

C. D. Q. QUATRO ANOS DE EXPERIÊNCIAOPERACIONAL DA CST (1)

Vander Luiz da Silva	(2)
Paulo T. Buaiz Silvaes	(3)
José Geraldo C. Tardin	(4)
José Gilberto Belchior	(5)
Nilson Luiz Biccas	(6)

R E S U M O

É apresentada a descrição do processo de apagamento a seco de coque, bem como as características da planta C.D.Q. da C.S.T.

São apresentados os resultados operacionais obtidos, dando ênfase à qualidade do coque, desempenho do equipamento, recuperação de energia e impactos ambientais.

Comenta-se sobre os principais problemas após Start-up, bem como contra medidas adotadas para solução dos mesmos.

-
- (1) Contribuição Técnica ao Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias Primas (COMIM/COMAP) Porto Alegre, 22 - 24 Set./87.
 - (2) Chefe da Divisão de Coqueria.
 - (3) Chefe da Seção de Apagamento e Tratamento de Coque.
 - (4) Engenheiro Especialista em Apagamento e Tratamento de Coque.
 - (5) Técnico Especialista em Apagamento e Tratamento de Coque.
 - (6) Auxiliar Técnico de Controle Metalúrgico.

1 - INTRODUÇÃO:

A recuperação de energia nos processos produtivos tem sido alvo de estudo pelas indústrias modernas com grandes desenvolvimentos, principalmente pelos grandes consumidores, dentre os quais vale destacar as indústrias siderúrgicas, contribuindo sobremaneira na recuperação e redução no consumo de energia.

A técnica de extinção a seco (Coke Dry Quenching), foi desenvolvida pelos irmãos Sulzer, na Suíça, em meados da década de 1920, sendo este o marco inicial do desenvolvimento do apagamento a seco na siderurgia. Esta técnica apresentava a restrição de ser descontínua, com grandes variações na qualidade e quantidade do vapor produzido.

Uma nova concepção de C.D.Q. de operação contínua foi desenvolvida pela URSS, na década de 1960, dando novo impulso a essa tecnologia, sendo em Cherepovetz instaladas as primeiras unidades.

Com a expressiva evolução do custo de energia, a necessidade premente de reduzir fontes poluidoras, bem como o incremento que traz à qualidade do coque, o processo de apagamento a seco do coque tornou-se de vital importância no meio siderúrgico mundial, sendo uma alternativa que não pode deixar de ser considerada em nossos projetos siderúrgicos.

Na década de 1970, o Japão adquiriu esta tecnologia implantando-a em várias de suas usinas e mais recentemente o Brasil, através da Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST, teve o seu sistema implantado, sendo que o processo já está dominado e inclusive, em alguns aspectos, melhorado com tecnologia própria.

2 - OBJETIVO:

Mostrar a experiência da C.S.T. no processo de apagamento a seco (Coke Dry Quenching), descrevendo a sua tecnologia, os problemas operacionais, bem como apresentar os resultados operacionais obtidos.

3 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO:

O coque incandescente é desenformado dentro de uma caçamba revestida com placas metálicas com fundo falso e assentada sobre uma plataforma que é tracionada por uma locomotiva elétrica. A caçamba é conduzida por essa locomotiva até o local de desvio para o CDQ, onde

após corretamente posicionada é içada por uma ponte rolante até o topo da câmara de apagamento onde o coque é descarregado na boca de carga. Toda a movimentação para o apagamento a seco de coque, obedece a um sincronismo lógico, de modo a dar segurança operacional e racionalizar os tempos.

O coque descarregado na câmara de apagamento a uma temperatura de 1000 ~ 1100°C, entra em contato com o gás inerte de apagamento que circula em contra corrente sendo desta maneira apagado. O gás absorve calor do coque atingindo uma temperatura que varia entre 700 e 800°C, passando a seguir por uma caldeira onde se processa a troca térmica com água produzindo-se dessa maneira vapor em determinadas condições de temperatura e pressão.

Após a troca térmica na caldeira, o gás resfriado a uma temperatura de $\pm 180^\circ\text{C}$ é novamente conduzido à câmara de apagamento através de um ventilador ficando dessa maneira em circuito fechado.

