

**Co-geração: uma alternativa para o abastecimento de energia elétrica nas fábricas de papel e celulose**

MFN -0493

N CHAMADA:

TITULO: Co-geração: uma alternativa para o abastecimento de energia elétrica nas fábricas de papel e celulose

AUTOR(ES): JORQUERA, C.L.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 10. utilidades

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 20

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 16-20.11.1987

IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1987, ABTCP

PAG/VOLUME: p.165-171,

FONTE: Congresso Anual da ABCP, 20, 1987, São Paulo, p.165-171

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR: cogeração de energia, energia elétrica

RESUMO: Cogeração junto com geração de energia elétrica usando resíduos florestais com o combustível foram sugeridos como solução aos problemas de geração de energia elétrica na indústria de celulose e papel. Neste trabalho são descritos sistemas de cogeração que utilizam turbinas à vapor e os gás, e a eficiência de vários sistemas independentes de geração de energia e de cogeração. A análise dos custos de investimentos de vários sistemas são fornecidos. Conclui-se que a cogeração é uma excelente opção térmica

CO-GERAÇÃO: UMA ALTERNATIVA PARA O ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS FÁBRICAS DE PAPEL E CELULOSE

Jorquera, C.L.

Companhia Suzano de Papel e Celulose, Suzano, SP, Brasil

Introdução

Como se sabe, nos últimos tempos ocorreram diversos "blackouts" por causa da sobrecarga do sistema elétrico nacional. O sul e o nordeste já tiveram que passar por períodos de racionamento de energia elétrica. As estatais da energia elétrica não conseguem gerar os recursos suficientes para executar as instalações necessárias para atender uma demanda cada vez mais crescente. Os bancos estrangeiros não emprestam mais dinheiro e os brasileiros não sabem poupar. Mesmo diante deste panorama sombrio, a indústria de papel e celulose dispõe de soluções próprias que poderiam irrendizá-la de uma crise no setor elétrico. Tais soluções são a CO-GERAÇÃO e a GERAÇÃO COM RESÍDUOS.

No lado esquerdo da Figura 1 aparece uma fábrica cujo consumo de energia total é de 100 unidades, as quais, tipicamente, se dividem em 75 unidades em forma de combustível, para processos térmicos, e 25 de energia elétrica para força motriz. A fábrica é razoavelmente eficiente, pois a única perda significativa é representada pelos gases quentes da chaminé, que levam com eles cerca de 11% da energia total.

O mesmo não acontece se considerarmos a usina term-elétrica que alimenta a fábrica, na qual, de 100 unidades de energia que entram com o combustível, são aproveitadas como energia elétrica somente 34, desperdiçando-se o restante pela chaminé e principalmente pelo condensador ou pela torre de resfriamento. A energia desperdiçada é o dobro da energia útil.

Considerando o conjunto fábrica-usina geradora separadamente, as perdas são de 40% da energia no combustível, representando isto 67% da energia útil.

Devido ao fato da indústria utilizar nos processos térmicos energia de baixa temperatura (inferior a 200°C), e do

---

Trabalho apresentado no 20º Congresso Anual de Celulose e Papel, realizado em São Paulo, Brasil, de 16 a 20 de novembro de 1987.

combustível queimar com chama de  $1700^{\circ}\text{C}$ , é possível utilizar o saldo entre essas temperaturas na geração de energia elétrica, e ainda aproveitar o residual em processos térmicos. A Figura 2 ilustra o processo: a fábrica faz as vezes de condensador e torre de resfriamento da turbina, aproveitando o que antes era desperdiçado. As perdas neste caso só atingem 16% da energia no combustível e representam 19% da energia útil.

Por comparação com o caso anterior, percebe-se que há uma economia de 48% com relação à energia utilizada na fábrica.

