%]	12,8
Oxigénio (O <sub>2</sub> )	[%]	12,28
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	14,75
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,2
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m <sup>3</sup> /h]	803000
Condição PTN, húmida	[Nm <sup>3</sup> /h]	557000
Condição PTN, seca	[Nm <sup>3</sup> /h]	484000
Volume da amostra	[Nm <sup>3</sup> ]	0,655
<b>Concentrações, em condições PTN @ 10 % Vol. de O<sub>2</sub>, em base seca</b>		
Mercúrio (Hg)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,365
<b>Concentrações, em condições PTN, em base seca</b>		
Mercúrio (Hg)	[µg/Nm <sup>3</sup> ]	0,289
<b>Caudal mássico</b>		
Mercúrio (Hg)	[g/h]	0,140

**Tabela A.1. 6:** Concentração de Dioxinas e furanos (PCDD/F), em condições PTN, em base seca e em relação a um teor de referência de 10 % vol. de oxigênio, no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		06-06-2023
Número de laboratório da amostra		23EK501259-002
Data de análise		06-07-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		10:05-16:34
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	996
Temperatura	[°C]	120
Humidade	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	0,127
Humidade	[%]	13,6
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	[%]	11,74
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	15,30
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,6
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m <sup>3</sup> /h]	818000
Condição PTN, húmida	[Nm <sup>3</sup> /h]	559000
Condição PTN, seca	[Nm <sup>3</sup> /h]	483000
Volume da amostra	[Nm <sup>3</sup> ]	11,787
Taxa de isocinetismo	[%]	102
<b>Concentrações, em condições PTN @ 10 % Vol. de O<sub>2</sub>, em base seca</b>		
2,3,7,8-TetraCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,24
1,2,3,7,8-PentaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,30
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,61
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,61
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,61
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,69
OctaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 2,85
2,3,7,8-TetraCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,40
1,2,3,7,8-PentaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,56
2,3,4,7,8-PentaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,56
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,50
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,50
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,50
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,50
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,65
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,49
OctaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 4,04
PCDD/F valor I-TEQ excl. LQ	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	ND
PCDD/F valor I-TEQ incl. LQ	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 1,14

I-TEQ excl. LQ: Valor calculado incluindo apenas os congêneres quantificados

I-TEQ incl. LQ: Valor calculado incluindo os congêneres não quantificados, considerando o valor do limite de quantificação (LQ)

ND: Não detetado, uma vez que nenhum dos congêneres se encontra acima do limite de quantificação

<: Concentração abaixo do LQ indicado

**Tabela A.1. 7:** Concentração de Dioxinas e furanos (PCDD/F), em condições PTN, em base seca “tal qual” medidos no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		06-06-2023
Número de laboratório da amostra		23EK501259-002
Data de análise		06-07-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		10:05-16:34
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	996
Temperatura	[°C]	120
Humidade	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	0,127
Humidade	[%]	13,6
Oxigénio (O <sub>2</sub> )	[%]	11,74
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	15,30
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm <sup>3</sup> ]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,6
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m <sup>3</sup> /h]	818000
Condição PTN, húmida	[Nm <sup>3</sup> /h]	559000
Condição PTN, seca	[Nm <sup>3</sup> /h]	483000
Volume da amostra	[Nm <sup>3</sup> ]	11,787
Taxa de isocinetismo	[%]	102
<b>Concentrações, em condições PTN, em base seca</b>		
2,3,7,8-TetraCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,20
1,2,3,7,8-PentaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,25
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,51
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,51
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,51
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,58
OctaCDD	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 2,40
2,3,7,8-TetraCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,34
1,2,3,7,8-PentaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,47
2,3,4,7,8-PentaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,47
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,42
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,42
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,42
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,42
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,55
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,41
OctaCDF	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 3,40
PCDD/F valor I-TEQ excl. LQ	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	ND
PCDD/F valor I-TEQ incl. LQ	[pg/Nm <sup>3</sup> ]	< 0,96

I-TEQ excl. LQ: Valor calculado incluindo apenas os congéneres quantificados

I-TEQ incl. LQ: Valor calculado incluindo os congéneres não quantificados, considerando o valor do limite de quantificação (LQ)

ND: Não detetado, uma vez que nenhum dos congéneres se encontra acima do limite de quantificação