Uma unidade de apagamento a seco se constitui geralmente de vários módulos agrupados conforme lay-out previamente escolhido e com capacidades definidas em função da quantidade de coque que se deseja apagar. Basicamente cada módulo possui uma câmara de apagamento (sub-dividida em uma pré-câmara e a câmara de apagamento propriamente dita), sistema de descarga do coque, caldeira para a recuperação de energia, ventilador para a circulação contínua do gás de resfriamento, sistemas de despoeiramento para a limpeza do gás circulante e um sistema de coleta e transporte do pó gerado. A fig. 01 apresenta o fluxograma geral do processo.

PRÉ- CÂMARA:

No interior da pré-câmara o coque tem um tempo de residência de aproximadamente 01 hora, durante a qual ele fica ainda incandescente, e implementa a sua homogeneização e qualidade física devido a esse processo de super coqueificação adicional e melhorado.

A pré-câmara tem também a finalidade de regularizar a alimentação de coque para a câmara de apagamento funcionando como um pulmão que absorve variações na vazão de alimentação, e permitindo dessa maneira uma descarga contínua de coque apagado e principalmente uma produção estável de vapor.

Devemos ressaltar que o gás circulante não entra em contato com o coque incandescente na pré-câmara.

CÂMARA DE APAGAMENTO:

No interior da câmara de apagamento propriamente dita, o coque é apagado lentamente até atingir uma temperatura apropriada para a descarga. Esse lento apagamento a seco é o principal responsável pelo incremento nas características físicas do coque, pois reduz sensivelmente a ocorrência de macro e micro fissurações nas "pedras" de coque que são fatores de maior relevância no aumento da resistência e da estabilidade do coque.

DESCARGA:

A descarga do coque apagado se processa a uma temperatura de $\pm 180^{\circ}\text{C}$ pela parte inferior da câmara, numa seqüência alternada e com pressurização de Nitrogênio para não permitir o vazamento do gás circulante para a atmosfera.

SISTEMAS AUXILIARES:

Entre a câmara de apagamento e a caldeira está inserido um coletor primário de pó, com a finalidade de reter partículas de maior granulometria, arrastadas pelo gás circulante, visto que se essas partículas permanecerem em circulação junto com o gás, poderão provocar uma ruptura nos feixes tubulares da caldeira devido à forte abrasão que elas exercem nos mesmos.

Entre a caldeira e o ventilador existem instalados dois ciclones para a retirada das partículas mais finas que de outra forma viriam a desgastar as palhetas do ventilador.

Todo o pó captado é transportado por um sistema pneumático para silos de onde é retirado por caminhões para uso variado.

As unidades de apagamento a seco, dependendo de suas características e lay-out possuem também equipamentos auxiliares para a operação de caldeiras, tais como: Desaeradores, Sistema de Adição Química, Sistema de Água de Alimentação de Caldeiras, etc.

CIRCUITO DE GÁS:

O gás de resfriamento a partir da saída do ventilador é introduzido na parte inferior da câmara, passando por um sistema de distribuição central e periférico de modo a permitir um apagamento uniforme em toda a seção de coque. O referido gás circula em contra corrente e atravessa todo o coque da câmara de apagamento saindo por um anel circular bi-partido composto de canais dispostos de forma regular em todo o perímetro do topo da câmara.

Do anel circular o gás passa para o coletor primário de pó, caldeira, ciclones e ventilador sendo aí recalçado novamente para a parte inferior da câmara, formando um circuito fechado em movimento contínuo.

O circuito de gás de resfriamento está em depressão em todo o trecho compreendido entre a saída da câmara e a entrada do ventilador, e por esse motivo o circuito nesse trecho deve ser hermético, pois qualquer entrada de ar falso provoca a combustão do coque podendo formar misturas explosivas. Para a operação segura do apagamento a seco de coque são controlados os teores dos seguintes constituintes do gás circulante: $H_2 \leq 4,0\%$, $CO \leq 12,0\%$, $O_2 \leq 1,0\%$, $CO_2 \leq 14,0\%$ e $N_2 \geq 70,0\%$.

A planta é provida também de um ventilador reserva para em casos de emergência manter sempre em circulação o gás de resfriamento para evitar bolsões de elementos explosivos.

