

"ASPECTOS RELEVANTES SOBRE O BALANÇO DE ENERGIA DE UMA PLANTA DE SEPARAÇÃO DE AR "

- ⁽¹⁾ Danilo Tourinho S. da Silva
- ⁽²⁾ Erlander. M. Alcântara
- ⁽³⁾ Emerson Eduardo O. Nassiffe

RESUMO

A busca incessante sobre a diminuição dos custos operacionais de qualquer planta industrial é condição básica da sobrevivência e competitividade de qualquer empresa. No caso específico de plantas de separação dos constituintes do ar, principalmente oxigênio e nitrogênio, onde o consumo de energia é bastante elevado, aspectos relevantes sobre o balanço de energia e novos conceitos devem ser revisados continuamente. A Caraíba Metais vem intensificando esforços no sentido de compreender e vislumbrar ações para diminuir o consumo de energia em sua planta de oxigênio. Neste caso, o presente trabalho, visa mostrar os modelos energéticos com base em conceitos termodinâmicos pré-existent e compará-los a modelos mais modernos usando o conceito de exergia.

Palavras-chave: oxigênio; criogenia; fracionamento de ar, exergia.

- (1) Técnico de Operação – DIUTI (Divisão de Utilidades)
- (2) Engenheiro Químico, Msc. – DIVEL (Divisão da Eletrólise)
- (3) Engenheiro Químico – DIUTI (Divisão de Utilidades)

I – Introdução

A Caraíba Metais SA é a única produtora de cobre eletrolítico do Brasil e está localizada no município de Dias D'Ávila – Bahia. O processo de extração de cobre resume-se basicamente em três etapas: fusão do concentrado sulfetado em forno tipo Flash; oxidação do sulfeto de cobre em fornos conversores e refino do cobre metálico em atmosfera redutora (desoxidação). A partir daí, o cobre metálico é confeccionado em forma de ânodos e enviado para a etapa de purificação (produção de cátodo com 99,99% de cobre) utilizando o processo de eletrólise.

A área de utilidades da Caraíba Metais é a responsável pelo fornecimento de vapor, águas industrial e desmineralizada, ar comprimido, energia elétrica e oxigênio. O uso de oxigênio tanto nos fornos Flash, quanto nos Conversores é imprescindível devido a elevada economia de energia obtida no que se refere ao consumo de gás natural. O consumo atual do oxigênio com 95,7 % de pureza na Metalurgia é na ordem de 15.600 Nm³/h ou 21,87 t/h. Este oxigênio é produzido convencionalmente a partir do fracionamento de ar e os principais equipamentos utilizados são compressores, turbinas, trocador de calor tipo RHX e colunas de destilação. A produção de oxigênio é o segundo maior convertedor de energia elétrica em outro tipo de energia, convertendo cerca de 6000 MWh / mês, ou 21% do total de energia consumida na Metalurgia, veja figura 1.