<: Concentração abaixo do LQ indicado

**Tabela A.1. 8:** Caudal mássico de Dioxinas e furanos (PCDD/F) no efluente gasoso da fonte FF3 - Forno 3.

Data de amostragem		06-06-2023
Número de laboratório da amostra		23EK501259-002
Data de análise		06-07-2023
Condições de operação		Normal
Período das medições		10:05-16:34
Pressão atmosférica	[hPa]	997
<b>Parâmetros do escoamento</b>		
Pressão absoluta	[hPa]	996
Temperatura	[°C]	120
Humidade	[kg/Nm³]	0,127
Humidade	[%]	13,6
Oxigénio (O <sub>2</sub> )	[%]	11,74
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	[%]	15,30
Densidade (PTN, seca)	[kg/Nm³]	1,387
Velocidade	[m/s]	23,6
<b>Caudal médio</b>		
Condição de operação	[m³/h]	818000
Condição PTN, húmida	[Nm³/h]	559000
Condição PTN, seca	[Nm³/h]	483000
Volume da amostra	[Nm³]	11,787
Taxa de isocinetismo	[%]	102
<b>Caudal mássico</b>		
2,3,7,8-TetraCDD	[µg/h]	< 0,097
1,2,3,7,8-PentaCDD	[µg/h]	< 0,12
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	[µg/h]	< 0,25
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	[µg/h]	< 0,25
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	[µg/h]	< 0,25
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	[µg/h]	< 0,28
OctaCDD	[µg/h]	< 1,16
2,3,7,8-TetraCDF	[µg/h]	< 0,16
1,2,3,7,8-PentaCDF	[µg/h]	< 0,23
2,3,4,7,8-PentaCDF	[µg/h]	< 0,23
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	[µg/h]	< 0,20
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	[µg/h]	< 0,20
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	[µg/h]	< 0,20
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	[µg/h]	< 0,20
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	[µg/h]	< 0,27
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	[µg/h]	< 0,20
OctaCDF	[µg/h]	< 1,64
PCDD/F valor I-TEQ excl. LQ	[µg/h]	ND
PCDD/F valor I-TEQ incl. LQ	[µg/h]	< 0,46

I-TEQ excl. LQ: Valor calculado incluindo apenas os congéneres quantificados

I-TEQ incl. LQ: Valor calculado incluindo os congéneres não quantificados, considerando o valor do limite de quantificação (LQ)

ND: Não detetado, uma vez que nenhum dos congéneres se encontra acima do limite de quantificação

<: Caudal mássico abaixo do valor indicado

**Tabela A.1. 9:** Resultados dos brancos de campo.

Parâmetro	Unidades	Código da amostra	Resultado	< 10 % VLE
Fluoreto de hidrogénio (HF)	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	E3/2023-1.400	< 0,1	√
Soma Cd e Tl	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	PR235807600.1-4	0,00005	√
Soma Sb até V	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	PR235807600.1-4	0,00113	√
Mercúrio (Hg)	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	PR23580760.09-12	0,00008	√
Dioxinas e furanos (PCDD/F)	[ng/Nm <sup>3</sup> ]	23EK501259-001	< 0,00096	√

&lt;: Concentração abaixo do LQ indicado

## A.2. Materiais de referência

Tabela A.2. 1: Gases de referência usados para ajuste dos analisadores.

Componente	Concentração	Certificado n.º	Validade (mm-aa)
O <sub>2</sub>	18.25 %	12834/22	03-25
CO <sub>2</sub>	18,87 %		
CO	1588 ppm		

### A.3. Descrição da instalação

As informações relativas à descrição da unidade industrial e de processo foram fornecidas pelo operador.

#### Da pedreira à britagem

As matérias-primas são submetidas à operação de britagem em duas instalações de britagem, britagem 1 para as 1ª e 2ª linhas e a britagem 2 comum às 3 linhas, com o objetivo de obter uma fração de material inferior a 50 mm. O material obtido é depositado, em camadas, em dois parques de pré-homogeneização.

Tabela A.3.1: Características dos britadores.

Britadores	1	2
Fabricante	DRAGON	KRUPP
Tipo	Duplo rotor	Duplo rotor
Potência (Kw)	2 x 400	2 x 580
Produção (t/h)	650	900
Parques de Pré-Homo	PH1	PH2
Tipo	Longitudinal descontínua	Longitudinal descontínua
Capacidade (t)	2 x 20.000	2 x 30.000

A composição química do material depositado denominado “mistura”, é definida previamente e controlada por dois analisadores de raios γ “on-line” instalados à saída de cada um dos britadores.

#### Preparação do cru

Tabela A.3.2: Características dos moinhos de cru.

Moinhos de cru	1 e 2	3
Fabricante	FIVES – LILLE	POLYSIUS
Tipo	Duplo “rotator”	Vertical de galgas
Dimensões (m)	Ø = 3,6      L = 11	Ø = 4,6      4 galgas de Ø = 2,4
Potência (Kw)	1450	1850
Produção (t/h)	110	315

**Tabela A.3.3:** Caraterísticas dos silos.

Silos “Homo-Stock”	1 e 2	3
Fabricante	FULLER	POLYSIUS
Tipo	Contínuo	Contínuo
Capacidade	1 silo de 3.045 t por linha 1 silo de 3.825 t por linha	2 silos de 14.000 t cada

### Do cru ao clínquer

O pet-coque e/ou o carvão são secos e reduzidos a uma granulometria inferior a 90 µm de modo a garantir um bom processo de combustão no forno. Estas operações são realizadas em duas instalações de moagem em circuito fechado. No processo de secagem são aproveitados os gases quentes provenientes do pré-aquecedor.