4 - CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO:

A planta do C.D.Q. instalado na CST é composta de uma unidade com cinco módulos câmara/caldeira, independentes entre si sendo que o projeto original previa a operação de quatro câmaras, ficando uma em stand-by.

A instalação é dotada de duas estações de transferência de câmbias e de duas pontes rolantes de içamento para o carregamento das câmaras, tendo sido a instalação projetada para apagar 1.670×10^3 toneladas de coque por ano. As especificações básicas da planta são apresentadas no quadro I.

5 - PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS OPERACIONAIS NA PLANTA CDQ DA CST:

A instalação teve o seu start-up em 04/07/83 e a produção de coque C.D.Q. já ultrapassou a casa dos $5,7 \times 10^6$ toneladas. No quadro II são apresentadas as datas de início de operação de cada módulo, as suas produções acumuladas, bem como as paradas programadas.

6 - MELHORIAS DE EQUIPAMENTOS E PROCESSO, INTRODUZIDAS PELA EQUIPE DA CST NA PLANTA C.D.Q.:

Após 04 anos de operação da planta C.D.Q., a CST já possui experiência e domínio operacional do processo, o que permite assegurar uma operação segura e estável.

Foram desenvolvidos e aperfeiçoados nesse período modelos práticos de controle que permitiram não só o alcance dos níveis operacionais previstos, como na maioria dos casos elevar a performance e a capacidade produtiva da instalação.

Nos primeiros seis meses de operação foram superadas algumas irregularidades que foram se apresentando, afetando sensivelmente a operação.

Esforços nesse sentido foram direcionados e superados pela equipe da CST através de melhorias de equipamento e processo. No quadro III são apresentadas as principais melhorias introduzidas pela equipe da CST na planta C.D.Q.

7 - RESULTADOS OPERACIONAIS OBTIDOS:

7.1 - Desempenho do Equipamento:

São apresentados os principais dados de operação da planta da CST desde o start-up, conforme figuras 02 e 03.

PRODUÇÃO DE COQUE:

A produção de coque apagado a seco, situa-se em torno de 96% em relação ao coque bruto total produzido. A não consecução de 100% do coque bruto produzido, deve-se à necessidade de paradas anuais para inspeção das caldeiras, obedecendo a legislação específica.

PRODUÇÃO DE VAPOR:

Ressalta-se a geração específica de vapor situando-se em 585 kg/t coque CDQ, sendo 3,7% maior que o valor de projeto.

7.2 - Qualidade do Coque:

Para avaliação das diferenças na qualidade do coque C.D.Q. e C.W.Q. foram realizadas baterias de testes cujos resultados são apresentados a seguir.

UMIDADE:

O coque C.D.Q. é isento de umidade quando descarregado das câmaras de apagamento, visto que sua temperatura situa-se em torno de 180°C, entretanto pode absorver umidade do meio ambiente até que seja consumido no Alto Forno, chegando a apresentar valores entre 0,2 e 0,3%.

Quanto ao coque C.W.Q. apresenta um teor de umidade mais elevado. Na figura 04 são apresentados os resultados da umidade do coque C.W.Q., como também suas dispersões.

RESISTÊNCIA MECÂNICA:

O aumento observado na resistência do coque C.D.Q. em relação ao C.W.Q. é mostrado na figura 05. Ressalta-se além do acréscimo de resistência física a homogeneidade dos valores do coque apagado a seco. Estes fatores permitem a utilização de maiores quantidades de carvões de baixo ou nenhum poder coqueificante nas misturas, reduzindo o custo médio das mesmas, como também contribuem significativamente para a normalidade operacional do Alto Forno.

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA:

O coque bruto C.D.Q. pela estabilização sofrida nas câmaras de apagamento, apresenta um tamanho médio bem menor do que o C.W.Q. Na figura 06 é apresentada a curva granulométrica comparativa entre o coque C.D.Q. e C.W.Q. Nota-se nas curvas de distribuição granulométrica acentuada diferença na quantidade maior que 75mm. Como a quantidade de coque $> 75\text{mm}$ no coque CDQ é bem inferior a do CWQ, pode-se trabalhar sem a utilização de britadores na estação de tratamento de coque, proporcionando uma elevação de 1,3% no rendimento coque grosso / coque bruto, sem afetar significativamente o tamanho médio do coque carregado no Alto Forno.