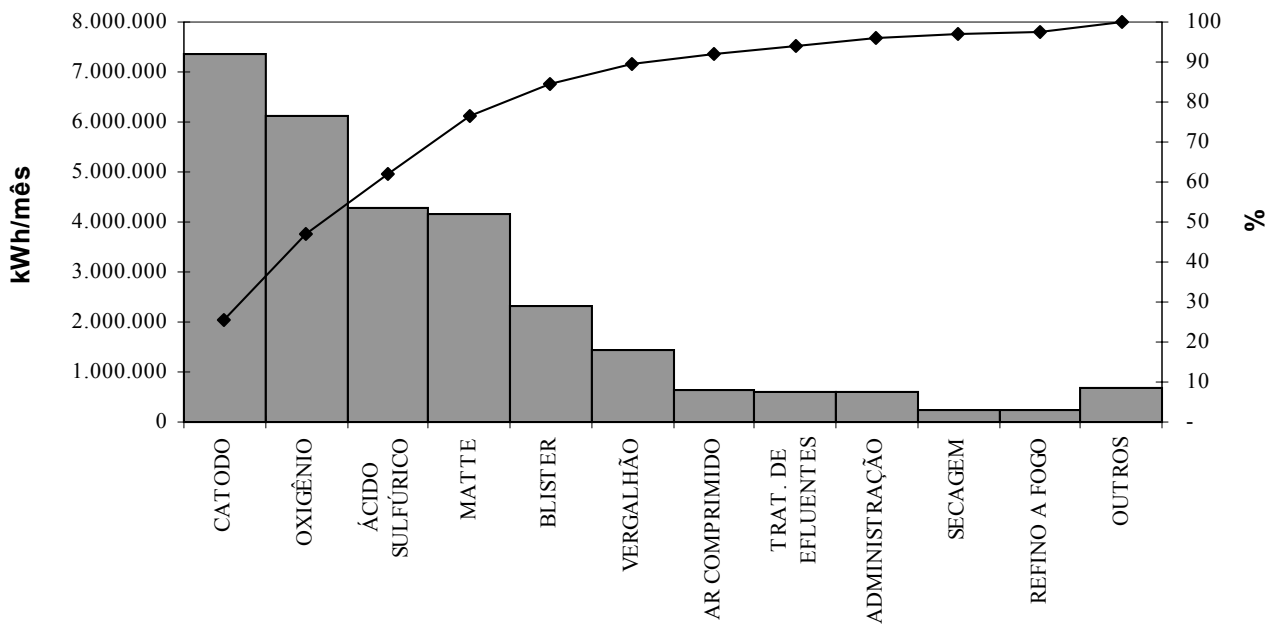


Figura-1 - Análise de Pareto do consumo de energia elétrica entre Janeiro e Maio de 2004

Diante deste contexto, é que o presente trabalho se insere e visa dar os primeiros passos em direção ao entendimento da quantidade e qualidade de energia utilizada na unidade produtora de oxigênio da Caraíba Metais, utilizando basicamente o conceito termodinâmico de exergia.

II Revisão bibliográfica

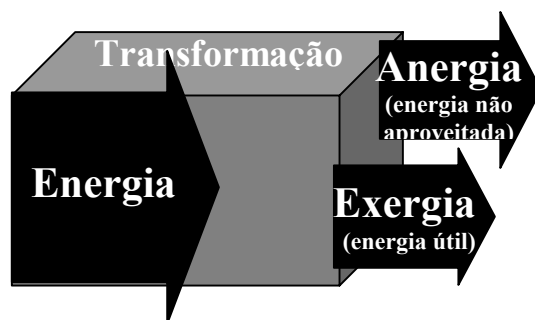
Os processos industriais em sua maioria são projetados e/ou avaliados com base na primeira lei da termodinâmica e, portanto considerando apenas o princípio da conversão e transformação da energia. Ou seja, as perdas da energia nem sempre são consideradas durante a fase da concepção do projeto original e que corresponde ao princípio da segunda lei da termodinâmica. A tabela 1 ilustra bem a diferença entre as leis da termodinâmica e introduz o conceito de exergia, de forma sucinta. Nota-se que a energia não pode ser criada nem destruída, só transformada e sempre se conserva e, a cada transformação haverá sempre uma parte perdida (1- 2)

Tabela-01 *– Comparação entre Energia e Exergia

Energia	Exergia
Primeira lei da termodinâmica	Segunda lei da termodinâmica
Nada desaparece	Tudo se despera
Energia é movimento ou habilidade de produzir movimento	Exergia é trabalho, isto é, movimento ordenado, ou habilidade para produzir trabalho
$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \quad (1)$	$Ex = T_0 \Delta S^{tot} \quad (2)$
<p>ΔQ é a energia adicionada como calor para o sistema.</p> <p>ΔU é a variação da energia interna do sistema</p> <p>ΔW é a energia extraída como trabalho do sistema.</p>	<p>Onde :</p> <p>Ex é a exergia</p> <p>T_0 é a temperatura do meio ambiente</p> <p>ΔS^{tot} é a variação da entropia total do sistema, isto é , do sistema e meio ambiente</p>
Energia é sempre conservada, isto é, em balanço, ela não pode ser produzida nem consumida.	Exergia é sempre conservada em um processo reversível, mas reduzida em um processo irreversível, isto é, em um processo real. Então, exergia nunca está em balanço para processos reais.
Energia é a medida da quantidade	Exergia é a medida da quantidade e qualidade

Nota : reproduzido a partir da referência (2)