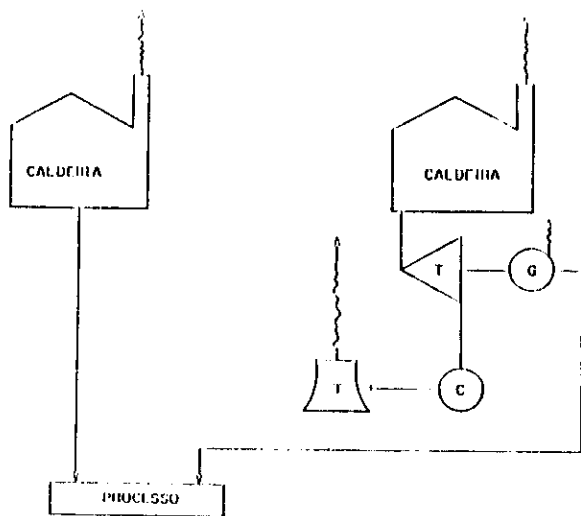


FIGURA 1 - CALDEIRA FÁBRICA E EMPRESA GERADORA DE ELETRICIDADE

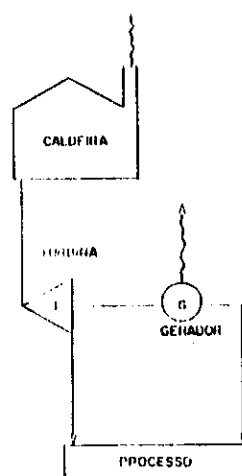


FIGURA 2 - CO-GERAÇÃO NA FÁBRICA

## SISTEMAS DE CO-GERAÇÃO

As máquinas utilizadas para a co-geração são duas: a turbina de vapor e a turbina de gás.

A turbina de vapor, que tem sido utilizada já há muito tempo e que, portanto, já é sobejamente conhecida, dispensa maiores comentários.

A turbina de gás, embora conhecida de longa data, ainda não é muito utilizada na indústria de papel e celulose. As turbinas industriais para serviço pesado são máquinas de operação tão segura quanto às de vapor, só que sua eficiência é menor, um inconveniente que no caso da co-geração não tem validade, pois o calor residual é aproveitado. Com a utilização de turbinas de gás nos aviões, esta máquina teve um desenvolvimento tal que hoje sua eficiência atinge o patamar de 50%. A turbina de gás pode usar como combustível o gás natural, o querosene e o óleo combustível, e até existem unidades experimentais com madeira pulverizada. A turbina de gás produz gases de exaustão com temperaturas de  $530^{\circ}\text{C}$ , que podem ser utilizadas para gerar vapor, o qual pode passar por uma turbina de vapor e finalmente ir para os processos térmicos. Desta forma, a co-geração de energia elétrica é substancial.

Na Tabela 1 pode-se apreciar o balanço energético e a eficiência da co-geração e da geração independente com turbina de vapor, turbina de gás ou ambas.

TABELA 1 - EFICIÊNCIA DE DIVERSOS SISTEMAS DE GERAÇÃO E COGERAÇÃO

	COGERAÇÃO			GERAÇÃO	INDEPENDENTE	
	TURBINA DE VAPOR	TURBINA DE GÁS	TURBINAS GÁS E VAPOR	TURBINA DE VAPOR	TURBINA DE GÁS	TURBINAS GÁS E VAPOR
ENERGIA NO COMBUSTÍVEL	100	100	100	100	100	100
GERAÇÃO, TURBINA DE GÁS	-	28	28	-	35	31
GERAÇÃO, TURBINA DE VAPOR	10	-	7	34	-	17
GERAÇÃO TOTAL	10	28	35	34	35	48
ENERGIA NO VAPOR	74	56	48	0	0	0
<u>PERDAS</u>						
NA CHAMINÉ	15	15	15	15	63	15
NO CONDENSADOR	-	-	-	49	-	34
NO GERADOR	1	1	2	2	2	3
TOTAL	16	16	17	66	65	52
EFICIÊNCIA %	84	84	83	34	35	48
PERDAS REFERIDAS A ENERGIA ÚTIL %	19	19	20	194	185	108

Observe-se que a eficiência de geração independente vai de 34% até 48%, enquanto na co-geração a eficiência está sempre acima de 83%.

#### GERAÇÃO COM RESÍDUOS

Na indústria de celulose existe um subproduto que deve ser queimado para recuperar os reagentes químicos do processo: a lixívia preta. Se a indústria se localizar em local suficientemente próximo da floresta, poderia ser viável transportar até a fábrica o resíduo fino e utilizá-lo em substituição ao óleo combustível. A casca de madeira, por ser inadequada para a produção de celulose, deve ser eliminada, e a melhor maneira de se fazer isto é queimá-la em uma caldeira.

Dependendo do produto final e do processo, a capacidade de calor e de energia elétrica nestas fábricas pode ir além de suas necessidades, sendo possível gerar em turbinas de condensação. Embora a eficiência não seja boa, o custo da energia elétrica acaba sendo baixo devido ao custo insignificante do combustível.

#### POTENCIAL DE GERAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Na Tabela 2 apresentamos o balanço energético de três fábricas. Na coluna 1 uma fábrica de celulose de eucalipto branqueada (sem instalação eletroquímica) de 1350 t/d, localizada perto da floresta. Na coluna 2 uma fábrica integrada de papel e celulose longe da floresta (não compensa usar resíduos florestais, que são substituídos por gás natural), também de 1350 t/d. Na coluna 3 apresentamos uma fábrica de papel branco de 100 toneladas diárias.

