

Assunto: SOUSELAS_Caracterização do carbono orgânico da pedreira do Alhastro

1. INTRODUÇÃO

Na auditoria ao forno de Souselas, realizada em Mar-Abr/23, constatou-se que o teor de carbono orgânico da farinha alimentada ao forno era elevado ($C_{\text{orgânico}} = 0,33 \%$), valor bastante acima do valor médio encontrado em vários fornos estudados pelo departamento de processo ($\approx 0,20 \%$).

O elevado teor de carbono orgânico da farinha alimentada tem impacto no consumo térmico e na taxa de substituição térmica. Por um lado, o carbono orgânico substitui parcialmente o combustível, reduzindo o consumo térmico do forno e, por outro lado, contribui para um teor mais elevado de CO na saída do pré-aquecedor, aumentando as perdas de calor por combustão incompleta e, consequentemente, aumento do consumo térmico do forno. Adicionalmente, o carbono orgânico elevado na SPA origina emissões de TOC elevadas, o que por vezes provoca o corte de combustíveis alternativos, com o consequente impacto negativo na estabilidade do forno e na taxa de substituição térmica.

Face a esta situação, uma das acções definidas foi identificar qual a origem do $C_{\text{orgânico}}$ na farinha alimentada ao forno, na expectativa de poder controlar o $C_{\text{orgânico}}$ da pilha e assim reduzir o número de cortes de combustíveis alternativos por emissões elevadas de TOC.

Iniciou-se o estudo com a caracterização do $C_{\text{orgânico}}$ de todos os correctivos da pilha e matérias-primas alternativas. Com base no teor de $C_{\text{orgânico}}$ dos materiais e na incorporação média de cada um nas pilhas pré-homo, não foi possível identificar a origem de $\approx 65 \%$ do $C_{\text{orgânico}}$ da farinha alimentada ao forno. Para verificar se esta diferença poderia estar associada ao calcário da pedreira, o passo seguinte foi a caracterização do $C_{\text{orgânico}}$ do calcário das frentes da pedreira em exploração, a qual confirmou que o calcário da pedreira era o responsável pelo $C_{\text{orgânico}}$ da farinha alimentada ao forno que não se tinha sido identificado.

Nesta Informação técnica apresentam-se os resultados da caracterização do $C_{\text{orgânico}}$ de todos os materiais constituintes da pilha pré-homo (correctivos da pilha, matérias-primas alternativas e calcário da pedreira).