Por definição, a exergia é a parte da energia que tem a capacidade de realizar trabalho, ou seja, é a parte útil. Portanto, a energia é a soma de tudo aquilo que pode ser aproveitado (exergia) com a parte que não se utiliza (anergia) (1), ou seja:



A figura –2 mostra a subdivisão da exergia total em exergia cinética, potencial, termoquímica. A exergia cinética e potencial possuem o mesmo significado que a energia cinética e potencial, quando o referencial é a superfície da terra. Enquanto a exergia cinética é relevante para análise de uma turbina, a exergia potencial possui um importante papel na otimização de sistemas elétricos e hidráulicos. A exergia termoquímica é de grande utilização não só em otimização de processos térmicos e mecânicos (exergia física) como também para quantificação de fontes de exergia e análise ambiental em processos químicos e metalúrgicos (2;3;4).

O estado referencial por razões práticas é definido como o meio ambiente, pois seus parâmetros são tão extensos que não são afetados pelo sistema sob consideração. Neste caso, o sistema em referência, proposto inicialmente por Szargut (1), é a temperatura ambiente (T_0) de referência é $298,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e pressão de referencia (P_0) de 1 atm.

A exergia física é igual a quantidade máxima de trabalho obtido quando uma corrente é levada do estado inicial até as condições de referência (T_0, P_0) por processos físicos envolvendo somente interações de pressões e temperaturas com o meio ambiente.

A exergia química é o trabalho obtido por uma substância desde a sua condição inicial até a condição de equilíbrio químico com o meio ambiente.

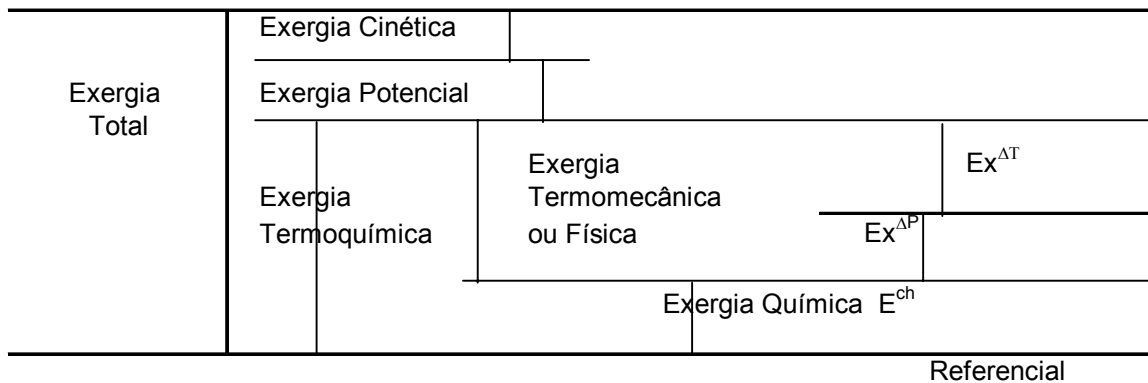


Figura-2 Subdivisões da exergia durante os processos de transformação

As fórmulas de cálculo e deduções matemáticas das diferentes formas de exergia, principalmente a exergia física e química que são as mais utilizadas na avaliação térmica de diversos processos industriais, podem ser encontrados nas referências. (1- 2-3)

Algumas aplicações industriais dos conceitos de exergia estão disponíveis em várias publicações. Wall (5) mostra, após o fluxo de exergia em um processo produtivo de papel e celulose e industria do aço e laminados, que tais análises fornecem informações para o planejamento de longo prazo no que se refere ao gerenciamento das fontes de energia. Wall (6) mostra, também, algumas vantagens da utilização do conceito de exergia relativo ao desenvolvimento auto-sustentável fazendo uma análise da queima de óleo combustível com oxigênio produzido em uma planta de separação de ar. Masini et al (4) mostra uma análise exergética macro dos processos metalúrgicos relativos a produção do aço, alumínio, cobre, chumbo e zinco, ou seja, considerando apenas a exergia química

e aponta algumas oportunidades de melhorias em cada processo específico. Karakus et al (7) mostra a análise de exergia para um sistema de mistura e peletização em indústria de alimento.