TABELA 2 - POTENCIAL DE GERAÇÃO NA INDUSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

	FÁBRICA CELULOSE	FÁBRICA INTEGRADA PAPEL+CELULOSE	FÁBRICA DE PAPEL
<u>GERAÇÃO DE VAPOR (t/h)</u>			
LIXÍVIA	250	250	-
CASCA E RESÍDUOS	158	30	-
ÓLEO OU GÁS	-	70	12
TOTAL VAPOR (t/h)	408	350	12
CONSUMO DE VAPOR (t/h)	324	350	12
CONSUMO DE EE (MW)	40	70	2,6
<u>GERAÇÃO DE EE</u>			
TURBINA DE GÁS	-	30	5,1
TURBINA DE VAPOR, CONTRAPRESSÃO	32	30	1,2
TURBINA DE VAPOR, CONDENSAÇÃO	18	-	-
<u>TOTAL GERAÇÃO EE</u>	50	60	6,3
DÉFICIT DE EE (MW)	-	10	-
EXCEDENTE DE EE (MW)	10	-	3,7

Pode se observar que tanto na 1ª como na 3ª fábrica há um excedente de energia elétrica, e na 2ª há um déficit de apenas 15%.

#### INVESTIMENTOS EM GERAÇÃO E CO-GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os valores anotados na Tabela 3 são meramente indicativos, devido a que nas usinas térmicas existem grandes variações por economias de escala, e nas usinas hidroelétricas o custo depende das condições topográficas do lugar, da altura da queda disponível e da distância aos centros de consumo.

TABELA 3 - CUSTO DE INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

<u>COGERAÇÃO EM FÁBRICA EXISTENTE</u>	<u>US\$/kw</u>
CALDEIRA QUÍMICA + TURBINA DE VAPOR	2.000
CALDEIRA DE FORÇA + TURBINA DE VAPOR	800
TURBINA DE GÁS + CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO	435
TURBINA GÁS + CALDEIRA RECUPERAÇÃO + TURBINA DE VAPOR	400
CALDEIRA RESÍDUOS + TURBINA CONDENSAÇÃO	1.100
COGERAÇÃO EM FÁBRICA NOVA	300
<u>GERAÇÃO</u>	
HIDROELÉTRICA	2.200
TÉRMICA, TURBINA DE VAPOR	700
TÉRMICA, TURBINA GÁS + TURBINA VAPOR	580

No caso da co-geração, consideramos fábricas que foram projetadas originalmente sem co-geração e que precisarão, além das turbinas, da instalação de caldeiras novas para pressões mais altas, ou caldeiras de recuperação para as turbinas de gás.

Pode-se observar que a instalação mais cara é a hidroelétrica, seguida pela transformação de uma fábrica substituindo a caldeira química de baixa pressão por outra nova apta para alimentar uma turbina de vapor.

Os custos de instalação mais baixos correspondem à co-geração, o que é compreensível, pois a turbina é mais barata por operar de preferência na zona de pressões mais altas. A caldeira custa o mesmo, independente da pressão, e não precisa de condensador, de torre de resfriamento, de subestações e linha de transmissão.

#### CUSTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA NAS DIVERSAS ALTERNATIVAS

Tendo como base esses investimentos, remuneração do capital de 12% ao ano, depreciação em 20 anos para as usinas térmicas e 40 para as hidroelétricas, 2% de outros custos fixos (folha de pagamento, manutenção, etc) para as térmicas e 1% para as hidroelétricas, fator de carga de 85% para as térmicas e 50, 70 e 85% para as hidroelétricas, foram calculados os custos de geração, que aparecem na Tabela 4. Pode-se observar que a co-geração é sistematicamente mais barata que os outros processos de geração de energia elétrica.

