

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE OTIMIZAÇÃO E ENGENHARIA DE SISTEMAS

De acordo
J.F.R.F.
12/10/90

EC/9100423

SHIMADA, LUCIO M.
TESE DE MESTRADO:
PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA REFINARIA DE
PETRÓLEO ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO POR METAS

Este exemplar corresponde à relação final da tese
defendida por Lucio Muto Shimada
e aprovada pela Comissão
Jugadora em 1990 / 1990.

J.F.R.F.
Orientador

- 1 -

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

TÍTULO DA TESE: PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA REFINARIA DE
PETRÓLEO ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO POR METAS

NOME DO ALUNO: LÚCIO MITIO SHIMADA 27

NÚMERO DE MATRÍCULA: 875513

NOME DO ORIENTADOR: PROF. DR. JURANDIR FERNANDO RIBEIRO FERNANDES 27

DATA DA PUBLICAÇÃO: SETEMBRO / 1990

Lúcio M. Shimada - Eng. Mecânico, pela UFRJ, 1977. É
Analista de Pesquisa Operacional do Serviço
de TeleInformática - SETINF, da PETROBRÁS.
Está lotado na Divisão de Operações no Esta-
do de S.Paulo - DIVOP-SP, do SETINF. Av. Ro-
que Petroni Jr., 1391, Brooklin - CEP 04707 -
Brooklin - São Paulo - SP.
tel. (011) 531-1611 R. 273 e 312
FAX (011) 61-0092
Telex 11-56787

APRESENTAÇÃO

A Programação por Metas, ou Programação Alvo Linear (PAL), é uma modificação e uma extensão da Programação Linear (PL). Esta técnica permite a resolução de um sistema de múltiplos objetivos ao invés de um objetivo único.

Frequentemente, múltiplas metas de um gerente estão em conflito ou são atingíveis apenas às expensas de outras metas. Além disso, estas metas são incomensuráveis. Assim, a resolução do problema requer o estabelecimento de uma hierarquia de importância entre estas metas incompatíveis de modo que metas de menor-ordem somente sejam consideradas após metas de maior-ordem terem sido satisfeitas ou atingido o ponto além do qual nenhuma melhoria adicional é conseguida.

Na Programação Alvo Linear Sequencial (PALS) é feita a otimização sequencial de vários problemas de Programação Linear (PL's) convencionais, cada PL correspondendo a uma meta. A cada etapa é otimizada a função satisfação correspondente à meta situada na quele nível de prioridade.

Esta implementação da Programação Alvo Linear Sequencial (PALS) foi elaborada para ser utilizada em conjunto com um modelo base de Programação Linear. A idéia é separar as restrições rígidas do modelo (por ex. capacidade de máquinas, disponibilidade de matérias primas, etc.) das restrições que compõem metas gerenciais (por ex. metas de produção ou níveis de estoque). Caso o PL monocritério obtenha uma solução ótima para um dado conjunto de restrições, então o modelo PALS não necessita ser rodado. Sua utilidade surge quando o PL monocritério não consegue obter uma solução factível. O modelo PALS é capaz de dizer ao gerente se existe ou não uma solução fisicamente implementável, i.e. que não viole nenhuma das restrições rígidas do modelo. Caso positivo, o modelo PALS permite ao gerente verificar quais e em quanto certas metas gerenciais devem ser relaxadas para que se obtenha uma solução factível para o problema monocritério.

Escolhemos o MPSX * como otimizador porque trata-se do ambiente tradicional de desenvolvimento de modelos de Pesquisa

(*) MPSX: Mathematical Programming System Extended é um software para problemas de Programação Linear da IBM.

Operacional na PETROBRÁS, além de outras facilidades como: capacidade de computação ("mainframe" IBM 3090-200), acesso à rede de telecomunicações, espaço em disco, etc.

As vantagens apresentadas por esta implementação, além do ganho no tempo de CPU (18.6 seg contra 7 * 17.4 seg para o modelo testado com 7 metas hierarquizadas, 825 restrições e 2362 variáveis), são uma maior confiabilidade nos resultados e uma redução de arquivos com dados intermediários. Além do evidente ganho em performance, podemos ainda destacar a facilidade de uso, a possibilidade de se analisar diferentes cenários rapidamente e uma interpretação mais abrangente dos resultados do modelo.

No Capítulo 1 fazemos uma descrição do problema, inclusive uma descrição do quadro atual da situação petróleo no Brasil. Para o leitor não familiarizado com a área, ou que queira recapitular química orgânica e processos de refino, sugerimos as referências [25] e [26] do Capítulo 8, onde descrevemos toda a bibliografia. No Capítulo 2, fazemos uma introdução à Programação por Metas. No Capítulo 3, fazemos uma descrição do modelamento e do equacionamento do modelo base de programação linear ao qual fizemos a implementação do algoritmo de Programação Alvo Linear Sequencial (PALS). No Capítulo 4, descrevemos como o adaptamos o modelo base monocritério para o uso da PALS. Como referência, incluímos uma descrição do algoritmo de Programação Alvo Linear Sequencial (PALS) no Apêndice A. No Capítulo 5, descrevemos como fizemos o gerenciamento do MPSX * para o uso da Programação por Metas. Para o entendimento da metodologia, sugerimos a seguinte ordem de leitura: Capítulo 2, Apêndice A, Capítulo 4 e Capítulo 5. No Capítulo 6, apresentamos os resultados computacionais obtidos e os nossos comentários. E, finalmente, no Capítulo 7, apresentamos nossas conclusões e sugestões.

(*) MPSX: Mathematical Programming System Extended, da IBM.

ÍNDICE

1. - DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

1.1 - Quadro Atual da Situação Petróleo

1.2 - O problema do Planejamento da Produção de uma Refinaria de Petróleo

2. - INTRODUÇÃO

2.1 - A Programação por Metas

a. Histórico da Programação por Metas

2.2 - Conceitos Básicos da Programação Alvo Linear

a. Meta Única com Sub-Metas de Não-Negatividade

b. Meta Única com Sub-Metas Canalizadas

c. Múltiplas Metas c/ Sub-Metas de Não-Negatividade

d. Múltiplas Metas com Sub-Metas Canalizadas

e. A Função Satisfação na Programação Alvo Linear

3. - O MODELAMENTO DO PROBLEMA MONOCRITÉRIO

3.1 - FLUXOGRAMA DA REGAP PARA O MODELO DE REFINO

3.2 - DICIONÁRIO DE DADOS

3.2.1 - Equações

3.2.2 - Variáveis

a. - Coluna 1 - (t) : Função das Variáveis

b. - Col. 2/3 - (un) : Unidades

c. - Col. 4/5 - (pp) : Produtos

d. - Col. 6/7 - (oo) : Petróleos

3.3 - TIPOS DE OPERAÇÃO

a. - Operação ATE (p=A)

b. - Operação BTE (p=B)

c. - Operação CAP (p=C)

d. - Operação FCC (p=F)

3.4 - MODELAMENTO E EQUACIONAMENTO

3.4.1 - Suprimento de Petróleos

- a. - Modelamento
- b. - Equacionamento

3.4.2 - Destilação Atmosférica

- a. - Modelamento
- b. - Equacionamento
 - b.1 - Carga nas Unidades
 - b.2 - Produções Básicas nas Unidades

3.4.3 - Destilação à Vácuo

- a. - Modelamento
- b. - Equacionamento
 - b.1 - Carga nas Unidades
 - b.2 - Produções Básicas nas Unidades

3.4.4 - Craqueamento Catalítico

- a. - Modelamento
- b. - Equacionamento
 - b.1. - Carga nas Unidades de FCC
 - b.1.1 - Balanço de $RA=GP+RV$ Craqueável, na operação $p=F$
 - b.2. - Produções Básicas nas Unidades

3.4.5 - Hidrodessulfurização (U-106)

- a. - Modelamento
- b. - Equacionamento
 - b.1 - Carga na Unidade HDS
 - b.2 - Produções Básicas na Unidade

3.4.6 - Hidrodessulfurização (U-108 + U-110)

- a. - Modelamento
- b. - Equacionamento
 - b.1 - Carga na Unidade HDS
 - b.2 - Consumo de Nafta para Geração de Hidrogênio na HDS
 - b.3 - Produções Básicas nas Unidades

3.4.7 - Balanço de GLP (LP)

- a. - Modelamento
- b. - Equacionamento

3.4.8 - Balanço de Nafta e Gasolina (NL, NQ, NP, AG, NA, NC, GA, GX)

- a. - Modelamento
 - a.1 - Nafta Leve
 - a.2 - Nafta Pesada
 - a.3 - Nafta Craqueada

- b. - Equacionamento
 - b.1 - Nafta Leve
 - b.2 - Nafta Pesada
 - b.3 - Gasolina
- 3.4.9 - Balanço de Prod's Componentes do Diesel (DS, DC, DP, GL)
 - a. - Modelamento
 - b. - Equacionamento
- 3.4.10 - Balanço de Enxofre
 - a. - Equacionamento
- 3.4.11 - Balanço de Diluentes p/ Asfalto e oc's (CL, DC, Q1, Q2, Q3)
 - a. - Equacionamento
 - a.1 - Óleo Leve de Reciclo (LCO)
 - a.2 - Diesel Craqueado
 - a.3 - Querosene
 - a.4 - Nafta Pesada
- 3.4.12 - Balanço de Resíduo de Vácuo (RV)
 - a. - Modelamento
 - b. - Equacionamento
- 3.4.13 - Produção de óleo combustível
 - a. - Modelamento
 - a.1 - Óleo Combustível ATE
 - a.2 - Óleo Combustível BTE
 - a.3 - Viscosidade do óleo Combustível
 - b. - Equacionamento
 - b.1 - Viscosidade do óleo Combustível
- 3.4.14 - Balanço de Asfaltos (A1, A3, CA)
 - a. - Modelamento
 - b. - Equacionamento
- 3.4.15 - Consumo Próprio
 - a. - Equacionamento
- 3.4.16 - Estoques Conjuntos dos Produtos xxyy (xxyy=AEBE, DSGP, RVGP, GADS, GAGX, NFFT, NQGX)
 - a. - Equacionamento
- 3.4.17 - Função-Objetivo
 - a. - Seleção do elenco de petróleos (FO1)
- 3.5 - LISTAGEM DAS VARIÁVEIS ("COLUMNS") DO MODELO
 - a. - Produções Básicas
 - b. - Carga nas Unidades
 - c. - Degradações
 - d. - Estoques
 - e. - Importação, Mercado, Produção,...

- 3.6 - Fluxograma DO SISTEMA
- 3.7 - Descrição de Relatórios
 - a. - RELATÓRIO 01 - Acompanhamento de petróleos
 - b. - RELATÓRIO 02 - Carga total nas unidades de destilação
 - c. - RELATÓRIO 03 - Carga e Produção das UFCC's
 - d. - RELATÓRIO 04 - Degradações
 - e. - RELATÓRIO 05 - Produção e movimentação de derivados
 - f. - RELATÓRIO 06 - Característica dos produtos
 - g. - RELATÓRIO 07 - Composição da função objetivo
- 4. - O PROBLEMA ADAPTADO PARA A PROGRAMAÇÃO POR METAS
 - 4.1 - Identificação das Metas da Gerência
 - 4.2 - Equacionamento das Metas Hierarquizadas
 - 4.3 - Listagem das Variáveis-desvio a partir das Metas
- 5. - O GERENCIAMENTO DO MPSX PARA O USO DA PROGRAMAÇÃO POR METAS
 - 5.1 - Referência bibliográfica
 - 5.2 - Implementação do Algoritmo PALS para o modelo de Planejamento da Produção da REGAP
- 6. - RESULTADOS COMPUTACIONAIS E COMENTÁRIOS
 - 6.1 - Implementação da PALS em Outro Modelo Base
- 7. - CONCLUSÕES E SUGESTÕES
- 8. - BIBLIOGRAFIA

APÊNDICES:

- A. - A PROGRAMAÇÃO POR METAS
- B. - TABELAS DE DADOS

CAPÍTULO 1

1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

1.1 Quadro Atual da Situação Petróleo *

Após duas grandes crises, ocorridas em 1973 e 1979, o mercado internacional de petróleo obteve, em 1989, uma recuperação da demanda e redução de excedentes. A demanda mundial de petróleo foi de 49,7 milhões de barris/dia **, em 1988. O preço do óleo Brent - usado como referência no mercado livre - esteve entre US\$ 16.13 e US\$ 20.45 por barril. Os ministros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) buscaram estabilizar o preço de referência fixado em 1988, de US\$ 18.00 por barril, através de limites na produção de países membros cujo total atinge a 18,5 milhões de barris/dia. Entretanto, estes limites foram continuamente superados.

O consumo nacional de derivados de petróleo atingiu a 1.167 mil barris/dia, em 1989. O consumo de gás natural foi de 10 milhões de m³/dia, equivalentes a 66,3 mil barris de petróleo/dia, em 1989, principalmente pela consolidação do gasoduto Rio-S.Paulo.

O consumo nacional dos principais derivados do petróleo é mostrado na tabela 1.1 a seguir:

Consumo Nacional dos Principais Derivados de Petróleo					
Derivados (1000 m ³)	1985	1986	1987	1988	1989
Energéticos	47.924	53.291	54.716	55.644	56.893
GLP	6.552	7.106	7.675	8.424	8.613
Gasolina Automotiva	7.622	8.588	7.539	7.290	8.273
Diesel	20.175	22.384	23.722	24.704	25.082
Óleos Combustíveis	9.864	11.501	11.839	11.570	11.137
Outros	3.711	3.712	3.941	3.656	3.788
Não-Energéticos	11.155	11.570	12.055	12.985	11.771
Nafta e gasóleo					
petroquímicos	7.421	7.148	7.458	8.048	8.268
Outros	3.734	4.422	4.597	4.937	3.503
Efluentes	(1.165)	(968)	(945)	(937)	(973)
MERCADO TOTAL	57.914	63.893	65.826	67.692	67.691

Tabela 1.1

(*) Relatórios anuais da Petrobrás de 1988 e 1989.

(**) 1 barril = 0.159 m³.

O volume de petróleo processado atingiu, em 1989, a 1.18 mil barris/dia, dos quais 129 mil barris/dia foram exportados -- 52% gasolina, principalmente para USA -- gerando divisas de US\$ 923 milhões

Foram importados 215 milhões de barris de petróleo com dispêndio de US\$ 3.4 bilhões. A produção nacional atingiu a média de 616.841 barris/dia, com recorde de 625.539 barris produzidos em um dia em abril de 1988. Cerca de 66.6% da produção nacional foram obtidos no mar, nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Sergipe, Rio Grande do Norte e Ceará. O Rio de Janeiro é o maior produtor do país, com 57.8% da produção nacional.