No que concerne a unidade de separação de ar, Cornelissen (8) subdividiu o processo em quatro subsistemas: Compressor de ar e unidade de purificação; Trocador de calor principal; Unidade de destilação e unidade de liquefação. Após a análise do fluxo de exergia, os resultados apontaram que mais da metade das perdas aconteciam durante o processo de liquefação, enquanto quase um terço das perdas ocorriam na unidade de compressão e purificação. Menores perdas de exergia foram observadas nas unidades de destilação e trocadores de calor. Algumas oportunidades de melhoria na unidade de liquefação e compressão de ar são apontadas e os ganhos seriam na ordem de 25% de diminuição com as perdas da exergia. Este trabalho conclui, também, que embora existam diversas oportunidades de melhoria, o processo criogênico de separação de ar é bem projetado sob o ponto de vista exergético.

III- Balanço de Massa e Energia

No anexo 1 é mostrado o fluxograma do processo da unidade de produção de oxigênio da Caraíba Metais SA a partir do fracionamento do ar. Nota-se que o ar atmosférico ($P= 1$ bar e $T= 300$ K) é comprimido a uma pressão de 7,5 bar e resfriado em coluna DCA (direct contact aftercooler). Em seguida, o ar passa pelo trocador de calor principal (RHX) e enviado para fracionamento nas colunas de destilação (inferior e superior).

Por questões de simplificação, o processo de produção de oxigênio está subdividida em quatro subsistemas: subsistema de compressão; resfriamento; expansão e destilação. As tabelas de 2-5 no anexo 1 mostram o balanço de massa e energia para todos os subsistemas referidos. Estes dados servirão de base para futuras análises térmicas utilizando cálculos de exergia e tomadas de decisões relativas às oportunidades de melhorias do sistema.

IV – Conclusão

O conceito de exergia possui grande importância no gerenciamento de recursos energéticos e cada vez mais vem sendo empregado com sucesso na otimização de plantas industriais, inclusive em unidades de separação de ar. A quantidade e qualidade do uso da energia é uma das vantagens da exergia em relação ao modelo clássico de balanço térmico considerando apenas a entalpia. Os primeiros passos para uma análise exergética de uma unidade industrial é definir o fluxograma de processo, subdividindo em subsistemas e construção do balanço de massa e energia .

V – Bibliografia

- 1 – Szagut, J.; Morris, D.R. and Steward F. R. – Exergy analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical process. Hemisphere Publishing Corporation , New York, 1988.
- 2 - Wall, G. & Going, M. – On Exergy and Sustainable Development – Part 1 : Conditions and concepts. Exergy International Journal . Vol 1; N. 3; pp 128-145 ; 2001
- 3 - Cornelissen, R, Different definitions of Exergetic Efficiencies, Proceedings of JETC IV, Nancy, France, pp 335-344
- 4- Masini, A; Ayres L.W.; Ayres, R.V – An Application of Energy Accounting to Five Basic Metal Industries. CMER, Insead . May – 2001; Fontainebleau, France.
- 5 - Wall, G.– Exergy Flows in Industrial Process. Energy. Vol.13, N. 2, pp 197 – 208, 1988
- 6- Wall, G. & Going, M. – A Zero Emission Combustion Power Plant for Enhanced Oil recovery . Energy, vol. 20, N. 8, pp-823-828, 1995.
- 7 - Karakus A.A.; Boyar S.; Akdeniz R.C; Hepbasly A. - An Exergy Analysis in a Mixed feed Industry: evaluation of an extruder pellet line. EE&AE'2002 – International Scientific Conference- April- 2002 ,Rousse-Bulgaria
- 8 - Cornelissen, R – Thermodynamics and sustainable development – The se of exergy and the reduction of irreversibility – Ph thesis, Nov. 1997- University Twente .
- 9 - Perry, Robert H. - Perry's chemical engineers' handbook. — 7th ed. - R. R. Donnelley & Sons Company. New York, 1997

Anexo 1

Tabela- 2– Balanço de massa do subsistema de compressão

Corrente	Fluido	Vazão kg/s	Pressão bar	Temperatura ° K	Energia kW
1	AIR	28,92	1,01	303	8684,52
5	AIR	-28,92	7,51	290,3	-8386,65
	Energia elétrica do motor				3223,02
	Trabalho fornecido				-3223,02
	Perdas para o meio ambiente				-297,87