REATIVIDADE DO COQUE:

Os ensaios de reatividade efetuados, datam de 1985, e foram executados por laboratórios fora da CST. Esses resultados não apresentam variações significativas entre o coque CDQ e CWQ, obtidos a partir de misturas tradicionalmente usadas. A figura 07 apresenta os resultados dos ensaios de reatividade dos coque CDQ e CWQ.

ANÁLISE QUÍMICA:

Os dados de cinza, matéria volátil, e carbono fixo, mostrados no quadro abaixo, não apresentam variações significativas.

ANÁLISE QUÍMICA	C.D.Q.	C.W.Q.
CINZA	9,60	9,60
MATÉRIA VOLÁTIL	0,52	0,56
ENXOFRE	0,61	0,61
CARBONO FIXO	89,87	89,83

7.3 - Recuperação de Energia:

A recuperação de energia no processo CDQ tem sido de grande representatividade na CST. Comparações e equivalências para a recuperação de vapor através do CDQ são mostradas no quadro IV, considerando-se a utilização de todo vapor produzido.

A distribuição do aproveitamento do vapor gerado no CDQ da CST é de 89% como mostrado na figura 08.

8 - IMPACTO AMBIENTAL COM A UTILIZAÇÃO DO C.D.Q.:

O processo CDQ tem aspectos mais vantajosos comparados ao C.W.Q. desde que provido de instalações anti-poluentes eficientes. Como principais vantagens oferecidas pelo processo CDQ, podemos citar a eliminação do vapor de água gerado no apagamento a úmido, responsável em potencial pela corrosão das estruturas devido à formação de cloretos e sulfetos e a eliminação da poluição hídrica gerada pelo processo C.W.Q.

9 - CONCLUSÕES:

- O processo de apagamento a seco permite o controle da poluição desde que dotado de equipamentos anti-poluente eficientes.
- Aumento na qualidade do coque permitindo a utilização de maiores quantidades de carvões menos nobres, barateando o custo da mistura.
- Maior estabilidade operacional do Alto Forno devido homogeneidade nos índices de qualidade, contribuindo para a redução do "Coke Rate".
- Grande representatividade na recuperação de energia, contribuindo para a redução de custo.
- O processo é uma alternativa que não pode deixar de ser considerada em novos projetos siderúrgicos e deve ser estudada a viabilidade de sua implantação nas usinas já existentes e principalmente em fase de reformas.
- A CST já possui experiência e domínio operacional do processo garantindo um operação segura e estável.

B I B L I O G R A F I A

- 1 - PIVOT, S. et alli - Lo Spegnimento a seco del coke - Boletino Técnico Finsider - Maio/83.
- 2 - VILELA BERNARDES, Moisés - Extinção a seco do coque - Contribuição apresentada na 1ª reunião de especialistas, Ouro Branco, MG - em 22 - 25/09/79.
- 3 - SILVA, Vander Luiz, et alli - Extinção a seco do coque. A experiência da CST - Contribuição ao I Congresso Internacional de carvão e coque aplicado à siderurgia - Rio de Janeiro 09 - 14 Agosto/1987.

QUADRO I - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CDQ DA CST	
* CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA PLANTA:	
- Capacidade Nominal	52 t/h
- Capacidade de Operação	48 t/h
- Temperatura do Coque Incandescente	1000 a 1100 °C
- Temperatura do Coque Extinto	cêrca de 180 °C
- Temperatura Gás na Entrada da Câmara	cêrca de 180 °C
- Temperatura Gás na Saída da Câmara	cêrca de 800 °C
- Capacidade Específica do Gás	cêrca de 1500 Nm ³ /t coq
- Produção Horária de Vapor	27 t/h
- Características do Vapor - Pressão	23 t/h
- Temperatura	350 °C
- Geração Específica	565 Kg/t CDQ
* CÂMARA DE APAGAMENTO:	
- Prê-Câmara - Diâmetro interno	5780 mm
- Volume	± 143 m ³
- Tempo de permanência	40 a 50 min
- Câmara - Diâmetro interno	6500 mm
- Volume	± 250 m ³
- Tempo de permanência	2,5 a 3,0 h
- Altura Total (Câmara + Prê-Câmara).....	± 15 m
- Total de Descarga por Vêz	1.8 a 2.0 t/coq
* CIRCUITO DO GÁS:	
- Análise Média do Gás:	
- CO ₂	≤ 14 %
- CO	≤ 12 %
- O ₂	≤ 1 %
- H ₂	≤ 4 %
- N ₂	≥ 70 %
- PO	5g/Nm ³ (máx.10 g/Nm ³)
- Capacidade Máxima de Gás Circulante Usan do o Ventilador Principal	160.000 m ³ /h
- Capacidade Máxima de Gás Circulante Usan do o Ventilador Auxiliar	52.000 m ³ /h