A produção média de petróleo é apresentada na tabela 1. a seguir:

ESTADO	Produção em barris/dia		
	1987	1988	1989
AM	0	239	3.196
MA	31	6	0
CE	17.900	17.102	17.215
RN	55.558	64.716	57.677
AL	10.158	9.950	8.604
SE	54.231	53.004	53.935
BA	85.290	83.440	81.825
ES	14.479	16.800	16.498
RJ	351.839	330.978	356.367
PR	755	811	824
TOTAL	590.241	577.047	616.841

Tabela 1.2

Em 1988, foi iniciado o desenvolvimento do Campo de Marlim, na Bacia de Campos, com previsão de produzir 50 mil barris/dia de petróleo em 1990. Este campo, situado em águas entre 400 e 2.000 metros de profundidade, é o maior campo brasileiro com reservas estimadas de 2,9 bilhões de barris de petróleo.

A produção média de gás natural, em 1989, foi de 16.75 mil m³/dia. O programa de ampliação do uso de gás natural no país, principalmente com a consolidação do gasoduto Nordeste e do gasoduto Rio-São Paulo, possibilitou elevar o nível de utilização do produto para 84%, em 1989.

As reservas provadas de petróleo, em 31.12.89, atingiram 444.284 milhões de m³ e as reservas provadas de gás natural totalizaram 116.007.577 milhões de m³, em 31.12.88.

Os investimentos da Petrobrás atingiram, em 1989, a US\$ 852 milhões em gastos nas áreas de produção, transporte e refino, destacando-se a conclusão da instalação de sete plataformas fixas de produção que compõem o Pólo Nordeste da Bacia de Campos, onde foram investidos o equivalente a US\$ 1.5 bilhão. As compras de materiais e equipamentos, em 1989, totalizaram US\$ 858 milhões, dos quais 91% em aquisição no mercado interno.

Em 1988, a Petrobrás preparou um Plano de Investimentos para sua área de atividades, que tinha por objetivo aumentar a autonomia energética do País, através da produção diária de 1 milhão de barris de petróleo e 44 milhões de m³ de gás natural em 1993, criando condições para se atingir 1,5 milhão de barris de petróleo e 70 milhões de m³ de gás natural em 1997.

Devido à séria crise financeira vivida pela Petrobrás, em 1989, principalmente pelo fato de os preços dos derivados de petróleo terem sido utilizados como instrumentos de política macroeconômica voltada para a redução da inflação, os investimentos não alcançaram os níveis previstos, e as metas de produção de petróleo e de gás natural para 1993 e 1997, anunciadas anteriormente, foram postergadas. Apesar destas dificuldades, em 1989, foram descobertos mais dois campos de petróleo em águas profundas na Bacia de Campos.

O parque de refino da Petrobrás é composto por onze refinarias. Estas contêm 21 unidades de destilação atmosférica, 21 unidades de destilação à vácuo, 11 unidades de craqueamento catalítico, além de unidades de lubrificantes, reforma catalítica, pirólise, desasfaltação, recuperação de aromáticos, etc. A capacidade instalada do parque de refino é de 1,5 milhão de barris/dia. O estado com maior número de unidades é S. Paulo com quatro refinarias: RPBC, em Cubatão, REPLAN, em Paulínia, REVAP, em S. José dos Campos e RECAP, no ABC. A refinaria com maior capacidade de refino é a REPLAN, em Paulínia, com 320 mil barris/dia. A única unidade de produção de gasolina de aviação no país está na RPBC, em Cubatão. Lubrificantes são produzidos na REDUC, em Duque de Caxias-RJ, e na RLAM, em Mataripe-BA.

Na tabela 1.3 a seguir, apresentamos a relação das refinarias da Petrobrás.

Através de navios a Petrobrás transportou, em 1989, 89 milhões de toneladas métricas de petróleo, derivados e outros produtos. A navegação de cabotagem superou, com 45,6 milhões de toneladas métricas, a navegação de longo curso, com 43,5 milhões de toneladas métricas transportadas. A participação de navios próprios atingiu 57%. A Petrobrás possui oito terminais marítimos para carga/descarga e transferência de petróleo e derivados. A rede de oleodutos terrestres e marítimos totalizou, ao final de 1989, 3.880 km de extensão, enquanto a rede de gasodutos atingiu 1.841 km.

Unidade	Nome	Estado
1. ASFOR	Fábrica de Asfaltos de Fortaleza	CE
2. REMAN	Refinaria de Manaus	AM
3. RLAM	Refinaria Landulpho Alves	BA
4. REGAP	Refinaria Gabriel Passos	MG
5. REDUC	Refinaria Duque de Caxias	RJ
6. REVAP	Refinaria Henrique Lage	SP
7. REPLAN	Refinaria de Paulínia	SP
8. RECAP	Refinaria de Capuava	SP
9. RPBC	Refinaria Presidente Bernardes	SP
10. REPAR	Refinaria Presidente G. Vargas	PR
11. REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini	RS

Tabela 1.3

Através de navios a Petrobrás transportou, em 1989, 8 milhões de toneladas métricas de petróleo, derivados e outros produtos. A navegação de cabotagem superou, com 45,6 milhões de toneladas métricas, a navegação de longo curso, com 43,5 milhões de toneladas métricas transportadas. A participação de navios próprios atingiu 57%. A Petrobrás possui oito terminais marítimos para carga/descarga e transferência de petróleo e derivados. A rede de oleodutos terrestres e marítimo totalizou 3.880 km de extensão, enquanto a rede de gasodutos atingiu ao final de 1989, 1.841 km.

A seguir, apresentamos a tabela 1.4 com os terminais marítimos.

O TEBIG, em Angra dos Reis-RJ, é o maior terminal brasileiro, com pier de atracação de navios com capacidade de até 500 mil toneladas de porte bruto, e supre através de oleoduto a REDUC e a REGAP. O TEBAR, em S. Sebastião-SP, faz o suprimento de petróleo das quatro refinarias do Estado de São Paulo e faz exportação de derivados. TEBAR movimenta 50% do petróleo processado no país e 80% de todo o álcool combustível. O TEDEP é um complexo de oleodutos de derivados interligando refinarias de S. Paulo, contando com pier de atracação de navios e o primeiro parque de tancagem criogênico para GLP no país. TEFRAN, que atende a REPAR, é constituído por duas unidades distintas em S. Francisco do Sul-SC (petróleo), e em Paranaguá-PR (derivados).

UNIDADE	DENOMINAÇÃO	ESTADO	REFINARIA QUE ATENDE
TECARMO	Terminal de Carmópolis	SE	-
TEMADRE	Terminal Alm. Alves Camara	BA	RLAM
TORGUA	Terminal da Ilha d'água	RJ	REDUC
TEBIG	Terminal da Ilha Grande	RJ	REDUC REGAP
TEBAR	Terminal Almirante Barroso	SP	REPLAN REVAP RECAP RPBC
TEDEP	Terminal de Alemoa	SP	REPLAN REVAP RECAP RPBC
TEFRAN	Terminal de S. Fco do Sul	SC	REPAR
TEDUT	Terminal Alm. Soares Dutra	RS	REFAP COPESUL

Tabela 1.4

1.2 O Problema do Planejamento da Produção em uma Refinaria de Petróleo

O problema do planejamento da produção em uma refinaria de petróleo consiste em se determinar a qualidade e a quantidade da mistura de petróleo a ser processada, em valores agregados mês a mês. Estes petróleos podem ser de produção nacional ou importados. Estes estão vinculados a contratos de fornecimento de longo prazo ou são adquiridos no mercado livre. De qualquer maneira, o planejamento deve ser feito com uma antecedência razoável ao refino por diversas razões. Por exemplo, uma viagem de navio de longo curso, a partir do oriente, pode durar 30 ou mais dias.

O petróleo apresenta grande variedade de qualidade e preço. Petróleos mais leves, com maior teor de produtos nobres, apresentam preço mais elevado.

Igualmente, petróleos com menor teor de contaminantes, por exemplo com baixo teor de enxofre, alcançam maior preço no mercado. Petróleos de base parafínica, adequados para a produção de lubrificantes, também são muito valorizados.

Em contraposição, petróleos asfálticos, com alto teor de resíduo de vácuo, têm um preço mais baixo.

Cada refinaria possui sua região de influência no país, cuja demanda deve atender. Esta demanda tem a característica de ser sazonal. Por exemplo, a demanda por gasolina aumenta nos meses de férias escolares, o mesmo ocorrendo com a demanda por diesel no período de safras agrícolas.

Para ilustrar a importância da decisão sobre a mistura de petróleos mais adequada, basta considerar que uma redução de US\$ 0.10 no preço médio por barril da carga processada, no caso da Petrobrás, representa uma redução de gastos de mais de US\$ 100 mil/dia.

O modelo 7174 - Planejamento de Produção da REGAP, ao qual fizemos a implementação do algoritmo de Programação Alvo, é um modelo de Programação Linear multi-periodal, que se propõe a auxiliar o Programador da Produção da REGAP. As restrições do modelo são o limite de oferta de cada tipo de petróleo, as características das unidades de processo, a demanda do mercado pelos produtos finais, a qualidade dos produtos e outras restrições operacionais.

O problema do Programador da Produção consiste basicamente em se determinar, a nível agregado mês a mês e horizonte de seis meses, a vazão e a qualidade da mistura de petróleos, na carga da refinaria, mais adequada para se obter produtos finais, em quantidade e na qualidade requeridas, para atender a demanda do mercado, através de operações a serem feitas nas diversas unidades de processo da refinaria.

A figura 1.1 a seguir mostra esquematicamente o modelo.

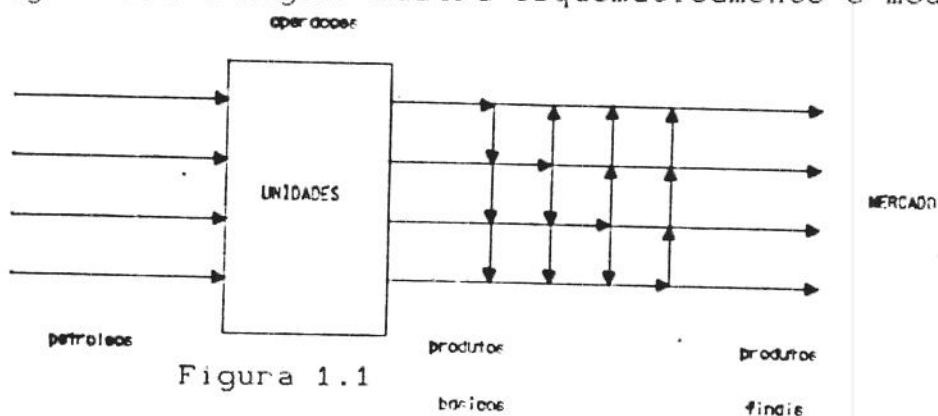


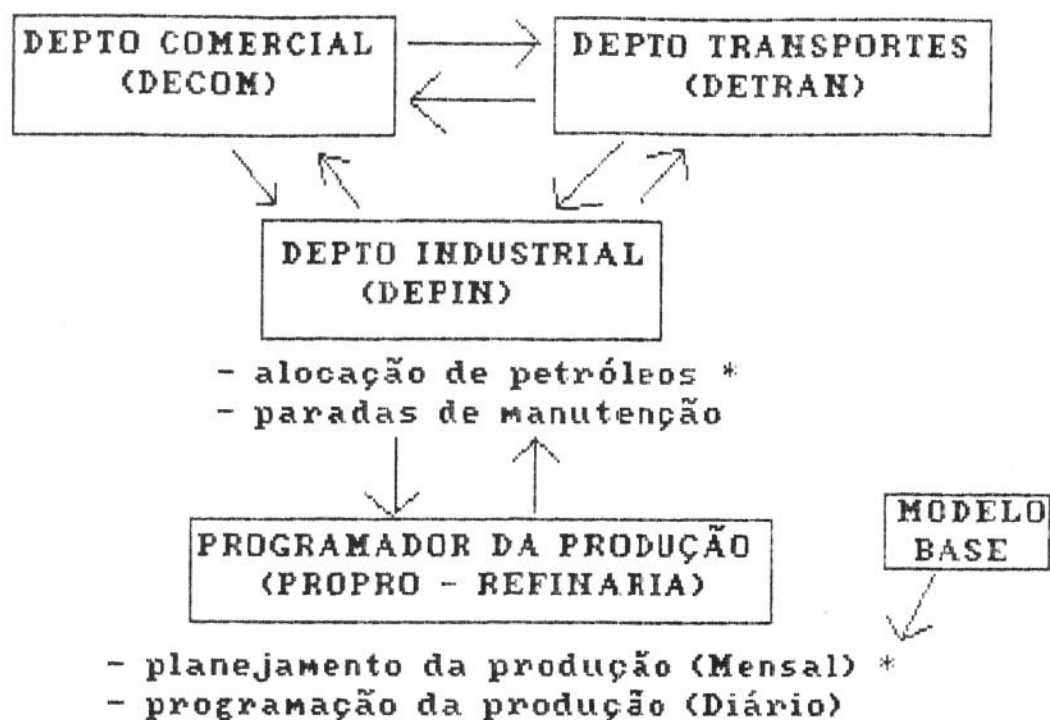
Figura 1.1

1.2, à seguir.

O contexto da decisão está ilustrado na Figura

O CONTEXTO DA DECISÃO:

- previsão da demanda *
- compra de petróleo *
- exportação de produtos
- roteamento de navios
- distribuição de derivados *



- planejamento da produção (Mensal) *
- programação da produção (Diário)

(*) Modelos de PO

Figura 1.2

As decisões quanto a previsão da demanda, compra de petróleo e exportação de produtos são de responsabilidade do Departamento Comercial (DECOM), da Cia. As decisões sobre o roteamento de navios e distribuição de derivados são tomadas pelo Departamento de Transportes (DETRAN). Ao Departamento Industrial (DEPIN), que engloba todas as refinarias da PETROBRAS, cabe as decisões de alocação de petróleo para cada uma das refinarias e elaboração do plano de paradas das unidades para manutenção. O Programador da Produção (PROPRO) de cada refinaria deve elaborar mensalmente o planejamento da produção e diariamente a programação da produção.

O asterisco (*) indica que a decisão é suportada por um modelo de Pesquisa Operacional (PO). A técnica usada é, exceto para a previsão da demanda, a Programação Linear (PL). O modelo básico utilizado para a implementação da Programação Alvo Linear Sequencial (PALS) foi um modelo para o planejamento da produção mensal utilizado pelo Programador da Produção da Refinaria Gabriel Passos - REGAP..