Dados de entalpia extraídos do Perry's Chemical Engineers' Handbook (9)

Tabela-3 – Balanço de massa do subsistema de Resfriamento e Purificação

Corrente	Fluido	Vazão kg/s	Pressão bar	Temperatura ° K	Energia kW
15	AIR	27,49	7,52	289,82	7971,55
23	L.AIR	-0,41	6,96	100,37	-1,50
28	AIR	-3,16	6,89	174,26	-521,66
29	AIR	3,16	1,86	130,37	404,79
30	AIR	-3,16	1,79	126,48	-388,51
37	GO2	5,74	1,86	96,48	481,17
40	GO2	-5,74	1,17	303,71	-1550,74
41	N2 Waste	21,36	1,65	82,04	4343,75
45	N2 Waste	-21,36	1,03	303,71	-9262,40
46	LN2	9,51	6,80	98,3	1991,01
48	LN2	-9,51	1,60	86,8	-1848,82
53	AIR	-23,82	7,03	105,37	-4830,45
50	Kettle	14,71	7,03	102,3	1318,43
52	Kettle	-14,71	7,03	97,2	-1299,30
54	AIR	-0,10	7,09	302,59	-30,32
	Trabalho fornecido				3223,02

Dados de entalpia extraídos do Perry's Chemical Engineers' Handbook (9)

Tabela-4 – Balanço de massa do subsistema de Expansão

Corrente	Fluido	Vazão kg/s	Pressão bar	Temperatura ° K	Energia kW
28	AIR	3,16	6,89	174,26	521,66
29	AIR	-3,16	1,86	130,37	-404,79
Perdas para meio ambiente					-116,87

Dados de entalpia extraídos do Perry's Chemical Engineers' Handbook (9)

Tabela-5 – Balanço de massa do subsistema de Destilação

Corrente	Fluido	Vazão kg/s	Pressão bar	Temperatura ° K	Energia kW
23	L.AIR	0,41	6,96	100,37	1,52
30	AIR	3,16	1,79	126,48	388,51
37	GO2	-5,74	1,86	96,48	-481,59
41	N2 Waste	-21,36	1,65	82,04	-4343,75
46	LN2	-9,51	6,80	98,3	-1991,01
48	LN2	9,51	1,60	86,8	1848,82
49	LO2	-0,29	1,86	96,48	-125,75
50	Kettle	-14,71	7,03	102,3	-1318,43
52	Kettle	14,71	7,03	97,2	1299,30
53	AIR	23,82	7,03	105,37	4830,45
Perdas para meio ambiente					-108,08

Dados de entalpia extraídos do Perry's Chemical Engineers' Handbook (9)

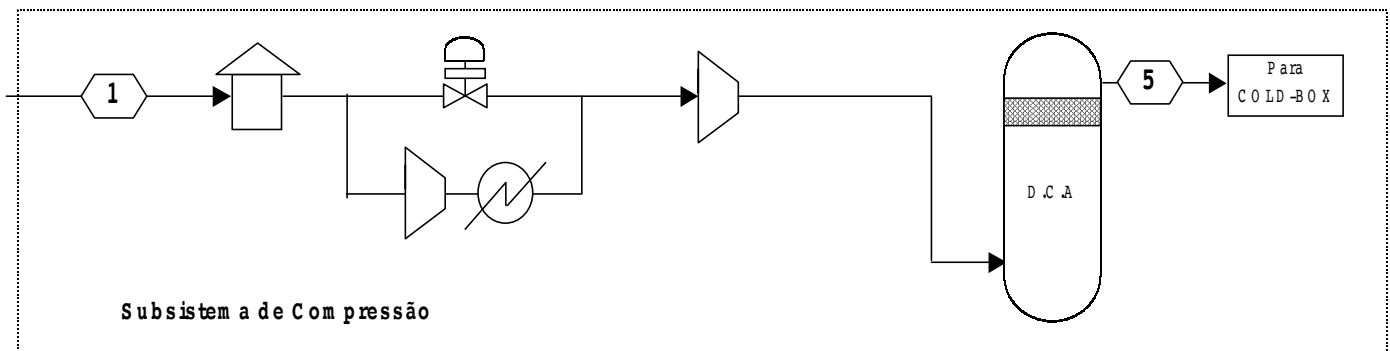


Figura-3 Fluxograma do processo de separação de ar (fase de compressão)