QUADRO III - MELHORIAS DE EQUIPAMENTO/PROCESSO INTRODUZIDAS PELA EQUIPE DA CST NA PLANTA C.D.Q.

PROBLEMA	CONTRA MEDIDA	RESULTADO OBTIDO
Desgaste prematuro dos refratários das câmaras de apagamento.	Projeção de massa refratária em toda a região afetada, utilizando mão de obra e tecnologia própria. (Gunning).	Manter a vida útil do refratário inicialmente prevista entre 7 e 10 anos.
Variação na temperatura, na entrada das caldeiras.	Implantação do controle de temperatura, bloqueando a descarga da câmara, controlando os limites máximos do equipamento.	Temperatura estável na entrada das caldeiras estabilizando produção de vapor.
Secagem do refratário (conjunto câmara/caldeira).	Introdução de novo modelo de secagem, mantendo a curva programada.	Redução do tempo de secagem de 15 dias para 07 dias.
Furos nas tubulações das caldeiras.	Instalação de defletores na parte superior de modo a proteger as tubulações ali localizadas.	Elevação da vida útil das tubulações superiores das caldeiras.
Modelo operacional do C.D.Q. previsto. Alimentação regular.	Introdução do modelo operacional do C.D.Q. atuando com os cinco módulos devido a necessidade de operação de uma das baterias em sistema de bloco.	Produção regular tendo variações nos níveis das pré-câmaras.
Variações da pressão na pré-câmara.	Automação do controle de pressão na pré-câmara.	Estabilidade da pressão na pré-câmara, minimizando as influências no processo.
Velocidade excessiva do gás de resfriamento.	Introdução de nova regulagem dos canais diminuindo a velocidade para valores adequados.	Eliminação do arraste de coque para o anel circular.
Furos no circuito de pó	Introdução de revestimento de balsaço em vários trechos do circuito.	Eliminação de vazamentos e continuidade operacional.
Aquecimento excessivo na sala do painéis das pontes rolantes.	Alteração do lay-out da sala confinando os painéis com circuito elétrico/eletrônico em cubículos com ar refrigerado.	Eliminação das paradas das unidades, melhorando a sua performance.
Desgaste prematuro de componentes elétricos/eletrônicos, sem sobressalentes importados.	Modificações dos circuitos com nacionalização de componentes.	Até o momento já foram nacionalizados mais de 300 itens.
Alta vibração nos motores de fixamento das pontes rolantes.	Introdução de modificações mecânicas nos redutores.	Eliminação do problema.

QUADRO IV - RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

PERÍODO	PRODUÇÃO DE COQUE CDD (t)	PRODUÇÃO DE VAPOR	SUBSTITUIÇÃO EQUIVALENTE EM Kcal		CUSTO EQUIVALENTE (CZ\$)		CUSTO EQUIVALENTE (US\$)	
			Óleo(t)	Energia(MW)	Óleo	Energia	Óleo	Energia
1983	328.350	180.330	13.358	45.082	79.560.248,00	75.196.776,00	1.835.723,30	1.735.043,30
1984	1.361.081	803.793	59.540	200.948	354.620.240,00	335.181.264,00	8.182.285,20	7.733.762,40
1985	1.623.360	951.780	70.102	237.945	419.909.912,00	396.892.260,00	9.688.738,10	9.157.643,40
1986	1.597.487	941.358	69.730	235.339	415.311.880,00	392.545.452,00	9.582.646,10	9.057.347,70
1987	794.000	463.781	34.354	115.946	204.612.424,00	193.397.928,00	4.721.098,80	4.462.342,60
TOTAL	5.704.278	3.341.042	247.484	835.260	1.174.014.704,00	1.139.321.680,00	34.010.491,50	32.146.139,40

EQUIVALENTES :

04 t/vapor 01 MW.
 13,5 t/vapor 01 t/óleo.