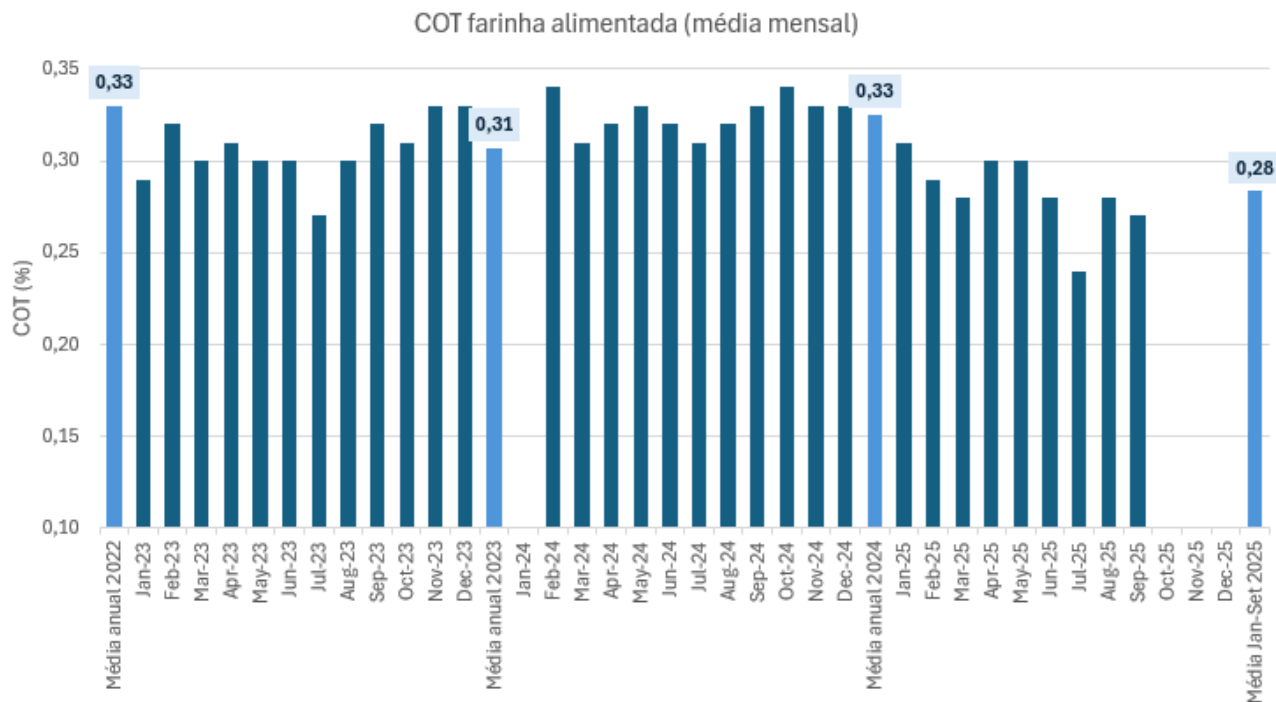
2. CONCLUSÕES

- O teor de carbono orgânico da totalidade dos materiais da pilha pré-homo é coerente com o teor de carbono orgânico da farinha alimentada ao forno (análise realizada aos últimos três anos).
- Em 2025 (Jan-Set) o $C_{\text{orgânico}}$ da farinha alimentada ao forno foi inferior (- 5 pp) ao de 2024 e da auditoria Mar-Abr/2023 e estima-se que manterá este valor no triénio 2026 – 2028.
- A incorporação de uma nova matéria-prima na pilha pré-homo só deve ser feita depois de avaliar o seu teor de $C_{\text{orgânico}}$ (e outros constituintes minoritários) uma vez que, mesmo com uma baixa incorporação na pilha, pode ter um impacto significativo na farinha (como foi o caso da gralha; apesar de uma incorporação na pilha $< 0,7 \%$, enquanto se usou teve uma contribuição significativa para o $C_{\text{orgânico}}$ da farinha alimentada ao forno)
- Manter a caracterização do $C_{\text{orgânico}}$ da amostra média mensal de farinha alimentada ao forno, com uma periodicidade de, pelo menos, de 6 em 6 meses, e sempre que haja a incorporação de um material novo na pilha pré-homo. Em caso de desvio do valor actual e previsto para o próximo triénio ($0,28 \%$), identificar a causa e tentar controlá-la de forma que não seja prejudicada a taxa de substituição térmica (por redução de combustíveis alternativos devido a emissões elevadas de TOC).

Assunto: SOUSELAS_Caracterização do carbono orgânico da pedreira do Alhastro

3. HISTÓRICO CARBONO ORGÂNICO DA FARINHA ALIMENTADA

O gráfico seguinte apresenta o valor de carbono orgânico da amostra média mensal de farinha alimentada ao forno. Verifica-se que em 2025 os valores de $C_{\text{orgânico}}$ são mais baixos que os três anos anteriores.



Esta situação deve-se à menor incorporação de calcário das frentes da pedreira em 2025 (- 3 %) (ver parágrafo 6.).

Assunto: SOUSELAS_Caracterização do carbono orgânico da pedreira do Alhastro

4. CORRECTIVOS DA PILHA E MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS

Na tabela seguinte apresentam-se os resultados obtidos pelo Laboratório Central sobre as amostras recolhidas em Abril de 2024:

	CARBONO TOTAL	CARBONO ORGÂNICO TOTAL	CARBONO INORGÂNICO TOTAL	
Cinzas de Pirite	3,3	1,73	1,57	
Resíduos de Betão - LER 101314	1,08	0,07	1,01	
Solos e Rochas - LER 170505	<LQ(0,68)	0,27	0,29	
Poeiras Fucoli - LER 120102	5,63	5,36	0,27	
Moldes Fucoli - LER 100908	3,22	2,88	0,34	
Escória de Ferro - LER 100101	0,4	0,00	0,4	
Ferrosita	0,72	0,29	0,43	
Lamas de Cal - LER 030309	10,72	0,08	10,64	
Calcário ATB	10,82	0,09	10,73	%
Areia SORGILA	0,29	0,00	0,29	75
Areia APOLINO	0,25	0,00	0,25	25
Areia total (cálculo)	0,28	0,00	0,28	

Verifica-se que as matérias-primas com teor mais elevado de C_{orgânico} são as cinzas de pirite, poeiras da Fucoli e Moldes Fucoli.