**Tabela A.3.4:** Caraterísticas das moagens de carvão.

Moagens de carvão	31	41
Fabricante	Polysius	Polysius
Tipo	Moinho bolas ventilado	Moinho bolas ventilado
Dimensões (m)	Ø = 3,2 L = 6,5	Ø = 3,2 L = 6,5
Separador dinâmico	Sepol LMK 150	Sepol LMK 150
Potência (Kw)	650	650
Produção (t/h)	22	22

**Tabela A.3.5:** Caraterísticas das linhas de fabrico.

Linhas de Fabrico	Forno 1	Forno 3	Forno 3
Fabricante	FIVES – LILLE	FIVES – LILLE	POLYSIUS
Produção (t/d)	1.600	1.600	4.200
Dimensões (m)	Ø = 4,6      L = 70	Ø = 4,6      L = 70	Ø = 5,0      L = 72
Pré-aquecedor	4 etapas	4 etapas	4 etapas
Pré-calcinador	-	-	Sistema SLC – D FLS
Arrefecedor	Fuller (grelha)	Fuller (grelha)	FLS (SF 4 x 4 Grelha)

## Produção de cimento

Além do clínquer e de um regulador de presa – o gesso – o CPS utiliza o “filer” calcário para a produção de diferentes tipos de cimento:

- CEM I 42,5R
- CEM II/A-L 42,5R
- CEM II/A-V 42,5R
- CEM II/B-L 32,5N

O centro possui todos os tipos de cimento certificados de acordo com NP EN 197-1 (2001) e com a marca de qualidade CE.

Existem quatro instalações de moagem de cimento em circuito fechado, duas delas para as linhas 1 e 2 e outras duas para a linha 3.

O cimento é armazenado em 12 silos: 3 silos com capacidade de 6.120 toneladas cada, 3 silos de 6.480 toneladas cada, 2 silos de 12.000 toneladas cada, 3 silos de 200 toneladas cada e 1 silo de 2.100 toneladas. As cinzas volantes, recebidas das centrais térmicas, são armazenadas num silo metálico com capacidade de 1.200 toneladas.

**Tabela A.3.6:** Características das moagens de cimento.

Moagens Cimento	1	2	3	4
<b>Fabricante</b>	Fives – Lille	Fives – Lille	Polysius	Polysius
<b>Tipo</b>	Moinho bolas	Moinho bolas	Moinho bolas	Moinho bolas
<b>Dimensões (m)</b>	Ø = 4,0 L = 12,75	Ø = 4,0 L = 12,75	Ø = 4,0 L = 15,0	Ø = 4,6 L = 14,5
<b>Separador dinâmico</b>	TSV	Sturtvert	Sepol	Sepol
<b>Potência (Kw)</b>	2 x 1850	2 x 1850	2 x 1850	2 x 1850
<b>Capacidade (t/h)*</b>	100	90	125	125

\*capacidade referida ao cimento Cem II/B-L32,5N

## Comando centralizado

Em posição estratégica situa-se a sala de controlo, onde a partir de um sistema de supervisão é possível comandar, controlar e corrigir o processo de fabricação de cimento desde a pré-homo à ensilagem do cimento, com recurso a autómatos programáveis.

O controlo e a correção das operações de clínquerização e produção de cimento são feitos através de sistemas de condução automática, Sistema Expert Fuzzy-Logic III da F.L.S.

O controlo das características dos produtos em curso de processo, cru, farinha, clínquer e cimento é feito no laboratório de controlo de processo por um laboratório automático, Polab III, que possui um sistema de colheita, preparação e análise das características químicas e físicas dos produtos. O controlo do CaO livre é feito também de forma automática através de analisadores Iteca. Os resultados obtidos são transmitidos em rede ao sistema de supervisão e sistemas de condução automática permitindo a implementação pronta e eficaz de ações corretivas ao processo. Todos os resultados são objeto de tratamento estatístico, de forma a garantir que o processo está sempre sob controlo.

Um sistema de câmaras vídeo permite o controlo visual de zonas sensíveis da fábrica.

### **Múltiplas vias de expedição**

O cimento produzido é expedido em saco embalado em pacotão ou palete, e a granel, por rodovia, ferrovia e via marítima.

A ensacagem do cimento em sacos de 25 kg ou 50 kg processa-se em quatro máquinas automáticas rotativas de 8 bicas para ensacamento de 110 t/h cada, três delas da Haver & Boecker e outra da Ventomatic, equipadas com alimentação automática de sacos e controlo eletrónico de pesagem existindo ainda um controlo automático de pesagem do saco final da Ventocheck, um carregador automático sobre camião AutoPack, duas paletizadoras Beumer de 110 t/h cada e uma empacotadora Beumer de 100 t/h.

O carregamento a granel rodovia processa-se em seis postos de 200 t/h cada, possuindo cada um deles um sistema “self-service” de pesagem e carregamento.

O carregamento a granel em ferrovia processa-se em três postos de 200 t/h cada.

#### A.4. Lay-out