VALORES CONSIDERADOS: DADOS JUN/87

Óleo BPF CZ\$ 5.956,00
 Energia Elétrica..... CZ\$ 1.668,00
 1 US\$ CZ\$ 43,34

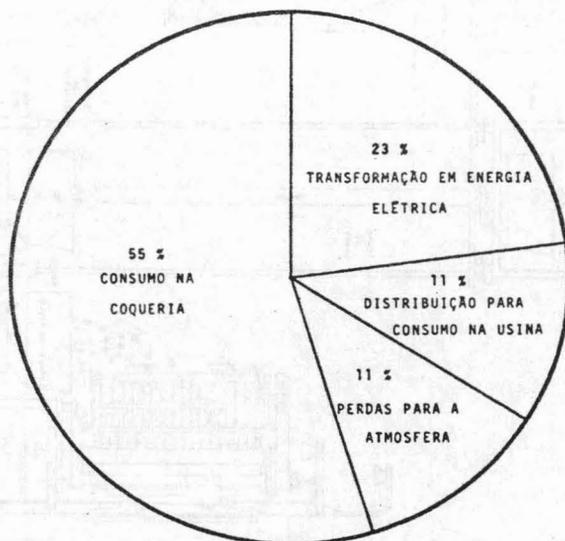


FIGURA 08 - DISTRIBUIÇÃO DO APROVEITAMENTO DO VAPOR PRODUZIDO PELO COQ

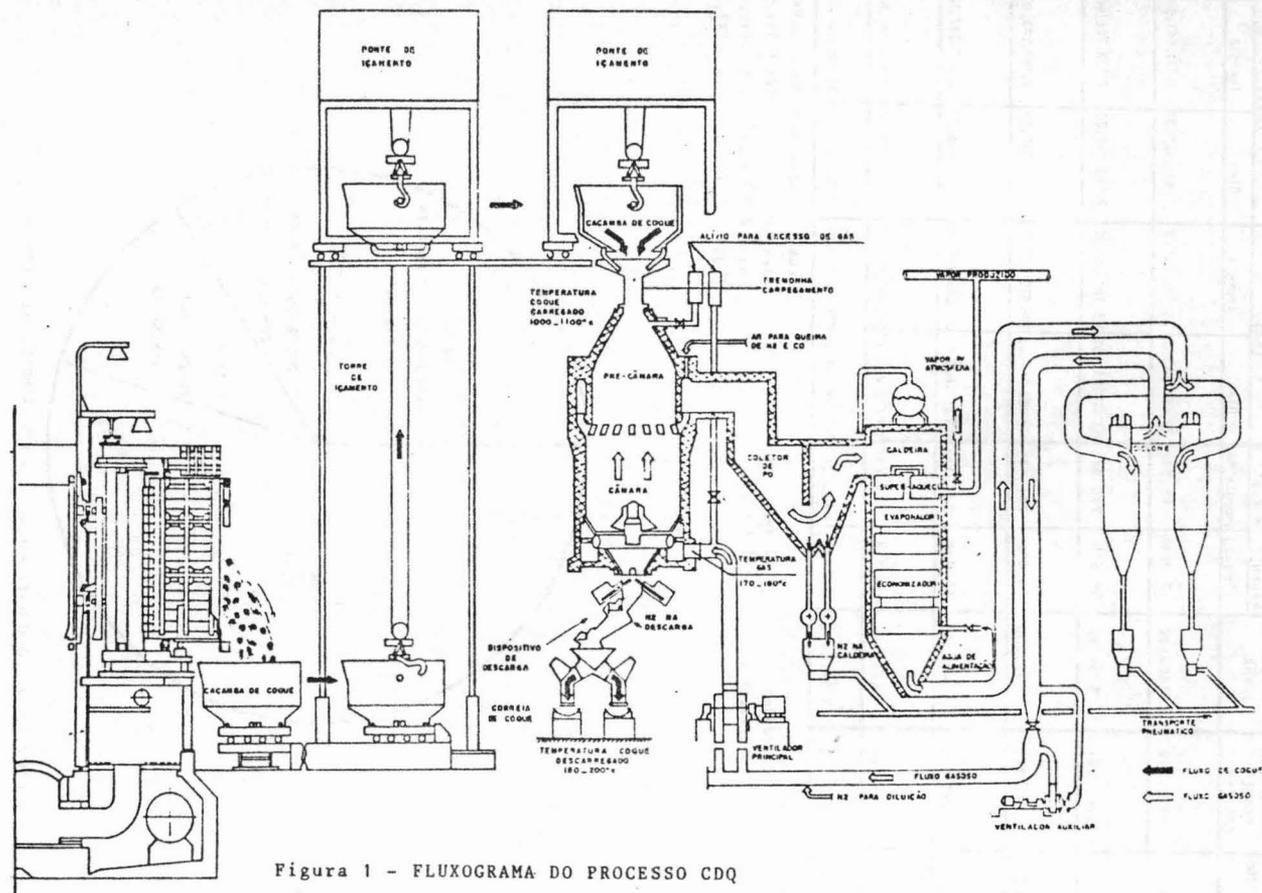


Figura 1 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO CDQ