TABELA 4 - CUSTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

	GERAÇÃO		GERAÇÃO TÉRMICA		GERAÇÃO HIDROELÉTRICA		
	FÁBRICA NOVA	REF. FÁBRICA EXISTENTE	TURBINA DE VAPOR	TURBINA GÁS+ TURB. VAPOR	FC=0,5	FC=0,7	FC=0,85
INVESTIMENTO US\$/kW	300	800	700	580	2.200	2.200	2.200
DEPRECIÇÃO, ANOS	20	20	20	20	40	40	40
CUSTO FIXO US\$/ANO							
REMUNERAÇÃO DO INVES- TIMENTO 12%	36	96	84	70	264	264	264
DEPRECIÇÃO	15	40	35	29	55	55	55
DESPESAS DE OP. E MANUT.	6	16	14	12	22	22	22
TOTAL CUSTO FIXO	57	152	133	111	341	341	341
FATOR DE CARGA	0,85	0,85	0,85	0,85	0,5	0,7	0,85
CUSTO FIXO US\$/kWh	0,008	0,020	0,018	0,015	0,078	0,056	0,046
CUSTO VARIÁVEL US\$/kWh	0,015	0,015	0,015	0,026	-	-	-
CUSTO TOTAL US\$/kWh	0,023	0,035	0,033	0,041	0,078	0,056	0,046
CUSTO FIXO Cz\$/kWh	0,35	0,87	0,78	0,65	3,39	2,43	2,00
CUSTO VARIÁVEL Cz\$/kWh	0,65	0,65	1,52	1,13			
CUSTO TOTAL Cz\$/kWh	1,00	1,52	2,30	1,78	3,39	2,43	2,00

PREÇO DO ÓLEO = 5,866 Cz\$/t

PREÇO DO DÓLAR = 43,545 Cz\$

Na Tabela 5 apresentamos as tarifas, Hora Sazonal Industrial Classe A2 para fator de carga de 85% e residencial. Pode-se observar que são inferiores ao custo da geração independente, especialmente a residencial, devido ao seu fator de carga extremamente baixo.

TABELA 5 - TARIFAS ELÉTRICAS

<u>INDUSTRIAL CLASSE A2</u>		
FATOR DE CARGA = 85%		
MÉDIA COM EMPRÉSTIMO .....	1.564	Cz\$/kwh
PONTA ÚMIDA .....	6.311	"
PONTA SECA .....	6.399	"
FP ÚMIDA .....	1.077	"
FP SECA .....	1.150	"
 <u>RESIDENCIAL</u>		
0 - 30 kWh/Mês .....	0.715	Cz\$/kwh
31 - 100 kWh/Mês .....	1.859	"
101- 200 " .....	2.146	"
201- 300 " .....	3.815	"
> - 300 " .....	4.292	"
ETST .....	0.516	"

#### POR QUE NÃO A CO-GERAÇÃO?

A partir do que acabamos de expor, pode-se demonstrar que, nas condições vigentes na data em que preparamos este trabalho, a instalação de co-geração tem um "payback" curtíssimo (2 anos), representando portanto um excelente negócio. Então, a pergunta é: Por que não foram feitas mais instalações de co-geração?

A co-geração apresenta dois problemas básicos:

a) Durante a posta-em-marcha da instalação, ou durante as quebras na máquina de papel, não há consumo de energia térmica e, por outro lado, está ligada toda a carga elétrica. Se a indústria liga a carga na rede externa, o custo será altíssimo devido ao baixo fator de carga, e se a indústria continua gerando sem aproveitar o vapor sobranete, o custo variável aumenta 10 vezes para turbinas de vapor e 3 vezes para ciclo combinado.

b) Se a indústria instalar reserva mecânica, o investimento fica quase duplicado e perde seu atrativo.

Mas a verdadeira razão pela qual não foram feitas mais instalações de co-geração está nas tarifas elétricas extremamente baixas e na variação errática da relação preços dos combustíveis e da energia elétrica. Há não mais de um ano as tarifas elétricas eram tão baixas que se justificava desligar as turbinas de co-geração fora das horas de pico, pois a economia em combustível era maior que o aumento da conta de energia elétrica. E há alguns anos atrás, quando numa certa indústria a turbina de co-geração quebrou, nem o conserto dela tinha um "payback" atrativo.

## CONCLUSÃO

Se a política de tarifas de energia elétrica e preços de combustíveis for realista, e estiver orientada a dar remuneração adequada aos investimentos, permitindo desta forma sua continuidade, poderíamos garantir que a iniciativa privada se interessaria em instalar a co-geração.

Se a política for de tarifas baixas, subsidiadas pelo governo, o melhor investimento que o governo poderia fazer seria a co-geração pela via direta, ou indiretamente, através de incentivos fiscais.

Tarifas de emergência razoáveis contribuiriam para melhorar o atrativo da co-geração, eliminando a necessidade de se instalar turbinas de "standby".

A compra de excedentes de energia pelas empresas geradoras ao custo marginal de geração, também contribuiria para melhorar o atrativo da co-geração.

Em síntese, a co-geração é uma excelente opção técnica à espera de condições adequadas para ser posta em prática.