O problema do Programador da Produção consiste, então, em se determinar:

O QUE	COMPRAR
QUANTO	TRANSPORTAR
QUANDO	PRODUZIR
	ARMAZENAR
	ATENDER A DEMANDA

Os processos de produção dos produtos finais a partir do petróleo, como será visto no Cap. 3, podem ser físicos ou químicos. Cada uma dessas unidades de processo cumpre papel específico no refino por ex., unidades de destilação fazem a separação física do petróleo e suas frações constituintes, unidades de craqueamento catalítico fluido promovem a quebra de moléculas mais pesadas de hidrocarbonetos obtendo moléculas menores. Além dos processos de obtenção de produtos básicos a partir do petróleo, existem também processos de tratamento para adequar os produtos finais para a comercialização.

As operações consistem de "campanhas" que correspondem períodos determinados em que se processam exclusivamente uma dada mistura de petróleo com o objetivo de se obter prioritariamente determinados produtos finais, como será visto no Cap. 3, item 3.3. Assim, temos campanha de asfalto, campanha de ATE (óleo combustível de alto teor de enxofre), campanha de BTE (óleo combustível de baixo teor de enxofre) campanha de RV (resíduo de vácuo) craqueável.

Cada petróleo apresenta características que o tornam mais adequado para a produção de determinados produtos. Um petróleo pode ser classificado por diferentes critérios. Por exemplo; um petróleo pode ser, quanto a sua base, classificado como parafínico, naftênico, aromático ou misto; quanto ao teor de enxofre pode ser alto ou baixo; quanto a fluidez, pode apresentar fluidez alta ou baixa. Por sua vez, os derivados possuem especificações que restringem os tipos de petróleos possíveis de serem processados. Por exemplo, torna-se difícil obter óleo combustível de baixo teor de enxofre (BTE) a partir de um petróleo que apresente alto teor de enxofre (ATE).

As restrições operacionais consistem de estoques mínimos e máximos de petróleo e de derivados, vazões mínimas e máximas em unidades de processo e em oleodutos, além de particularidades de cada uma das unidades de processo.

O modelo de Planejamento de Produção da REGAP é um modelo de Programação Linear que utiliza como otimizador o software MPSX. * Devido ao formato de entrada dos dados requerido pelo MPSX, equação por equação e variável a variável, foi usado o gerador de matrizes MAGEN *. O MAGEN possibilita que a entrada de dados seja feita na forma de tabelas, a partir de uma seção de ROSCOE * do usuário, em terminal IBM 3278. Na análise da solução é empregado novamente o MAGEN para formatar a solução do MPSX na forma de relatório desejada pelo usuário.

Estes dois "software" estão implantados no "mainframe" IBM 3090-200 do Serviço de Teleinformática da Petrobrás, SETINF, no Rio de Janeiro-RJ, nó RJ00. O usuário do modelo fica na refinaria em Betim-MG. Ele tem acesso à rede IBM do SETINF a partir de um terminal IBM 3278 da refinaria ligado a um mainframe IBM 4381 instalado na Divisão de Operações no Estado de São Paulo do Serviço de Teleinformática, SETINF/DIVOP-SP, nó SP00. Usando o editor de textos ROSCOE, o usuário faz a atualização de tabelas de dados de entrada do modelo e submete-o para execução no nó RJ00. É feita, então, a transmissão dos dados do nó SP00 para o nó RJ00, onde o modelo é executado. Após sua execução, a saída gerada é transmitida de volta para o nó SP00, a partir de onde o usuário da REGAP pode acessar normalmente. Caso o usuário deseje uma saída impressa, o relatório é direcionado para impressão no endereço SP00:RMT08, i.e., na refinaria.

Visando otimizar o tempo de transmissão dos dados para o nó RJ00, onde o modelo é executado, o equacionamento está gravado em disco no nó RJ00, e apenas as tabelas de dados e o programa de controle estão na seção de ROSCOE do usuário na REGAP (nó SP00:RMT08).

Na Figura 1.2, a seguir, apresentamos esquema da rede SNA * do Serviço de Teleinformática da Petrobrás, SETINF:

- (*) MPSX - Mathematical Programming System Extended, da IBM.
- (*) MAGEN - Matrix Generator, da Haverly Systems.
- (*) ROSCOE - Editor de texto, da Applied Data Research.
- (*) SNA - System Network Achitecture, da IBM.

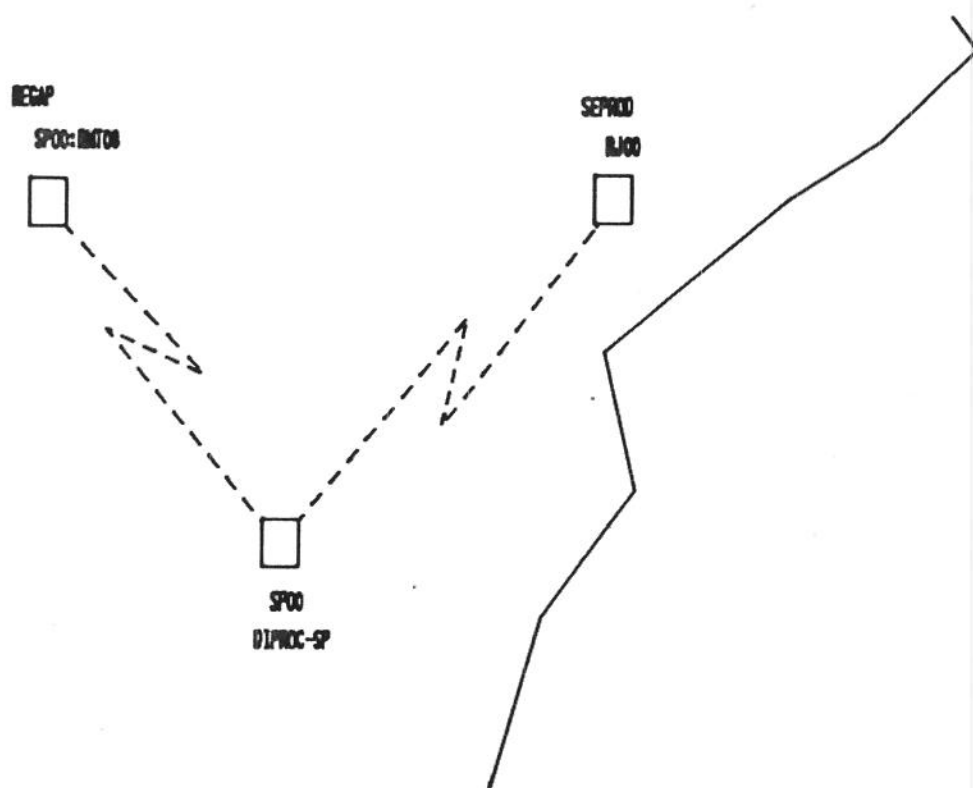


Figura 1.2

A Petrobrás é pioneira no uso da Pesquisa Operacional entre as empresas brasileiras. As primeiras aplicações de PO na empresa foram feitas no final da década de 60. Foi também nesse período que foi criado um núcleo de PO na empresa. Atualmente, existe uma Divisão de Pesquisa Operacional, no Serviço de Teleinformática, SETINF/PESOP. Além disso, existe um setor no Serviço de Planejamento, SERPLAN, um Setor de Pesquisa Operacional na Divisão de Operações no Estado da Bahia do SETINF, DIVOP-BA/SEPOP além de um núcleo na Divisão de Operações no Estado de S. Paulo do SETINF, DIVOP-SP. As aplicações têm sido feitas em todas as áreas de atividade da empresa. As técnicas são as mais diversificadas, sendo a Programação Linear a mais utilizada. Alguns destes modelos têm sido utilizados rotineiramente, como por exemplo, no planejamento de investimentos no parque de refino, na elaboração do plano de compras e alocação de petróleos, no planejamento do transporte de deri-

vados, na elaboração do plano de retirada de álcool das usinas produtoras, na programação da distribuição de gás natural por rede de gasodutos.

A Petrobrás tem realizado projetos em conjunto com universidades, por ex., com a COPPE/UFRJ, com a qual desenvolveu um projeto de roteamento de helicópteros para a Bacia de Campos. Podemos também destacar o seminário promovido pela Petrobrás e INT, juntamente com a London School of Economics, em 1987, sobre simulação e sobre sistemas especialistas. Os técnicos da Petrobrás têm participado tanto com publicação de trabalhos como na administração da SOBRAPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional.

A Petrobrás criou em convênio com a UNICAMP, em março de 1987, o Centro de Estudos de Petróleo (CEPETRO), com o objetivo de promover pesquisas científicas e tecnológicas e cursos de pós-graduação na área de engenharia do petróleo. Nesse sentido, foi criado em agosto de 1987, o curso de Mestrado em Engenharia do Petróleo. Para este curso foi construído um complexo com 1200 m² junto ao prédio da Engenharia Mecânica da UNICAMP. No apoio computacional, o curso conta, além de equipamentos locais, com os equipamentos do Centro Computacional da UNICAMP, compreendendo: um "mainframe" IBM 3090-150 com processador vetorial, um "cluster" formado por dois VAX 785 e um Cyber 830. Planeja-se os seguintes laboratórios, estando alguns em implantação:

- . LEMP - Laboratório de Escoamento em Meios Porosos
- . LPF - Laboratório de Fluidos de Perfuração
- . LMMR - Laboratório de Métodos Miscíveis de Recuperação
- . LMTR - Laboratório de Métodos Térmicos de Recuperação
- . LEDPM - Laboratório de Estática e Dinâmica de Plataformas Marítimas Petrolíferas

O curso de Mestrado em Engenharia do Petróleo, concentra-se nas seguintes áreas:

- . **Reservatórios:** avaliação econômica de reservas para extração inicial ou suplementar; modelamento e simulação de reservatórios; previsão de comportamento de poços; tecnologia de recuperação secundária e terciária de óleo e gás.
- . **Perfuração:** elementos de hidráulica de perfuração; avaliação e seleção de equipamentos; comportamento das rochas sob perfuração; interação rocha-perfuratriz; planejamento de perfuração.
- . **Produção:** elevação de petróleo; transporte em escoamentos multifásicos; reologia dos fluidos; comportamento de escoamento em dutos.
- . **Completação:** comportamento das rochas em poços; fraturamento hidráulico; estimulação e perfilagem de poços; interpretação de litologias.

O curso conta com intensa participação de especialistas da Petrobrás, de docentes da UNICAMP, e de pesquisadores estrangeiros de renome. Foram mantidos contatos com as seguintes instituições, visando a vinda de professores estrangeiros:

- . Stanford University
- . The University of Tulsa
- . Colorado School of Mines

- . The University of Texas
- . Louisiana State University
- . Imperial College of Science and Technology
- . Heriot - Watt University
- . The University of Kansas

A Petrobrás tem realizado diversos estudos para o desenvolvimento de sistemas de informação e de apoio à decisão. O mais antigo, conhecido por relatório SCICON, de 1974, foi elaborado para a área de suprimento de petróleo, e serviu para orientar o desenvolvimento de diversos modelos de PO para esta área. Mais recentemente, em 1988, foi realizado um estudo pela Petrobrás em conjunto com a FCAV/USP para a área de abastecimento de derivados no Estado de São Paulo, e que resultou em uma proposta para desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão, incluindo uma hierarquia de modelos de PO.

A Petrobrás, através da Refinaria de Paulínia, REPLAN, com a participação do Serviço de Teleinformática, SETINF, mantém um projeto em conjunto com o Centro Tecnológico para Informática (CTI) para desenvolvimento de um sistema inteligente para a programação da produção e operações de transferência. Este projeto deverá integrar bases de dados operacionais (BDO) orientadas a objetos, com técnicas de pesquisa operacional (PO) e inteligência artificial.

A nossa experiência, em particular, consiste em trabalhos realizados no núcleo de Pesquisa Operacional da Divisão de Operações no Estado de São Paulo do Serviço de Teleinformática da Petrobrás, SETINF/DIVOP-SP, onde estamos lotados a partir de 1984, após seis anos no Serviço de Engenharia da Petrobrás, SEGEN. Em 1984, participamos do CPOA-Curso de Pesquisa Operacional Aplicada, da Petrobrás. Participamos, ainda, do curso de Pesquisa Operacional oferecido pela FGV-SP dentro do CEAG - Curso de Especialização em Administração para Graduados. Em 1984, atuamos na equipe que fez o enxugamento do modelo 0399 Planejamento da Produção da REFAP, onde foram eliminadas as unidades futuras previstas anteriormente no modelo. Em 1985, trabalhamos com a equipe que fez a atualização do modelo 7174 - Planejamento da Produção da REGAP, onde foram acrescentadas novas unidades após duplicação da refinaria que não haviam sido previstas anteriormente neste modelo. Em 1986, trabalhamos com a equipe que fez a elaboração do modelo 0559 Planejamento da Produção da RECAP. Em 1987 e 1988, participamos em tempo integral do curso de mestrado em Pesquisa Operacional na Faculdade de Engenharia Elétrica da Unicamp. Em 1989, fizemos nova atualização do modelo 7174, para adequar a situação atual. Em 1989 iniciamos teste para implementação de Programação Alvo ao modelo 7174, como trabalho de tese de mestrado para Unicamp. Em 1989, participamos do curso de MPS versão 2, promovido pela IBM-Dallas USA e pela Petrobrás. Em 1990, participamos do CATIA - Curso de Atualização em Inteligência Artificial promovido pela Petrobrás e o ILTC-Rio.

CAPÍTULO 2

A implementação da Programação Alvo que passamos a apresentar, surgiu a partir da necessidade de se dispor na Petrobrás de novas metodologias para auxiliar na utilização e análise de modelos de refino construídos e utilizados em diversas refinarias. Um dado importante para a nossa decisão foi o trabalho publicado por Ignizio [2], onde ele relata que fez uma implementação de Programação Alvo usando o MPSX (*).

Além disso, frequentemente, o usuário do modelo expõe sua necessidade de obter uma região de soluções não dominadas, ao invés de uma única solução obtida a partir de um modelo monocritério. Outra questão importante é a dificuldade de se analisar soluções in-factíveis em modelos de programação linear de grande porte.