Com base no teor de C_{orgânico} destes materiais e na incorporação média de cada um nas pilhas pré-homo usadas na auditoria, não foi possível identificar a origem de 64 % do C_{orgânico} da farinha alimentada ao forno. Para verificar se estes 64 % podem estar associados ao C_{orgânico} do calcário da pedreira, definiu-se um plano de amostragem e caracterização do C_{orgânico} do calcário das frentes da pedreira em exploração.

5. CALCÁRIO DA PEDREIRA DO ALHASTRO (FRENTES N40, S40, SS80)

Os desmontes nas frentes de exploração (N40, S40 e SS80) foram realizados no período entre 13.02.2025 e 27.06.2025.

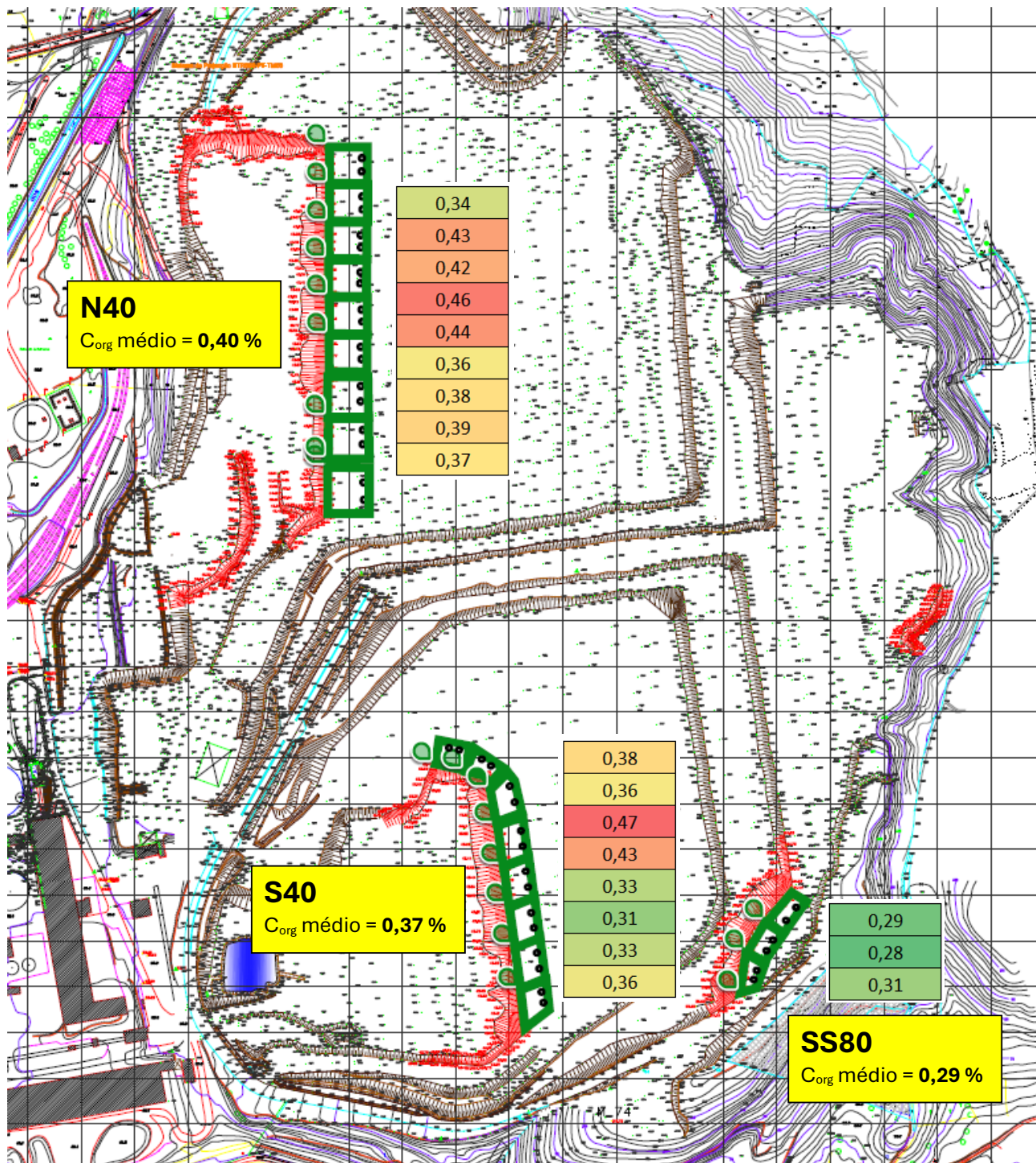
No total foram realizados 20 desmontes e foi amostrado o pó de furação (amostra composta) de 2 furos por desmonte, perfazendo um total de 40 amostras.