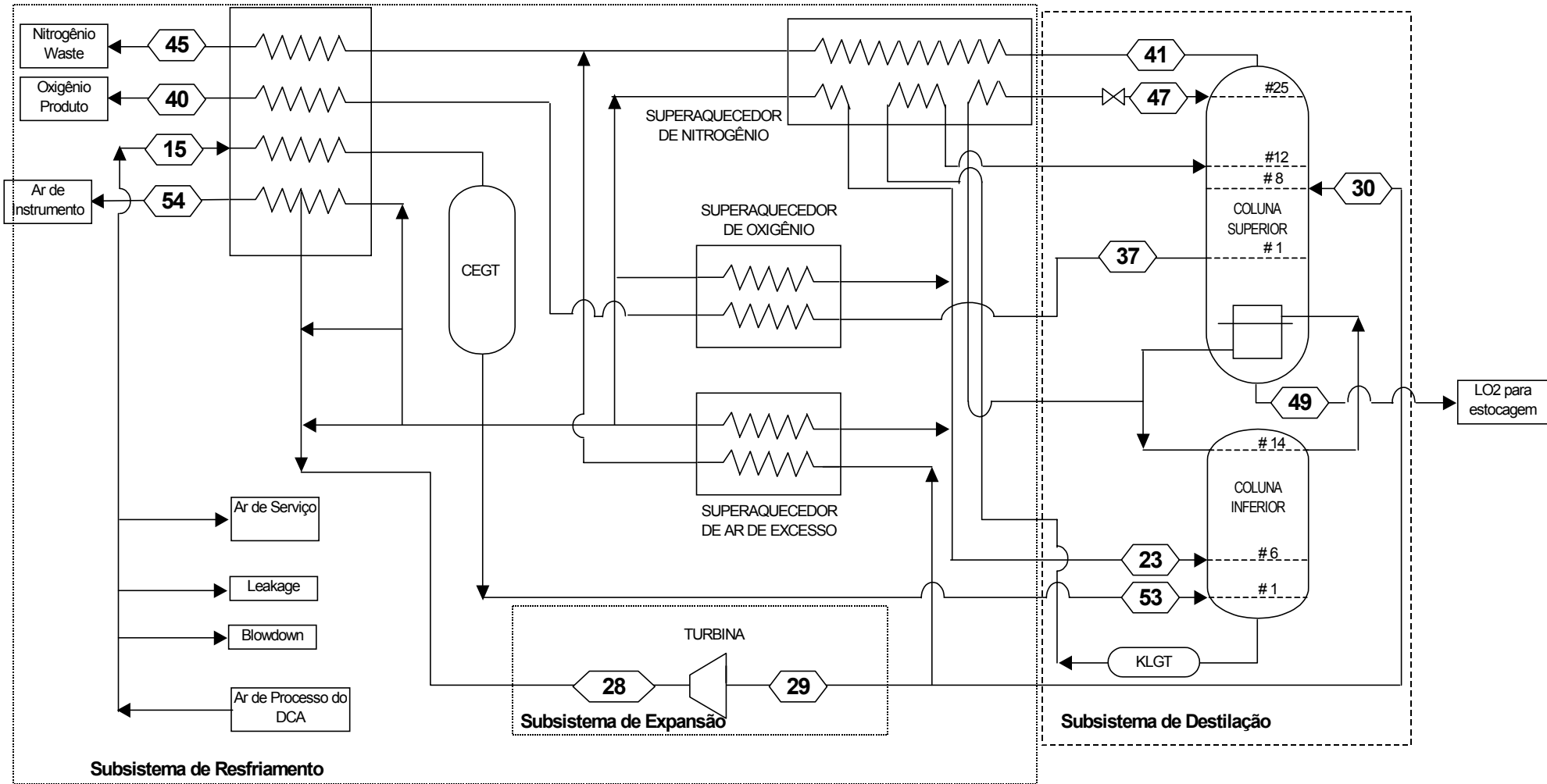


Figura-3.1 Fluxograma do processo de separação de ar (continuação)