2.1 A Programação por Metas

a. Histórico da Programação por Metas

Charnes et Cooper [6] desenvolveram o conceito de Programação Alvo ou "goal programming". O conceito de Programação por Metas ou Programação Alvo surgiu pela primeira vez numa discussão acerca de problemas de Programação Linear insolúveis. Charnes e Cooper explicam:

"Proximamente relacionado à análise de inconsistências em problemas insolúveis de Programação Linear está a questão que chamamos "atingimento de metas". Um gerente estabelece estas metas, mesmo quando inatingíveis dentro dos limites dos recursos disponíveis por vários motivos. Por exemplo, tais metas são estabelecidas para dar incentivos ou para julgar realizações, ou então são usadas como medidas de segurança para que considerações de longo prazo não sejam atropeladas pelos objetivos atin-

(cont.)

(*) MPSX: Mathematical Programming System Extended/370 é um software para Programação Linear da IBM.

(cont.)

gíveis imediatamente. Restrições incorporadas à função objetivo são chamadas "metas", sejam atingíveis ou não. Então, uma função satisfação pode ser estabelecida onde sua otimização provê um resultado "tão próximo quanto possível" de metas estabelecidas."

Charnes e Cooper deram a seguinte ilustração para apresentar a Programação Alvo:

$$(2.1) \quad \left[\begin{array}{ll} \text{Max } z = & x_1 + .5 x_2 \\ \text{s.a.} & 3x_1 + 2x_2 \leq 12. \\ & 5x_1 \leq 10. \\ & x_1 + x_2 \geq 8. \\ & -x_1 + x_2 \geq 4. \\ & x \geq 0. \end{array} \right.$$

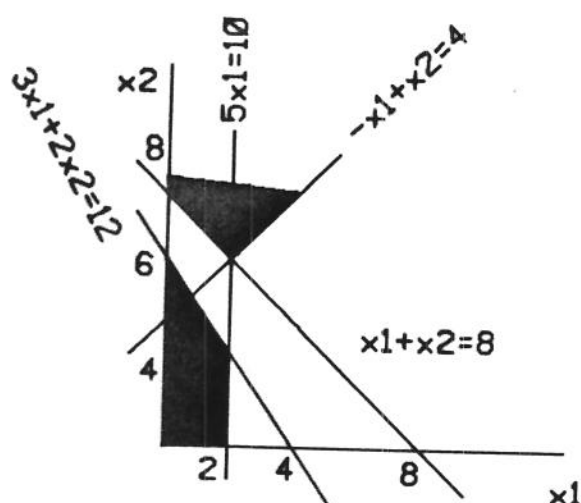


Fig. 2.1

Na Fig. 2.1 estão ilustradas graficamente as restrições do problema exemplo. As áreas hachuradas correspondem a soluções possíveis do problema, no sentido de que atendem a algum subconjunto de restrições. No entanto, estas áreas não formam uma região única, e por isto, não constituem um conjunto convexo. Deste modo, não existe uma área no gráfico correspondente a solução factível para o problema dado. Assim, o problema acima não pode ser resolvido pela Programação Linear.

Suponha-se que as duas primeiras restrições em (2.1) representem restrições rígidas do problema, por ex., recursos disponíveis como matéria-prima e capacidade de máquina, e a terceira e a quarta restrições representem metas gerenciais, por ex., produção desejada e/ou nível de estoque. A função-objetivo pode ser alterada de máxima receita para o atingimento das metas gerenciais. Como descrito anteriormente, as metas gerenciais estabelecidas nem sempre são atingidas. Assim o objetivo de um gerente pode ser modelado como o atingimento de metas tão próximo quanto possível, modificando-se a função-objetivo em (2.1) para a seguinte função satisfação:

$$\text{Min } a = |x_1 + x_2 - 8| + |-x_1 + x_2 - 4|$$

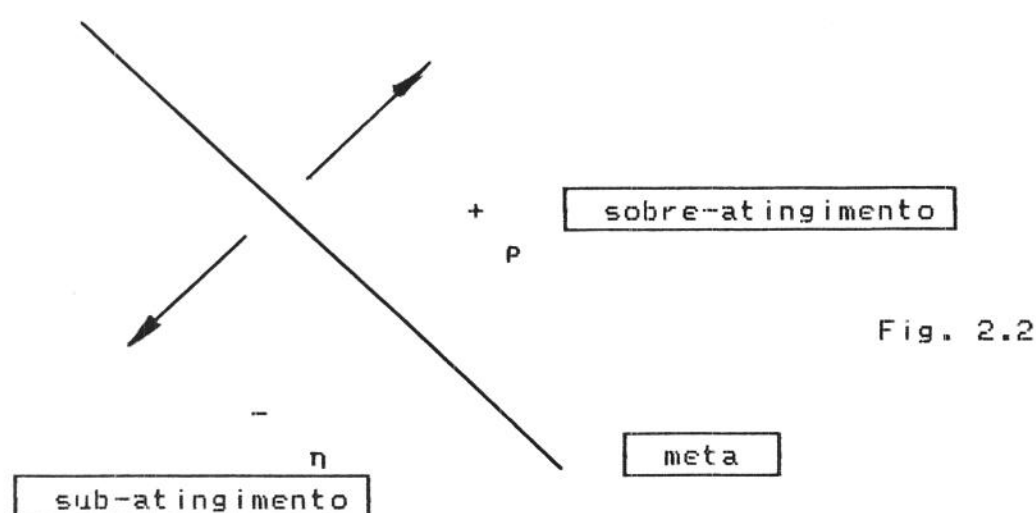
Esta é a idéia da Programação Alvo.

2.2 Conceitos Básicos da Programação Alvo Linear

A Programação por Metas, ou Programação Alvo Linear (PAL), é uma modificação e uma extensão da Programação Linear. Esta abordagem permite a resolução simultânea de um sistema de objetivos múltiplos ao invés de objetivo único.

Frequentemente múltiplas metas de um gerente estão em conflito ou são atingíveis apenas às expensas de outras metas. Além disso, estas metas são incomensuráveis. Assim, a resolução do problema requer o estabelecimento de uma hierarquia de importância entre estas metas incompatíveis de modo que metas de menor-ordem somente sejam consideradas após metas de maior-ordem terem sido satisfeitas ou atingido o ponto além do qual nenhuma melhoria adicional é conseguida.

A Programação Alvo Linear, ao invés de tentar maximizar ou minimizar uma função-objetivo diretamente como na Programação Linear, busca minimizar os desvios entre as metas e o que pode ser atingido, dentro de um conjunto de restrições.



Na Programação Linear, são as variáveis de decisão na função objetivo que tendem a direcionar os valores das variáveis de folga. Na Programação Alvo Linear a função satisfação não contém, normalmente, variáveis de decisão. Ao contrário, contém variáveis que representam os desvios a partir das restrições que compõe cada meta. A variável-desvio pode ser positiva (p) ou negativa (n). Assim, a função satisfação torna-se a minimização dessas variáveis-desvio, baseando-se na importância a elas atribuída pelo gerente. Na Programação Alvo Linear a função satisfação faz com que as variáveis-desvio direcionem os valores atribuídos às variáveis de decisão. Num problema Programação Alvo Linear com apenas uma meta gerencial envolvida, o modelo não é muito diferente do modelo de Programação Linear correspondente. A diferença maior surge quando múltiplas metas, possivelmente concorrentes e/ou conflitantes, entram no sistema.

A solução de um problema de Programação Linear está limitada pela quantificação. Ela não retratará a realidade a menos que o gerente possa quantificar precisamente o relacionamento das variáveis de decisão em números cardinais.

A diferença da Programação Alvo Linear é que ela permite uma solução ordinal. Isto é, a função satisfação dum problema de Programação Alvo Linear pode ser composta por unidades de medida não homogêneas, como ton, Cr\$, m^3 , ao invés de se converter todos os valores para uma única unidade de medida. Um gerente, responsável pela decisão, normalmente pode não ser capaz de determinar o valor de uma meta convertida a uma base única, mas é capaz de estabelecer limitantes inferiores e/ou superiores para cada uma delas.

A ordenação de metas em hierarquia de importância é mais próximo da realidade da análise de decisão. Isto porque, com ou sem Programação Alvo, um gerente associa uma certa prioridade ao atingimento de cada meta. O valor da Programação Alvo Linear está, portanto, na solução de problemas envolvendo múltiplas metas, possivelmente concorrentes e/ou conflitantes, de acordo com a estrutura de prioridade do gerente.

Vamos agora considerar a propriedade matemática da Programação Alvo Linear através de ilustrações simples. A Programação Alvo é uma técnica que é capaz de resolver problemas de decisão com uma única meta ou com múltiplas metas. Inicialmente, vamos discutir o caso com uma única meta.

a. Meta Única com Sub-Metas de Não-Negatividade

Suponha-se um problema de decisão com apenas uma única meta compreendendo o atingimento de um conjunto de restrições e de sub-metas $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ restritas apenas quanto à não-negatividade.

$$(2.2) \quad f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = f_i(x) = b_i \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$x \geq 0.$$

Utilizando-se a formulação como Programação Alvo, a equação (2.2) pode ser reescrita como a minimização de uma única função satisfação $a = g(\eta, p)$, expressa apenas em termos das variáveis η e p , respectivamente, desvios negativo e positivo a partir das restrições que compõe a meta gerencial, como a seguir:

$$(2.3) \quad \left[\begin{array}{ll} \text{Min } a = g(\eta, p) \\ \text{s.a. } f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i & (i = 1, \dots, m) \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

onde, $f_i(x) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n$, e
 $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$ são números reais.

Se existir uma solução factível para (2.3), a função satisfação a irá direccionar os valores de η e p para zero. Quando η e p são minimizados a zero, o valor b será atingido nas restrições que compõe a meta. Se η toma um valor não-nulo, p será zero, e vice-versa. Como pelo menos uma destas variáveis será zero, sempre $\eta \cdot p = 0$.

b. Meta Única com Sub-Metas Canalizadas

Suponha-se um problema de decisão com apenas uma única meta compreendendo o atingimento de um conjunto de restrições e de sub-metas $x = x_1, x_2, \dots, x_n$, canalizadas por limitantes inferiores e/ou superiores.

A única restrição de sub-meta em (2.3) foi de não negatividade das variáveis de decisão, i.e., $x \geq 0$. Entretanto, no ambiente real, existem restrições adicionais nas sub-metas, que correspondem às variáveis canalizadas em Programação Linear. Seja $l = (-\alpha_1, -\alpha_2, \dots, -\alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ um vetor coluna, e α_j e β_j os limites inferiores e superiores para cada $x_j \in x$. Então, estas restrições de canalização de sub-metas podem ser expressas por:

$$(2.4) \quad H(x) \leq 1$$

onde, $H(x)$ é uma matriz de dimensões máximas $(2n, 2n)$ e 1 é um vetor de dimensão máxima $(2n)$.

Assim, o modelo de Programação Alvo pode ser escrito:

$$(2.5) \quad \left[\begin{array}{l} \text{Min } a = g(\eta, p) \\ \text{s.a. } f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ H(x) \leq 1 \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

Na implementação da Programação Alvo que fizemos para o modelo da Refinaria Gabriel Passos (REGAP), da Petrobrás, localizada em Betim-MG, foram acrescentadas variáveis-desvio para todas as variáveis canalizadas do modelo. Estas variáveis-desvio constituem a meta inicial do algoritmo PALS : Programação Alvo Linear Sequencial, conforme descrito no Apêndice A, para se determinar uma possível infactibilidade motivada pela violação de alguma canalização.

c. Múltiplas Metas c/ Sub-Metas de Não-Negatividade

Suponha-se um problema de decisão com k metas compreendendo o atingimento de um conjunto de restrições e de sub-metas $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ limitadas apenas quanto à não-negatividade. Suponha-se que estas múltiplas metas sejam incompatíveis e incomensuráveis, no sentido de que não podem ser adequadamente expressas em uma unidade de medida homogênea. Então, a equação correspondente a (2.2) pode ser escrita:

$$(2.6) \quad f_i(x) = b_i \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$x \geq 0.$$

Supondo que exista uma solução factível para (2.6), o modelo de Programação Alvo para k metas, correspondente à equação (2.3) fica:

$$(2.7) \quad \left[\begin{array}{l} \text{Min } a = g(\eta, p) = [g_1(\eta, p), g_2(\eta, p), \dots, g_k(\eta, p)] \\ \text{s.a.} \quad f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

onde, $f_i(x) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n$, e
 $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$, são números reais.

$\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m)$, vetor dos desvios negativos a partir das metas.

$p = (p_1, p_2, \dots, p_m)$, vetor dos desvios positivos a partir das metas.

$b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ vetor de recursos, contendo inclusive valores dos recursos nas restrições que compõem as metas.

d. Múltiplas Metas com Sub-Metas Canalizadas

Basta introduzir restrições canalização de sub-metas, i.e., incorporar restrições (2.4) ao modelo de Programação Alvo para múltiplas metas (2.7) acima. Fica:

$$(2.8) \quad \left[\begin{array}{l} \text{Min } a = g(\eta, p) = [g_1(\eta, p), g_2(\eta, p), \dots, g_k(\eta, p)] \\ \text{s.a.} \quad f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ H(x) \leq 1 \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

onde, $f_i(x) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n$, e
 $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$ são números reais.
 $\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m)$, vetor dos desvios negativos a partir das metas.
 $p = (p_1, p_2, \dots, p_m)$, vetor dos desvios positivos a partir das metas.
 $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, vetor de recursos, contendo inclusive valores dos recursos nas restrições que compõem as metas.
 $1 = (-\alpha_1, -\alpha_2, \dots, -\alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ um vetor coluna, e α_i e β_i os limites inferiores e superiores.

e. A Função Satisfação na Programação Alvo Linear

Seja o modelo da equação (2.3),

$$(2.3) \quad \left[\begin{array}{l} \text{Min } a = g(\eta, p) \\ \text{s.a.} \quad f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

A função satisfação $\text{Min } a = g(\eta, p)$, é uma função de minimização de desvios negativos e positivos (η e p) a partir das restrições que compõem a meta, com pesos atribuídos a eles. Pode ocorrer grande número de variações na formulação de uma função satisfação. Vamos analisar, a seguir, três delas:

.. Minimização de (p)

No caso de se desejar obter soluções para x onde $f(x) \leq b$, a função satisfação deve minimizar os desvios positivos. Se o modelo não pode minimizar p a zero, então o conjunto solução consiste de x que minimize $(f(x) - b)$ até onde possível. Nesse caso, temos um sobre-atingimento da meta desejada.

.. Minimização de (η)

No caso de se desejar obter soluções para x onde $f(x) \geq b$, a função satisfação deve minimizar os desvios negativos. Se o modelo não pode minimizar η a zero, então o conjunto solução consiste de x tal que minimize $(b - f(x))$ na maior extensão possível. Nesse caso, temos um sub-atingimento da meta desejada.