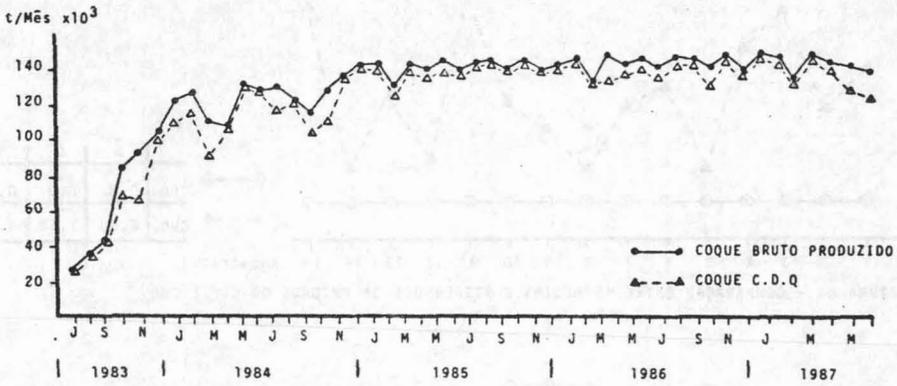


FIGURA 02 - COQUE BRUTO PRODUZIDO

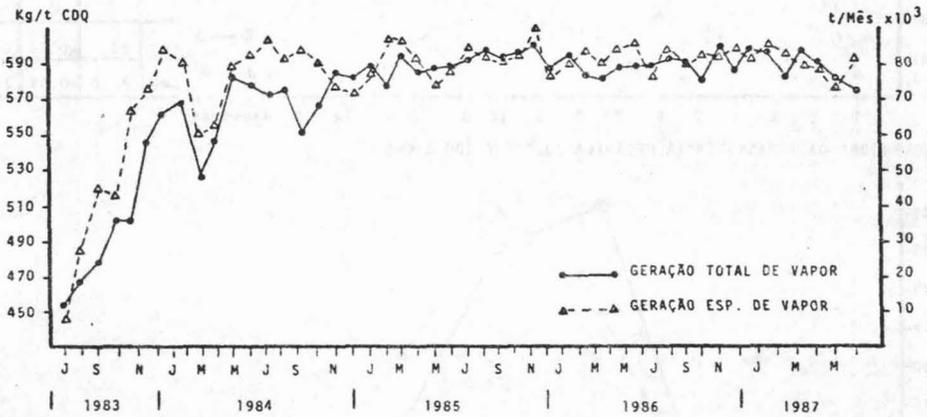


FIGURA 03 - GERAÇÃO DE VAPOR

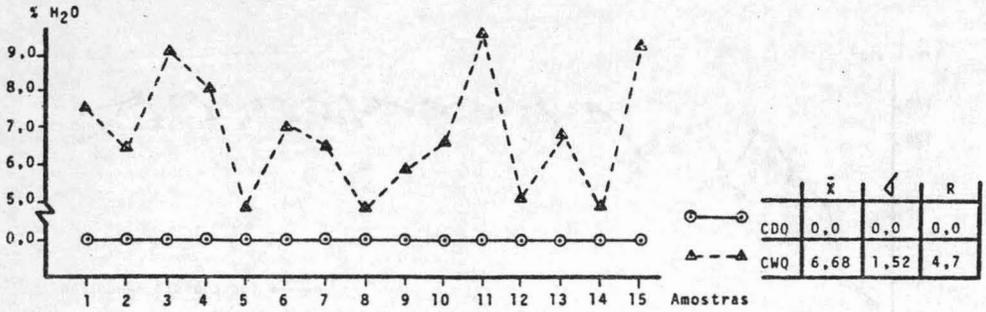


FIGURA 04 - COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS E DISPERSÕES DA UNIDADE DO CDQ E CWQ