	N40			S40			SS80		
	Data	2º Furo	6º Furo	Data	2º Furo	6º Furo	Data	2º Furo	6º Furo
Desmonte 1	13/02/2025	✓	✓	14/04/2025	✓	✓	21/03/2025	✓	✓
Desmonte 2	17/02/2025	✓	✓	16/04/2025	✓	✓	24/03/2025	✓	✓
Desmonte 3	19/02/2025	✓	✓	26/02/2025	✓	✓	31/03/2025	✓	✓
Desmonte 4	21/02/2025	✓	✓	28/02/2025	✓	✓			
Desmonte 5	24/02/2025	✓	✓	05/03/2025	✓	✓			
Desmonte 6	14/03/2025	✓	✓	07/03/2025	✓	✓			
Desmonte 7	17/03/2025	✓	✓	10/03/2025	✓	✓			
Desmonte 8	26/06/2025	✓	✓	12/03/2025	✓	✓			
Desmonte 9	27/06/2025	✓	✓						

Assunto: SOUSELAS_Caracterização do carbono orgânico da pedreira do Alhastro

A figura seguinte apresenta um resumo dos resultados obtidos. Os resultados em detalhe encontram-se no Anexo 1.

O valor médio do C_{org} das três frentes em exploração é de 0,37 %, sendo os valores mais elevados encontrados na N40.



Assunto: SOUSELAS_Caracterização do carbono orgânico da pedreira do Alhastro

6. ORIGEM DO CARBONO ORGÂNICO DA FARINHA ALIMENTADA

A tabela seguinte apresenta as incorporações médias de cada material no cru, o valor obtido por cálculo do $C_{orgânico}$ da farinha alimentada e o valor real do $C_{orgânico}$ da farinha alimentada, para três cenários diferentes: auditoria ao forno 3 de Mar-Abr/2023, valor médio de 2024 e valor médio de Jan-Set/2025.

Nota: o cálculo do $C_{orgânico}$ da farinha alimentada não considera o impacto das poeiras de recirculação.

Correctivos + Matérias-primas alternativas	Carbono orgânico (%)	Incorporação no cru (%)		
		Audit Mar-Abr/23	Média 2024	Média Jan-Set/25
Areia	0,00	2,73%	2,77%	2,36%
Cinzas de pirite	1,73	0,31%	0,10%	0,00%
Granalha ⁽¹⁾	10,80	0,68%	0,00%	0,00%
Escória (Atlantic Copper)	0,00	0,00%	0,88%	1,16%
Escória (Ilva) ⁽²⁾	0,00	0,00%	0,00%	0,10%
Ferrosita	0,29	0,04%	0,11%	0,04%
Lamas de cal	0,08	0,19%	0,65%	0,97%
Fucoli moldes	2,88	0,24%	0,09%	0,08%
Fucoli poeiras	5,36	0,01%	0,06%	0,05%
Cinzas volantes aterro ⁽³⁾	0,00	0,00%	0,14%	0,00%
Resíduos de betão	0,07	0,00%	0,11%	0,07%
Solos e rochas	0,27	0,00%	0,35%	1,26%
Calcário Rico	0,09	36,50%	25,53%	28,04%
Total incorporações (%)	---	40,7%	30,8%	34,1%
Calcário frentes pedreira (%)	---	59,3%	69,2%	65,9%
Total farinha alimentada (%)	---	100,0%	100,0%	100,0%
		Impacto (% $C_{orgânico}$)		
Total incorporações	---	0,29	0,10	0,10
Calcário frentes pedreira	---	0,37	0,38	0,38
Total farinha alimentada (cálculo)	---	0,34	0,30	0,28
Total farinha alimentada (real)	---	0,33	0,33	0,28
Dif. [(real - cálculo) / real x 100]	---	-2,5%	8,3%	0,4%