.. Minimização de ($\eta + p$)

No caso de se desejar obter soluções para x onde $f(x) = b$, a função satisfação deve minimizar ambos os desvios, positivo e negativo. A minimização de ambos desvios, negativo (η) e positivo (p), tenderá a fazer com que o modelo atinja a meta $f(x) = b$ exatamente. Em resumo, tem-se o quadro a seguir:

TIPO DE META	FORMA DA PAL	A MINIMIZAR
$f_i(x) \leq b_i$	$f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i$	p_i
$f_i(x) \geq b_i$	$f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i$	η_i
$f_i(x) = b_i$	$f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i$	$\eta_i + p_i$

CAPÍTULO 3

Introdução: Neste Capítulo apresentamos o modelamento e o equacionamento do modelo de Programação Linear base, ao qual fizemos a implementação da Programação Alvo. Ao leitor não familiarizado com a área de petróleo, química orgânica e/ou processos de refino, ou que deseje recapitular estas matérias, sugerimos as referências [25] e [26] do Capítulo 8. Iniciamos o capítulo apresentando, na Figura 3.1, um fluxograma de processo da refinaria. A lei de formação utilizada para criar nome de equações e de variáveis está descrita no item 3.2. Em 3.3, descrevemos as operações que foram consideradas no modelo. Em 3.4, descrevemos o modelamento e o equacionamento. E, finalmente, em 3.5 apresentamos a listagem das variáveis do modelo.

3.1

FLUXOGRAMA DA REGAP PARA O MODELO DE REFINO

Apresentamos na Figura 3.1, a seguir, o fluxograma de processo da refinaria. Fazemos a ressalva que este fluxograma foi elaborado com o propósito de se subsidiar o modelamento matemático, contendo, portanto, simplificações. Para melhor entendimento dos fluxos, recomendamos a leitura do dicionário de dados, item 3.2, e a listagem das variáveis do modelo, item 3.5 deste capítulo.

3.2 DICIONÁRIO DE DADOS

3.2.1 - Equações

Todas as equações do modelo tem 8 (oito) dígitos, e apresentam, basicamente, a seguinte forma:

x	x	x	p	p	o	o	n
---	---	---	---	---	---	---	---

coluna → 1 2 3 4 5 6 7 8

onde,

- . os primeiros três caracteres representam a função desempenhada pela equação.
- . o último caracter é um número que indica o período a que a equação se refere.
- . os caracteres intermediários são utilizados para especificações adicionais, por ex., a unidade de processo (un), o tipo de petróleo (oo), o tipo de derivado (pp). Caso o número de caracteres em uma equação não constituam oito dígitos, completa-se o número de dígitos faltantes com pontos (.).

3.2.2 - Variáveis

Todas as variáveis do modelo tem 8 (oito) dígitos, e apresentam, basicamente, a seguinte forma:

t	u	n	p	p	o	o	n
---	---	---	---	---	---	---	---

coluna → 1 2 3 4 5 6 7 8

onde,

- . o primeiro dígito é constituído por uma letra maiúscula representando a função desempenhada pela variável.
 - . o último caracter é um número que indica o período a que a variável se refere.
 - . os caracteres intermediários são utilizados para especificações adicionais, por ex., unidade de processo (un), tipo de petróleo (oo), tipo de derivado (pp).
- Caso o número de caracteres em uma variável não constituam oito dígitos, completa-se o número de dígitos faltantes com pontos (.).

a. - Coluna 1 - (t): Função das Variáveis

B - Produção básica das unidades
C - Carga das unidades
D - Degradações
E - Estoques
I - Importação
M - Mercado
P - Produção
R - Recebimento de petróleo
X - Exportação de derivados

b. - Colunas 2/3 - (un): Unidades

01 - U-001 Atmosférica
11 - U-101 Atmosférica
02 - U-002 Vácuo
12 - U-102 Vácuo
03 - U-003 FCC
13 - U-103 FCC
DA - Atmosférica (U-001+U-101)
DV - Vácuo (U-002+U-102)
H1 - U-106 Hidrodessulfurização (QJ)
H2 - U-108 Hidrodessulfurização (DS)
H3 - U-110 Hidrodessulfurização (DS)
HD - Hidrodessulfurização (U-108+U-110)
O1 - Oleoduto de claros
O2 - Oleoduto de petróleos

c. - Colunas 4/5 - (pp): Produtos

A1	-	Asfalto Diluído tipo CM30	
A3	-	" " " " CR3000	
AG	-	Aguarrás	
CA	-	Cimento Asfáltico 85/100	
CL	-	(=DL), Óleo Clarificado	
CP	-	Consumo Próprio	
DC	-	(=LCD), Diesel Craqueado	
DI	-	Diesel Intermediário	
DL	-	Diluyente para OC ATE	
DS	-	Diesel	
EX	-	Enxofre	
GA	-	Gasolina Local	
GX	-	Gasolina Exportação	
GL	-	Gasóleo Leve	
GP	-	Gasóleo Pesado	
LP	-	GLP	
NC	-	Nafta Craqueada	
NL	-	Nafta Leve (Destilação Direta)	
NP	-	Nafta Pesada	
NQ	-	Nafta Petroquímica	
Q1	-	Fração do Querosene (QS) diluyente para OC	
Q2	-	" " " " " " A1	
Q3	-	" " " " " " A3	
QI	-	Querosene Comum	
QJ	-	Querosene Jato (QAV-1)	
RR	-	Resíduo Aromático	
RA	-	Resíduo Atmosférico	
RV	-	Resíduo de Vácuo	
AE	-	Óleo Combustível ATE	
BE	-	Óleo Combustível BTE	
Fn	-	Óleo Combustível ATE tipo Fn (n=1,2,...)	
Hn	-	Óleo Combustível BTE tipo Hn (n=1,2,...)	

d. - Colunas 6/7 - (oo): Petróleos

BB	-	Brazilian Blend
BF	-	BCF - 24
BJ	-	Badejo
CN	-	Cabiúnas
CB	-	Cabinda
EN	-	Enchova
EP	-	Espírito Santo
FO	-	Forcado
GR	-	Garoupa/Corvina
IL	-	Iraniano Leve
IP	-	Iraniano Pesado
IS	-	Isthmus
KK	-	Kirkuk
KW	-	Kuwait
LD	-	Linguado
MA	-	Maya
MJ	-	Mandji
NL	-	Bonny Leve
QM	-	Qatar Marine
SB	-	Saharan Blend
SL	-	Shengli

Para cada petróleo oo deve ser indicado com o dígito "i" na coluna correspondente a cada uma das operações possíveis p (p = A,B,F ou C), na Tabela B16 - PETROL. *

As operações podem ser quatro: A,B,C e F.

- a) ATE: (p=A): Na operação ATE (p=A), são produzidos os óleos combustíveis de alto teor de enxofre (ATE).

Nesta operação ocorre o seguinte:

- . todo resíduo atmosférico (RA) é utilizado para carga na unidade de destilação a vácuo (DV).
- . todo gasóleo pesado (GP) é utilizado para carga nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).
- . o resíduo de vácuo (RV) é utilizado para fazer óleos combustíveis de alto teor de enxofre (ATE) e/ou utilizado para consumo próprio (CP).

- b) BTE: (p=B): Na operação BTE (p=B), são produzidos os óleos combustíveis de baixo teor de enxofre (BTE).

Nesta operação ocorre o seguinte:

- . todo resíduo atmosférico (RA) é utilizado para carga na unidade de destilação a vácuo (DV).
- . todo gasóleo pesado (GP) é utilizado para carga nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).
- . o resíduo de vácuo (RV) é utilizado para fazer óleos combustíveis de baixo teor de enxofre (BTE) e/ou utilizado para consumo próprio (CP).

(*) Nota: As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.

- c) CAP: (p=C): Na operação CAP (p=C), todo o resíduo de vácuo (RV) é utilizado para se produzir o cimento asfáltico (CA) e os asfaltos diluídos (A1 e A3).

Nesta operação ocorre o seguinte:

- . todo resíduo atmosférico (RA) é utilizado para carga na unidade de destilação a vácuo (DV).
- . todo gasóleo pesado (GP) é utilizado para carga nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).
- . o resíduo de vácuo (RV) é utilizado para se fazer o cimento asfáltico (CA) e os asfaltos diluídos (A1 e A3) e/ou utilizado para consumo próprio (CP).

- c) FCC: (p=F): Na operação FCC (p=F), todo o resíduo de vácuo (RV) produzido é craqueado nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).

Nesta operação ocorre o seguinte:

- . o resíduo atmosférico (RA) é utilizado para carga na unidade de destilação a vácuo (DV) e/ou utilizado como carga nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).
- . todo gasóleo pesado (GP) é utilizado para carga nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).
- . todo resíduo de vácuo (RV) é utilizado para carga nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).

a)

OPERAÇÃO "ATE" (p="A")

- todo RA para unidades DV
- todo GP para unidades FCC
- RV para óleos combs. ATE e/ou CP

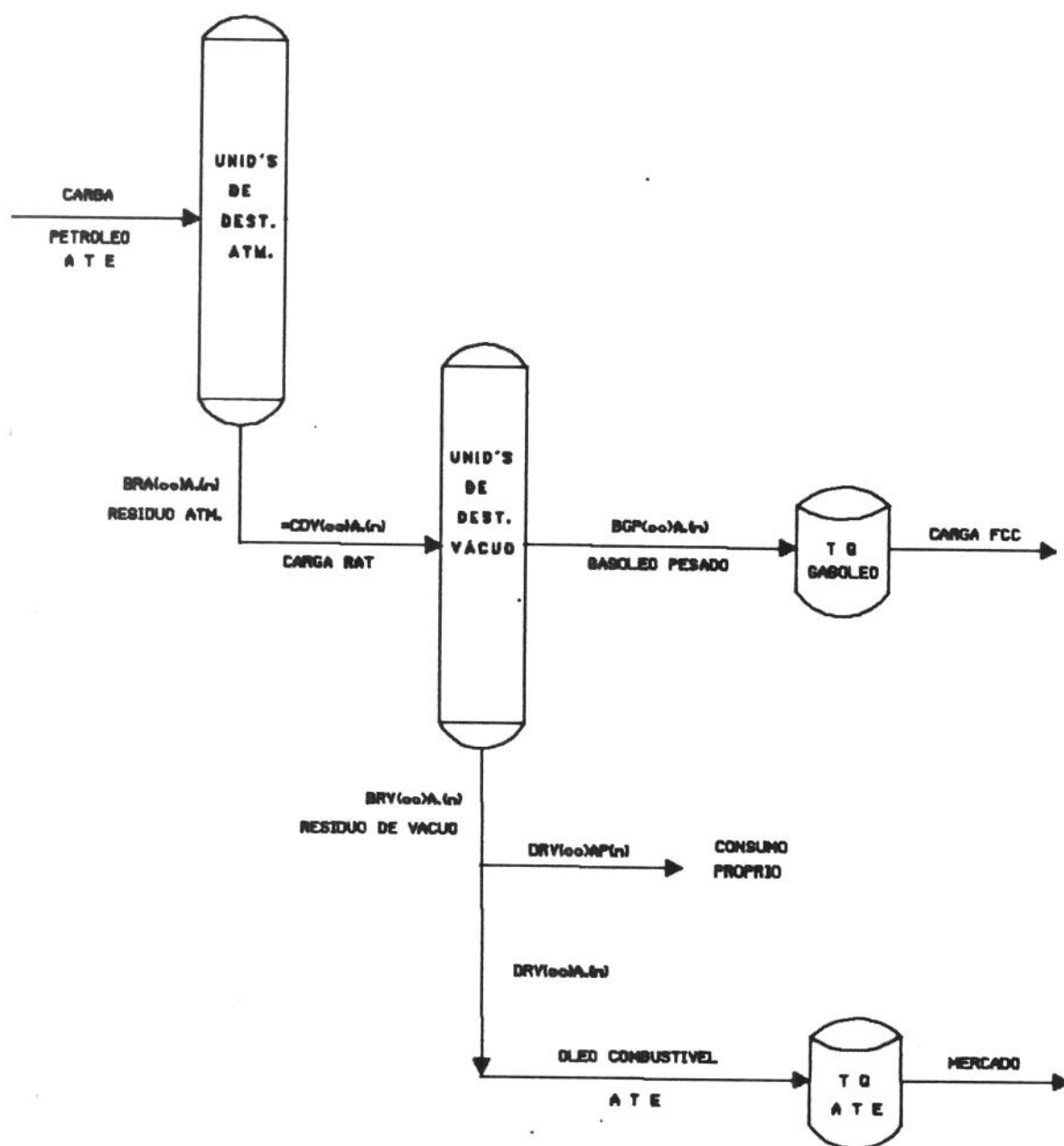


Figura 3.2

b)

OPERAÇÃO "BTE" (p="B")

- . todo RA para unidades DV
- . todo GP para unidades FCC
- . RV para óleos combs. BTE e/ou CP