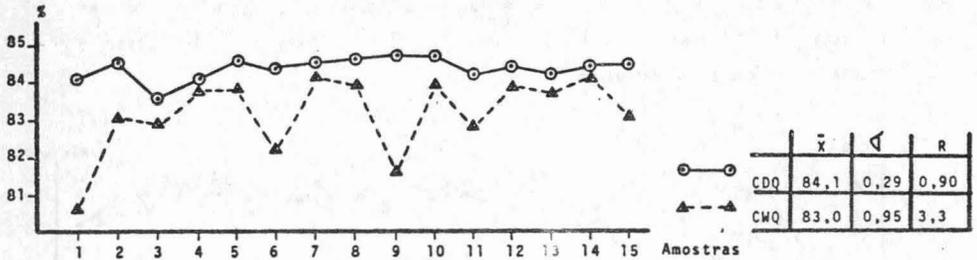


FIGURA 05 - RESISTÊNCIA MECÂNICA DO COQUE CDQ E CWQ

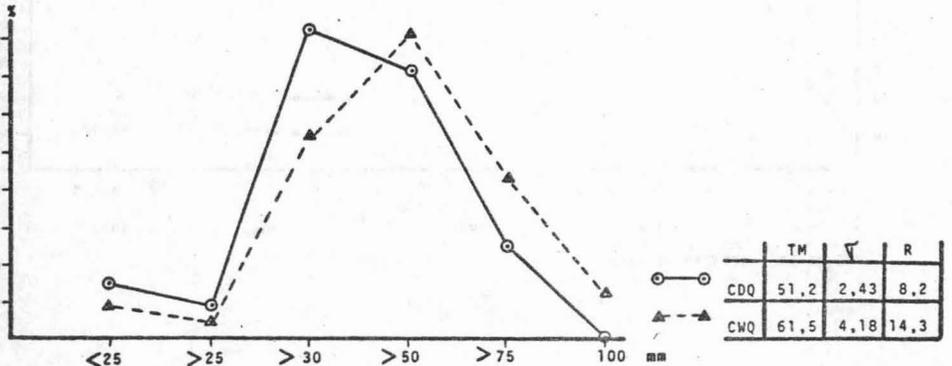


FIGURA 06 - CURVA GRANULOMÉTRICA DO COQUE BRUTO CDQ E CWQ

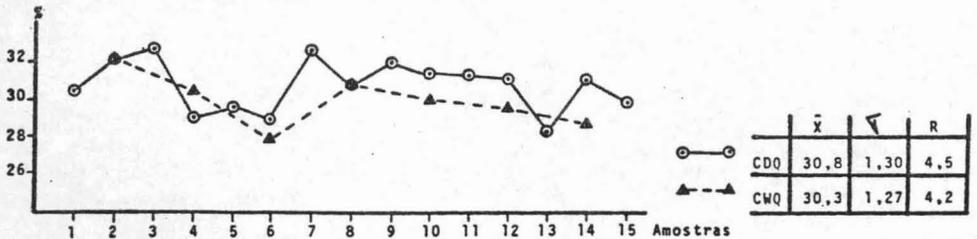


FIGURA 07 - REATIVIDADE DO COQUE CDQ E CWQ