⁽¹⁾ A granalha utilizada como correctivo das pilhas usadas na auditoria não foi possível caracterizar uma vez que este material já não existia na fábrica de Souselas quando se fez o pedido da análise de $C_{orgânico}$. No entanto, uma vez que este material tem a mesma proveniência da granalha usada na fábrica de Alhandra, considerou-se para Souselas a mesma análise do $C_{orgânico}$ da granalha de Alhandra (10,8 %).

⁽²⁾ A escória da Ilva começou a ser incorporada na pilha pré-homo em Set/2025 e ainda não existe análise de $C_{orgânico}$ deste material, tendo-se considerado para os cálculos o valor zero.

⁽³⁾ Não existe análise de $C_{orgânico}$ das cinzas volantes de aterro, tendo-se considerado para os cálculos o valor zero.

Com base nos dados da tabela verifica-se que o $C_{orgânico}$ da farinha alimentada, calculado com base nas incorporações no cru e teor de $C_{orgânico}$ de cada material, é muito idêntico ao valor real. Apenas para o ano de 2024 se verifica alguma discrepância.

O impacto do $C_{orgânico}$ das incorporações é maior na auditoria de Mar-Abr/2023 devido à utilização de granalha e ao teor elevado de $C_{orgânico}$ deste material (a incorporação média deste material nas pilhas consumidas na auditoria foi de apenas $\approx 0,7$ %, mas representa cerca de 22 % do $C_{orgânico}$ da farinha alimentada).

A redução do teor de carbono orgânico da farinha que ocorre em 2025 (Jan-Set) está associada à menor incorporação de calcário das frentes da pedreira em 2025 (- 3 %).

Assunto: SOUSELAS_Caracterização do carbono orgânico da pedreira do Alhastro

A tabela seguinte apresenta as frentes da pedreira exploradas em 2024 e 2025. Verifica-se que em 2025 houve uma menor incorporação de N40 (frente com teor de C_{orgânico} mais elevado) e maior incorporação de S40 e SS80 (frentes com C_{orgânico} mais baixo), traduzindo-se num C_{orgânico} calculado similar nestes dois anos.

		2024	Jan- Set/2025	Dif. 2025 - 2024	C _{orgânico} (%)
SS80	SN100	1,1%	0,4%		
	NN80	0,1%	0,1%		
	SN80	0,1%	---		
	S80	1,4%	2,4%		
	SS80	1,3%	6,7%		
		2,8%	9,1%	6,3%	0,29
N40	N40N	8,2%	2,6%		
	N40P	4,4%	4,0%		
	N40	30,4%	25,8%		
	NS40	12,5%	10,4%		
		55,5%	42,8%	-12,8%	0,40
S40	SN40	15,8%	19,0%		
	S40	18,4%	23,2%		
	SS40	6,3%	5,5%		
		40,5%	47,8%	7,3%	0,37
	Sum	158,3%	151,8%		
	N40 + S40 + SS80	98,8%	99,6%		
	C_{orgânico} (frentes) (%)	0,38	0,38		

7. PLANO DE EXPLORAÇÃO 2026 - 2028

Para o triénio 2026 – 2028 está previsto explorar as frentes N40, S40, S80 e S100, na proporção aproximada indicada na tabela abaixo. Com base nos teores de C_{orgânico} determinados e considerando um consumo médio anual de 67 % calcário pedreira / 33 % correctivos + matérias-primas alternativas, estima-se que o teor de C_{orgânico} da farinha alimentada ao forno se mantenha nos 0,28 %.

	Plano exploração 2026 - 2028	% C _{orgânico}	
Total incorporações (%)	33,0%	0,10	--> valor médio 2024 e 2025
Calcário frentes pedreira (%)	67,0%	0,37	
N40 (%)	51,0%	0,40	
S40 (%)	31,0%	0,37	
S80 (%)	13,0%	0,29	
S100 (%)	5,0%	0,29	--> considerado o mesmo valor obtido para a SS80
Total farinha alimentada (%)	100,0%	0,28	

ANEXO: Análises do Laboratório Central

Filipa Rôlo