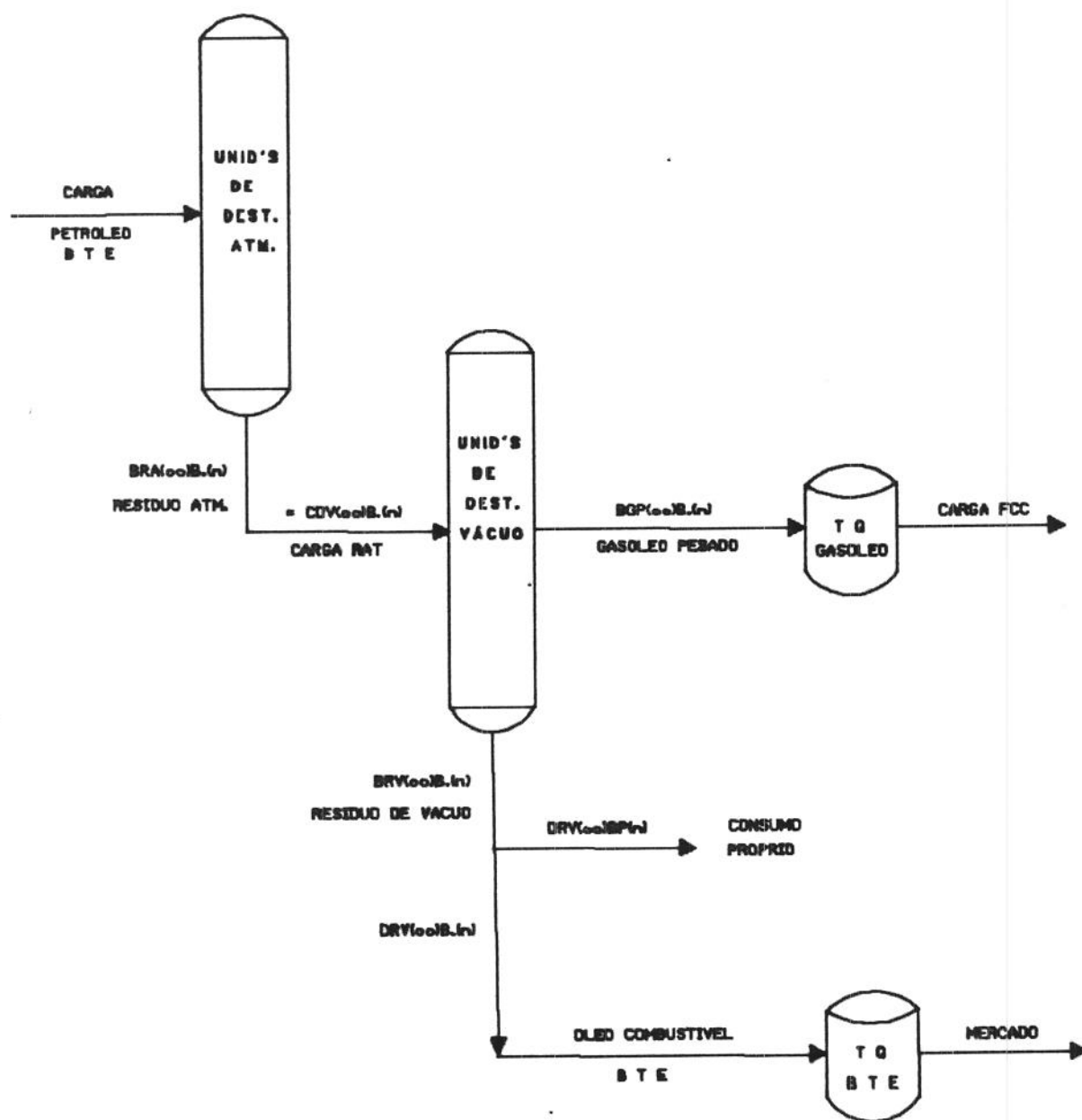


Figura 3.3

c)

OPERAÇÃO "CAP" (p="C")

- . todo RA para unidades DV
- . todo GP para unidades FCC
- . RV para óleos combs. CAP e/ou CP

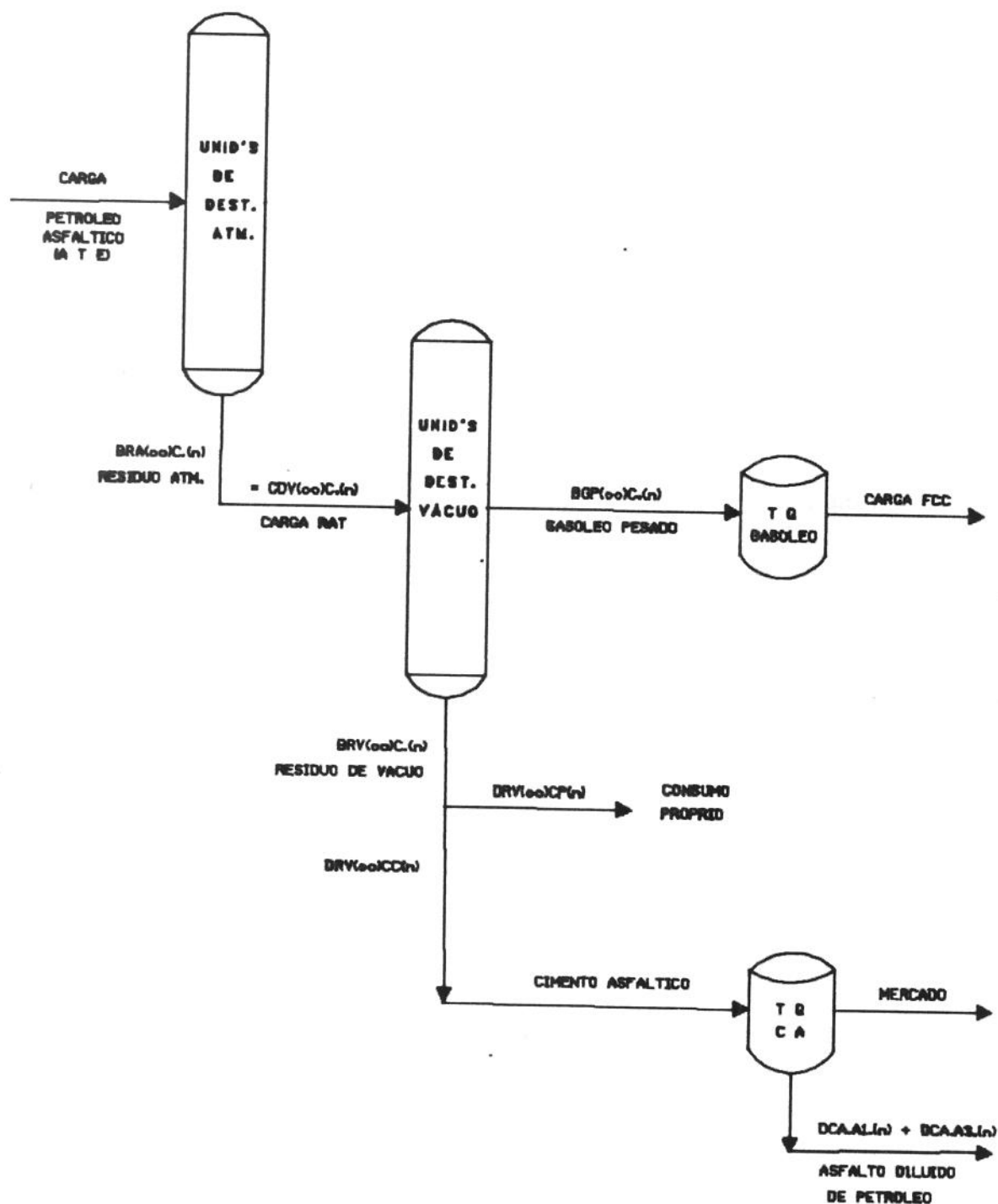


Figura 3.4

d)

OPERAÇÃO "FCC" (p="F")

- . RA para unidades DV e/ou FCC
- . todo GP para unidades FCC
- . todo RV para unidades FCC

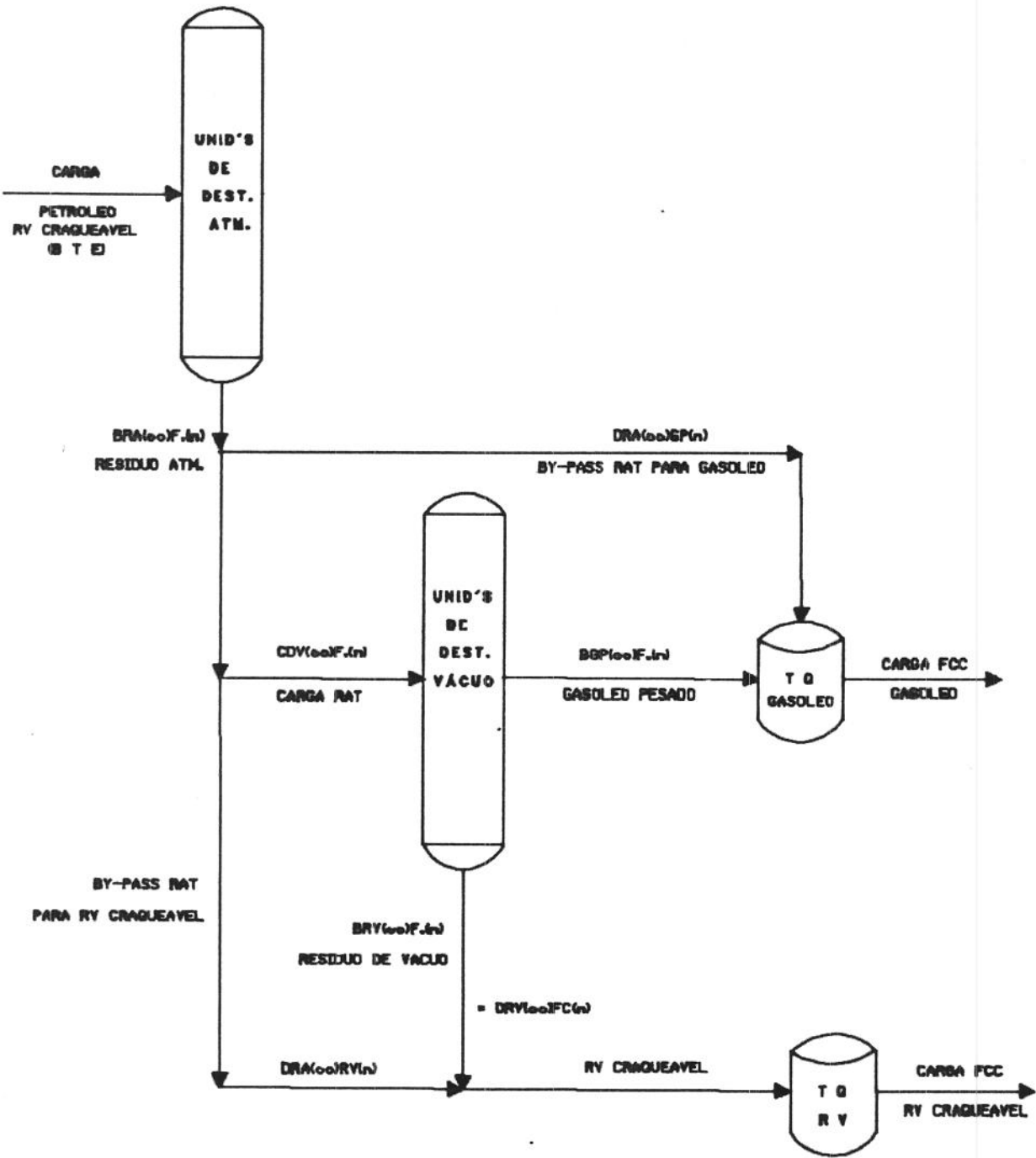


Figura 3.5

3.4 MODELAMENTO E EQUACIONAMENTO

3.4.1 SUPRIMENTO DE PETRÓLEOS

a. MODELAMENTO

DESCRIÇÃO: são ofertados petróleos de diferentes qualidades em cada período, por ex. petróleo de alto teor de enxofre (ATE) ou de baixo teor de enxofre (BTE), petróleo com o resíduo de vácuo (RV) craqueável, petróleo (ATE) próprio para a produção de asfalto, etc., onde o problema consiste em se encontrar a mistura ótima dos petróleos a serem processados para se atender a demandas conhecidas, respeitadas as capacidades das unidades de processamento.

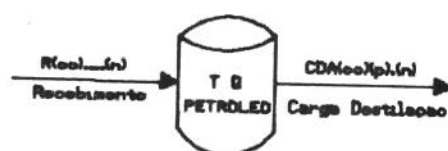


Figura 3.6

LIMITANTES: os limitantes máximos para as variáveis de recebimento de cada petróleo oo são as quantidades máximas ofertadas em cada período. Os petróleos ofertados são nacionais de produção da Petrobrás e/ou estrangeiros vinculados a contratos de compra de longo prazo.

$\text{recebimento}(oo) \leq \text{quantidade ofertada}(oo)$
--

b.

EQUACIONAMENTO

. $BL..(oo).(n)$ - Balanco de estoque de petróleo oo, no parque de tancagem da REGAP, no período n.

$$R(oo)....(n) + E(oo)....(n-1) - E(oo)....(n)$$

$$- \sum (p) CDA(oo)(p).(n) = 0$$

$$. p = A, B, F, C *$$

As eq's de balanço de petróleo oo são do tipo:

$\text{recebimento} + \text{estoque inicial} = \text{carga} + \text{estoque final}$

. $EST....(n)$ - Soma total do estoque de petróleos, no período n.

$$\sum (oo) E(oo)....(n) - E.....(n) = 0.$$

. $RECEB..(n)$ - Soma do recebimento total de petróleos, no período n.

$$\sum (oo) R(oo)....(n) - R.....(n) = 0.$$

(*) Nota: As operações estão descritas no item 3.3.

. OLEOD1.(n) - Utilização do oleoduto de petróleo (OL2), no período n.

$$R.....(n) \leq \text{vazão máx (OL2)} * \text{dias operação(OL2,n)}$$

- . vazão máx e dias de operação são dados na Tabela B6 - DIOPE. *
- . vazão máx (OL2) em mil m³/dia.

. OLEOD2.(n) - Utilização do oleoduto de claros (OL1), no período n.

$$\sum (yy) X(yy).....(n) \leq \text{vazão máx (OL1)} * \text{dias operação (OL1,n)}$$

- . vazão máx e dias operação são dados na Tabela B6 - DIOPE.
- . vazão máx (OL1) em mil m³/dia
- . yy é dado na TABELA B15 - IXMAX, e corresponde aos produtos que utilizam o oleoduto de claros (OL1).

(*) Nota: As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.

3.4.2 DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA

a. MODELAMENTO

DESCRIÇÃO: as duas unidades de destilação atmosférica da REGAP (U-001 + U-101) são idênticas e, portanto, são consideradas como uma única "caixa-preta" onde a entrada é a carga de petróleo cru e as saídas são as produções básicas. A carga de petróleo é segregada para cada petróleo oo , em cada operação p , em cada período n . As produções básicas na destilação atmosférica (DA) são o GLP (LP), a nafta leve (NL), a nafta pesada (NP), o diesel de destilação direta (DS) = diesel leve + pesado (BTE) + diesel leve (ATE), o diesel pesado (ATE) e o resíduo atmosférico (RA).

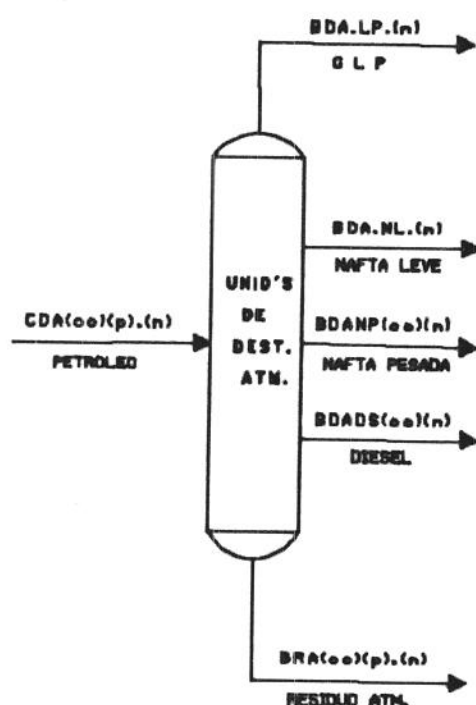


Figura 3.7

LIMITANTES: os limitantes considerados são as cargas mínima e máxima, em cada período.

Carga *	n. dias	≤	CDA....(n)	≤	Carga *	n. dias
min	operação				max	operação
(diária)					(diária)	

b. EQUACIONAMENTO

b.1. CARGA NAS UNIDADES

A carga nas unidades de destilação atmosférica em cada período é constituída pela mistura de petróleos de diferentes qualidades, agrupados em quatro diferentes operações ($p=A, B, C$ e F), * que correspondem às operações ATE, BTE, FCC e CAP. Na operação ATE, busca-se a produção de óleos combustíveis de alto teor de enxofre (ATE). Na operação BTE, busca-se a produção de óleos combustíveis de baixo teor de enxofre (BTE). Na operação FCC, deseja-se craquear o resíduo de vácuo (RV), quando craqueável, na unidade de craqueamento catalítico fluido. Na operação CAP, busca-se a produção de cimento asfáltico de petróleo (CA), geralmente a partir de um petróleo de alto teor de enxofre (ATE).

. $C.DA... (n)$ - Soma da carga nas unidades de destilação atmosférica DA, no período n.

$$\sum (oo)(p) \quad CDA(oo)(p).(n) - CDA....(n) = 0.$$

- . oo é dado na Tabela B16 - PETROL. **
- . $p=A, B, F, C$

. $OBR.(oo).(n)$ - Obrigatoriedade de processar o petróleo oo existente em estoque na REGAP no início de cada um dos períodos n.

$$\sum (p) \quad CDA(oo)(p).(n) - E(oo)....(n-1) = 0.$$

- . $p=A, B, F, C$

(*) Os tipos de operações estão descritas no item 3.3.

(**) As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.

As produções básicas nas unidades de destilação atmosférica são: GLP (LP), nafta leve (NL), nafta pesada (NP), diesel de destilação direta (DS) = diesel leve BTE + diesel pesado BTE + diesel leve ATE, diesel pesado ATE (DP) e o resíduo atmosférico (RA). As produções básicas de GLP (LP) e de nafta leve (NL), que não necessitam da rastreabilidade do tipo de petróleo do que lhes deu origem, são representadas por uma variável simples.

A produção básica de nafta pesada (NP), do diesel de destilação direta (DS) = diesel leve BTE + diesel pesado BTE + diesel leve ATE, diesel pesado ATE (DP) e resíduo atmosférico (RA) são variáveis compostas que têm a rastreabilidade do tipo de petróleo do que lhes deu origem. O resíduo atmosférico (RA) tem, além disso, a rastreabilidade do tipo de operação p.

Uma carga de petróleo de baixo teor de enxofre (EX) no DS ($\leq 1\%$ em peso) dá origem a uma única corrente de produção básica de diesel DS (BDADS(oo)(n)). Uma carga de petróleo de alto teor de enxofre (EX) no diesel DS ($> 1\%$ em peso) dá origem a duas correntes de produção básica de diesel na proporção .85 para .15 correspondentes, respectivamente, ao diesel leve (ATE) e diesel pesado DP (ATE).

O diesel leve (ATE) é somado à corrente BDADS(oo)(n), enquanto que o diesel pesado DP (ATE) é segregado como BDADP(oo)(n). A corrente BDADS(oo)(n), constituída pelo diesel leve BTE + diesel pesado BTE + diesel leve ATE, é adicionado ao diesel final (DS) sem necessitar de tratamento na unidade de hidrodessulfurização HDS. A corrente BDADP(oo)(n), constituída pelo diesel pesado DP(ATE), pode ou não ser tratada na unidade de hidrodessulfurização (HDS), antes de ser misturada ao diesel final (DS), para se promover a retirada do enxofre (EX), em função da qualidade necessária no balanço de enxofre (EX) no diesel final (DS).

- . BSDA(pp).(n) - Produção básica do derivado pp (pp=LP, NL), nas unidades de destilação atmosférica (DA), no período n.

$$\sum (oo) \text{ rend}(pp, oo) * \sum (p) \text{ CDA}(oo)(p).(n) -$$

$$\text{BDA.}(pp).(n) = 0$$

- . rend(pp, oo) é dado na Tabela B17 - REND1. *
- . p=A,B,F,C **

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (pp)} = \text{rendimento (pp)} * \text{carga (oo)}$
--

- . BS.NP(oo)(n) - Produção básica do derivado nafta pesada (NP), a partir do petróleo oo, nas unidades de destilação atmosférica (DA), no período n.

$$\text{rend}(NP, oo) * \sum (p) \text{ CDA}(oo)(p).(n) -$$

$$\text{BDANP}(oo)(n) = 0$$

- . rend(NP, oo) é dado na Tabela B17 - REND1.
- . p=A,B,F,C

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (NP)} = \text{rendimento (NP)} * \text{carga (oo)}$
--

- (*) As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.
- (**) As operações estão descritas no item 3.3.

- . BS.DS(oo)(n) - Produção básica do derivado diesel (DS) = diesel leve BTE + diesel pesado BTE + diesel leve ATE, a partir do petróleo oo, nas unidades de destilação atmosférica (DA), no período n.

$$\begin{aligned} \text{rend}(\text{DS}, \text{oo}^1) * \sum (p) \text{CDA}(\text{oo}^1)(p).(n) &+ \\ .85 * \text{rend}(\text{DS}, \text{oo}^2) * \sum (p) \text{CDA}(\text{oo}^2)(p).(n) &- \\ \text{BDADS}(\text{oo}^{1+2})(n) &= 0 \end{aligned}$$

- . rend(DS,oo) é dado na Tabela B17 - REND1.
- . p=A,B,F,C
- . oo¹ representa o petróleo BTE, e dá origem ao diesel leve BTE + diesel pesado BTE.
- . oo² representa o petróleo ATE, e dá origem ao diesel leve ATE = .85 do diesel total ATE.

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (DS)} = \text{rendimento (DS)} * \text{carga (oo)}$
--

- . BS.DP(oo)(n) - Produção básica do derivado diesel pesado ATE (DP), a partir do petróleo oo (ATE), nas unidades de destilação atmosférica (DA), no período n.

$$\begin{aligned} .15 * \text{rend}(\text{DS}, \text{oo}) * \sum (p) \text{CDA}(\text{oo})(p).(n) &- \\ \text{BDADP}(\text{oo})(n) &= 0 \end{aligned}$$

- . rend(DS,oo) é dado na Tabela B17 - REND1.
- . p=A,F,C

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (DP)} = .15 * \text{rend. (DS)} * \text{carga (oo)}$

- . $BSRA(oo)(p)(n)$ Produção básica de resíduo atmosférico (RA), a partir do petróleo oo, na operação p, nas unidades de destilação atmosférica (DA), no período n.

$$rend(RA, oo) * CDA(oo)(p).(n) - BRA(oo)(p).(n) = 0$$

- . $rend(RA, oo)$ é dado na Tabela B17 - REND1.
- . $p=A, B, F, C$

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (RA)} = \text{rendimento (RA)} * \text{carga (oo)}$
--

3.4.3

DESTILAÇÃO À VÁCUO

a.

MODELAMENTO

DESCRIÇÃO: as duas unidades de destilação a vácuo da REGAP (U-002 e U-102) são idênticas e consideradas como uma única "caixa-preta" onde as entradas são as cargas de resíduo atmosférico (RA) e as saídas são as produções básicas. A carga de resíduo atmosférico (RA) está segregada para cada tipo de petróleo oo, em cada operação p, em cada período n. As operações possíveis na unidade de destilação a vácuo (DV) são as mesmas da destilação atmosférica (DA), A,B,C e F. * As produções básicas na destilação a vácuo (DV) são o gasóleo leve de vácuo (GL), o gasóleo pesado (GP) e o resíduo de vácuo (RV).

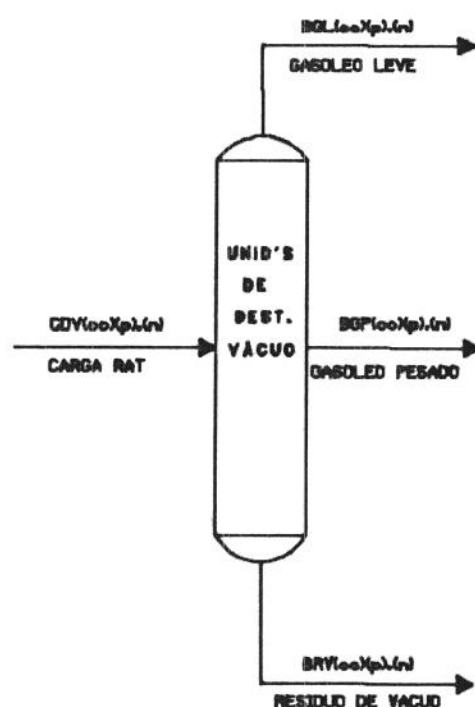


Figura 3.8

LIMITANTES: os limitantes considerados são as cargas mínima e máxima, em cada período.

$\begin{array}{ccc} \text{Carga} * \text{n. dias} & \leq & \text{CDA} \dots (n) \leq \text{Carga} * \text{n. dias} \\ \text{min} & & \text{max} \\ \text{(diária)} & & \text{(diária)} \end{array}$

(*) As operações estão descritas no item 3.3.

b. EQUACIONAMENTO

b.1. CARGA NAS UNIDADES

A carga nas unidades de destilação a vácuo (DV) em cada período é o resíduo atmosférico (RA) obtido na destilação atmosférica (DA) a partir de cada petróleo oo, em cada uma das campanhas p ($p=A, B, C$ e F).

- . $C.DV... (n)$ - Soma da carga de resíduo atmosférico (RA) nas unidades de destilação a vácuo DV, no período n.

$$\sum (oo)(p) \quad CDV(oo)(p).(n) - CDV....(n) = 0.$$

- . oo é dado na Tabela B16 - PETROL. *
- . $p = A, B, F, C$

- . $BLRA(oo)(p)(n)$ Balanco de resíduo atmosférico (RA), a partir do petróleo oo, na operação p ($p=A, B, C$), no período n.

$$BRA(oo)(p).(n) - CDV(oo)(p).(n) = 0.$$

A equação de balanço de RA nas operações $p=A, B, C$ é do tipo:

$\text{produção básica (RA)} = \text{carga na unid. vácuo (RA)}$
--

(*) As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.

. $BLRA(oo)F(n) -$

$BRA(oo)F.(n)$

. $DRA(o$
férico

A equação de

produção bás

tu atmosférico (RA), a partir do
operação FCC ($p=F$), no período n.

$(n) - DRA(oo)F.(n) = 0$

onde ao "by-pass" de resíduo atmos-
férico de vácuo para carga na UFCC.

na operação $p=F$ é do tipo:

carga na unidade de vácuo (RA)
"bypass" na vácuo (RA)

b.2.

PRODUÇÕES BÁSICAS NAS UNIDADES

As produções básicas na destilação a vácuo (DV) são gasóleo leve de vácuo (GL) , gasóleo pesado (GP) e residuo de vácuo (RV). A estas produções básicas correspondem variáveis compostas que tem a rastreabilidade do petróleo oo que lhes deu origem, bem como em que tipo de operação p.

. BS(pp)(oo)(p)(n) Produção básica do derivado pp (pp=GL,GP,RV), a partir do petróleo oo, na operação p, nas unidades de destilação a vácuo (DV), no período n.

$$1. / \text{rend}(\text{RA}, \text{oo}) * \text{rend}(\text{pp}, \text{oo}) * \text{CDV}(\text{oo})(\text{p}).(\text{n}) - \\ - \text{B}(\text{pp})(\text{oo})(\text{p}).(\text{n}) = 0$$

- . pp = GL,GP,RV
- . rend(pp,oo) é dado na Tabela B17 - REND1. *
- . p=A,B,F,C **

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (pp)} = \text{rendimento (pp)} * \text{carga (RA)}$
--

- (*) As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.
- (**) As operações estão descritas no item 3.3.

3.4.4

CRAQUEAMENTO CATALÍTICO

a.

MODELAMENTO

DESCRIÇÃO: as duas unidades de craqueamento catalítico da REGAP (U-003 e U-103) estão modeladas em separado devido a terem projetos diferentes, e em consequência, rendimentos e capacidades diferentes. Cada unidade é considerada uma "caixa-preta" onde as entradas são as cargas de gasóleo pesado (GP) + resíduo de vácuo (RV) produzidos nas unidades de destilação a vácuo (DV), misturadas em diversas proporções, e as saídas são as produções básicas. As operações são: ATE, BTE, CAP e FCC (p=A,B,C e F). As produções básicas no craqueamento catalítico são o GLP craqueado (LP), a nafta craqueada (NC), o diesel craqueado (DC), o óleo leve de reciclo (CL), o enxofre (EX), o coque (CQ) e o gás combustível (GC). O coque e o gás combustível são consumidos na própria refinaria no consumo próprio (CP). O gasóleo pesado (GP) e o resíduo de vácuo (RV) formam o gás ácido na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC, a partir do qual se obtém enxofre (EX), após tratamento na Unidade de Recuperação de Enxofre (URE).

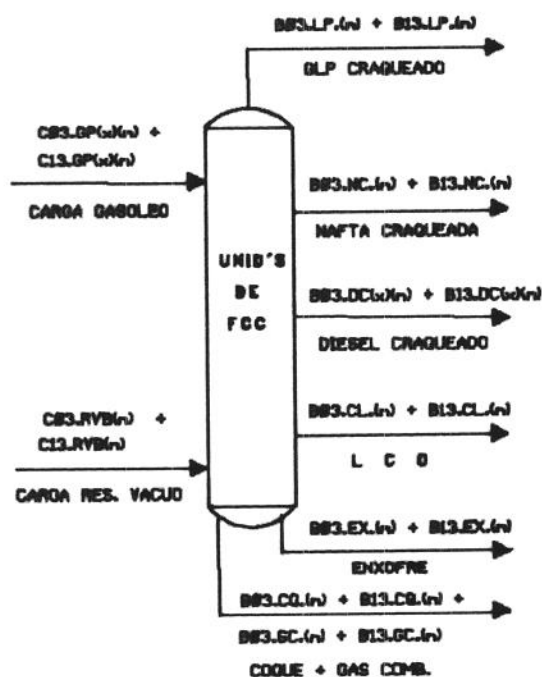


Figura 3.9

LIMITANTES: a capacidade das unidades varia com o percentual de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga total, assim os limitantes são fixados em termos de número de dias de operação em cada nível de injeção de resíduo de vácuo na carga.

$\text{Carga} * \text{n.dias} \leq C(\text{un}) \dots (n) * \text{n.dias de}$ min operação (diária)	$\leq \text{Carga} * \text{n.dias}$ max operação (diária)
---	---

b. EQUACIONAMENTO

b.1. CARGAS NAS UNIDADES DE FCC

Nas UFCC's (U03/U13) as cargas são o gasóleo pesado (GP) e o resíduo de vácuo (RV) de alguns petróleos, quando craqueáveis, misturados à carga de gasóleo pesado em diferentes percentuais. Nesse caso, tem-se um rendimento variável em produtos básicos e uma redução na capacidade das unidades de craqueamento catalítico em função da elevação do percentual de injeção de resíduo de vácuo na carga.

. $Ci(\text{un}) \dots (n)$ - Soma da carga na unidade de craqueamento catalítico fluido un ($\text{un}=03,13$), no período n.

$$Ci(\text{un}) \dots (n) - \sum (nn)(x) C(\text{un})(nn)(x).(n) = 0.$$

. $nn=0,5,10,15,20,15\%$

. $x=A,B$ *

(*) x : qualidade da carga na FCC (A)TE ou (B)TE.

- . $C2(un)(nn)A(n)$ Soma da carga de alto teor de enxofre ATE ($x=A$), só gasóleo pesado (GP), no nível nn% de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga da unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un=03,13$), no período n.

$$C(un)GA(nn)(n) - C(un)(nn)A.(n) = 0.$$

$$. nn=0,5,10,15,20,25\%$$

- . $C2(un)(nn)B(n)$ - Soma da carga de baixo teor de enxofre BTE ($x=B$), gasóleo pesado (GP) + resíduo de vácuo (RV), no nível nn% de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga da unidade craqueamento catalítico fluido FCC un ($un=03,13$), no período n.

$$C(un)GB(nn)(n) + C(un)RV(nn)(n) - C(un)(nn)B.(n) = 0.$$

$$. nn=0,5,10,15,20,25\%$$

- . $C3(un)(nn).(n)$ - Especificação da carga de gasóleo pesado (GP) + resíduo de vácuo (RV), no nível de nn% de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga ($nn=1$ a 25), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un=03,13$), no período n.

$$C(un)RV(nn)(n) - (nn)/100 * \sum (x) C(un)(nn)(x).(n) = 0$$

$$. x=A,B$$

$$. nn=0,5,10,15,20,25\%$$

- . $C4(un)GPA.(n)$ - Soma da carga de gasóleo pesado (GP) de origem em petróleo oo com alto teor de enxofre ATE ($x=A$), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un= 03,13$), no período n.

$$\sum (nn) C(un)GA(nn)(n) - C(un)GPA.(n) = 0.$$

$$. nn=0,5,10,15,20,15\%$$

- . $C4(un)GPB.(n)$ - Soma da carga de gasóleo pesado (GP) de origem em petróleo com baixo teor de enxofre BTE ($x=B$), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un= 03,13$), no período n.

$$\sum (nn) C(un)GB(nn)(n) - C(un)GPB.(n) = 0.$$

$$. nn=0,5,10,15,20,15\%$$

- . $C4(un)RV..(n)$ - Soma da carga de resíduo de vácuo (RV) de origem em petróleo oo com baixo teor de enxofre BTE ($x=B$), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un= 03,13$), no período n.

$$\sum (nn) C(un)RV(nn)(n) - C(un)RVB.(n) = 0.$$

$$. nn=5,10,15,20,15\%$$

- . $C5GP(x)..(n)$ - Soma da carga de gasóleo pesado (GP) de origem em petróleo do tipo (x)TE quanto ao teor de enxofre (x=A,B), nas unidades de craqueamento catalítico fluido FCC (un=03 + 13), no período n.

$$\sum (un) C(un)GP(x).(n) - C..GP(x).(n) = 0.$$

- . $C5RVB..(n)$ - Soma da carga de resíduo de vácuo (RV) de origem BTE (x=B), nas unidades de craqueamento catalítico fluido FCC (un=03,13), no período n.

$$\sum (un) C(un)RVB.(n) - C..RVB.(n) = 0.$$

- . $C(un)MAX.(n)$ - Carga total máxima de gasóleo pesado (GP) + resíduo de vácuo (RV), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un (un=03,13), no período n.

$$\sum (nn) 1/Cmax(un,nn) * \sum (x) C(un)(nn)(x).(n) \leq \text{dias}(un,n)$$

- . $x = A,B$
- . $Cmax(un,nn)$ é dado na TABELA B18 - REND2 para $un=03$ e na Tabela B19 - REND3 para $un=13$.
- . $\text{dias}(un,n)$ é dado na TABELA B6 - DIOPE. *

As restrições de carga máxima são do tipo:

$\text{Carga (GP+RV)} \leq \frac{\text{Carga}}{\text{max}} * \frac{\text{n. dias}}{\text{operação}} \text{ (diária)}$

(*) As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.

- $$\sum_{n \in \mathbb{N}} (nn) \cdot 1/C_{\min}(u_n, nn) * \sum_{x \in \mathbb{N}} C(u_n)(nn)(x) \cdot (n) \geq \text{dias}(u_n, n)$$

- As restrições de carga mínima são do tipo:

- 3.30 -

b.1.1. BALANÇO DE RESÍDUO DE VÁCUO CRAQUEÁVEL (RA) =
GASÓLEO PESADO (GP) + RESÍDUO DE VÁCUO (RV),
NA OPERAÇÃO FCC (P=F)

. BCGP... (n) - Balanço de gásóleo pesado (GP) na carga das unidades
de craqueamento catalítico fluido FCC, no período n.

$$\begin{aligned} \text{EGP}....(n-1) + \text{PGP}....(n) - \text{C..GPA.}(n) &= \\ \text{C..GPB.}(n) - \text{EGP}....(n) &= 0 \end{aligned}$$

Esta equação é do tipo:

$\begin{array}{l} \text{produção (tanque)} \\ \text{estoque inicial} \end{array} + = \begin{array}{l} \text{carga (GP)} \\ \text{estoque final} \end{array}$
--

. BCGPA.. (n) - Balanço de gásóleo pesado (GP) com alto teor de en -
xofre ATE (x=A), na carga das unidades de craqueamen -
to catalítico fluido FCC, no período n. O estoque
inicial de gásóleo pesado é considerado como sendo
todo ATE. O estoque final pode conter uma mistura de
GP ATE + BTE.

$$\begin{aligned} \text{EGP}....(n-1) + \sum (\text{oo}) \text{BGP}(\text{oo})\text{A.}(n) + \sum (\text{oo}) \text{BGP}(\text{oo})\text{C.}(n) &= \\ \text{C..GPA.}(n) - \text{EGP}....(n) &\geq 0 \end{aligned}$$

Esta equação é do tipo:

$\begin{array}{l} \sum \text{prod. básica (ATE)} \\ \text{estoque inicial (ATE)} \end{array} + \geq \begin{array}{l} \text{carga (ATE)} \\ \text{estoque final (ATE+BTE)} \end{array}$
--

- . BL..GP.(n) - Balanco de gasóleo de pesado (GP) para carga das unidades de craqueamento catalítico fluido FCC, no período n.

$$\sum (oo)(p) BGP(oo)(p).(n) + \sum (oo) DRA(oo)GP(n) -$$

$$PGP.....(n) = 0.$$

$$. p = A, B, C, F$$

Esta equação é do tipo:

$\text{produção tanque (GP)} = \text{produção básica (GP)} +$ "bypass" RA p/ GP
--

- . BL..RV.(n) - Primeiro balanco de resíduo de vácuo (RV) para carga das unidades de craqueamento catalítico fluido FCC, no período n.

$$\sum (oo) DRV(oo)FC(n) + \sum (oo) DRA(oo)RV(n) -$$

$$PRV.....(n) = 0$$

Esta equação é do tipo:

$\text{produção tanque (RV)} = \text{degradação RV p/ FCC} +$ "bypass" RA p/ RV
--

- . BCRV...(n) - Segundo balanço de resíduo de vácuo (RV) na carga das unidades de craqueamento catalítico fluido FCC, no período n.

$$ERV....(n-1) + PRV....(n) - C..RVB.(n) - ERV....(n) = 0.$$

Esta equação é do tipo:

produção	+	=	carga	+
estoque inicial			estoque final	

- . BYPRA(oo)(n) - "By-pass" de resíduo atmosférico (RA) de origem no petróleo oo, na unidade de destilação a vácuo (DV), na operação FCC (p=F) , no período n.

$$DRA(oo)GP(n) + DRA(oo)RV(n) - DRA(oo)F.(n) = 0.$$

Esta equação é do tipo:

bypass (RA)	=	"bypass" RA p/ GP	+
		"bypass" RA p/ RV	

- . $BERVGP.(n)$ - Balanco de limite máximo de estoque em tanque, para carga nas unidades de craqueamento catalítico fluido FCC, de resíduo de vácuo (RV) comparado com o estoque de gasóleo pesado (GP), no período n.

$$ERV....(n) - coef(RVNOGP) * EGP....(n) \leq 0.$$

- . $coef(RVNOGP)$ é obtido na Tabela B3 - COEF.

Esta equação é do tipo:

$\text{estoque (RV)} \leq \text{coef} * \text{estoque (GP)}$
--

- . $PRORA(oo)(n)$ - Proportionalidade entre quantidades de resíduo atmosférico (RA) com origem no petróleo oo, que by-passam a unidade de destilação a vácuo (DV), e são adicionadas no gasóleo pesado (GP) e no resíduo de vácuo (RV), na operação FCC (p=F), no período n.

$$\text{rend}(RV, oo) * DRA(oo)GP(n) -$$

$$(\text{rend}(GP, oo) + \text{rend}(GL, oo)) * DRA(oo)RV(n) = 0.$$

- . rend é obtido na Tabela B17 - REND1.

Esta equação é do tipo:

$\frac{\text{degradação RA p/ GP}}{\text{rend. GP+RV}}$	=	$\frac{\text{degradação RA p/ RV}}{\text{rend. RV}}$
---	---	--

Os produtos básicos obtidos no craqueamento catalítico são o gás combustível (GC), o GLP (LP), a nafta craqueada (NC), o diesel craqueado (DC), o óleo clarificado (CL), o coque (CQ) e o enxofre (EX).

São consideradas ainda as correntes $x=A,B$, para se separar a produção básica de diesel craqueado $DC(x)$ que é obtida a partir de uma carga do tipo $(x)TE$, onde DCA corresponde ao diesel craqueado obtido a partir de uma carga de alto teor de enxofre (ATE) e o DCB corresponde ao diesel craqueado obtido a partir de uma carga com baixo teor de enxofre (BTE). DCA é obtido nas operações ATE e CAP ($p=A,C$). DCB é obtido nas operações BTE e FCC ($p=B,F$).

- . $BS(un)(pp).(n)$ Produção básica do produto pp ($pp=CL,LP,NC$), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un=03,13$), no período n.

$$\sum (nn) \text{rend}(pp,nn) * C3(nn)...(n) - B03.(pp).(n) = 0.$$

- . $\text{rend}(pp,nn)$ é dado na Tabela B18 - REND2 para $un=03$ e na Tabela B19 - REND3 para $un=13$.

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (pp)} = \text{rendimento (pp)} * \text{carga}$

- $BS(un)DC(x)(n)$ Produção básica do produto diesel craqueado (DC), a partir de uma carga do tipo (x)TE quanto ao teor de enxofre ($x=A, B$), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un=03, 13$), no período n.

$$\sum (nn) \text{rend}(DC, nn) * C(un)(nn)(x).(n) -$$

$$B(un).DC(x)(n) = 0.$$

- $\text{rend}(DC, nn)$ é dado na Tabela B18 - REND2 para $un=03$ e na Tabela B19 - REND3 para $un=13$.

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica (DC)} = \text{rendimento (DC)} * \text{carga}$

- $BS(un)(pp).(n)$ Produção básica do produto pp ($pp=GC, CQ$), na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un=03, 13$), no período n.

$$\sum (nn) \text{rend}(pp, nn) * \text{dens}(GP) * (C(un)GA(nn)(n) +$$

$$C(un)GB(nn)(n)) +$$

$$\sum (nn) \text{rend}(pp, nn) * \text{dens}(RV) * C(un)RV(nn)(n) -$$

$$B(un).(pp).(n) = 0.$$

- $\text{dens}(GP)$ e $\text{dens}(RV)$ são dados na Tabela B11 - ENX02.
- $\text{rend}(pp, nn)$ é dado na Tabela B18 - REND2 para $un=03$ e na Tabela B19 - REND3 para $un=13$.

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{prod.bas. (pêso)} = \text{rend. (pêso)} * \text{densidade} * \text{carga (vol.)}$
--

- . $BS(un)EX.(n)$ - Produção básica de enxofre (EX) nas unidades de craqueamento catalítico fluido FCC un ($un=03,13$), no período n.

$$\begin{aligned} coef(REEXFCC) * ((coef(DENS,GPA) * coef(ENX,GPA) * C(un)GPA.(n) + \\ (coef(DENS,GPB) * coef(ENX,GPB) * C(un)GPB.(n) + \\ coef(DENS,RVB) * coef(ENX,RVB) * C(un)RVB.(n) - \\ B(un).EX.(n) = 0. \end{aligned}$$

- . $coef(REEXFCC)$ e todos os demais coeficientes são dados na TABELA B11 - ENX02.

As eq's de produção básica são do tipo:

$\text{produção básica} = \text{coef. recuperação} * \text{teor carga} * \text{vol.carga}$
--

3.4.5 HIDRODESSULFURIZAÇÃO (U-106)

a. MODELAMENTO

DESCRIÇÃO: a unidade de hidrodessulfurização (HDS) para tratamento de querosene de aviação (QJ) U-106 (H1), está modelada como uma "caixa-preta" à parte e deve tratar obrigatoriamente todo o querosene de aviação (QJ) produzido. A carga a ser tratada nesta unidade é a nafta pesada (NP), obtida na destilação atmosférica (DA), a partir de cada petróleo oo, e a saída é o querosene de aviação (QJ) tratado. O consumo de nafta leve (NL) para geração de hidrogênio é uma função da carga total na unidade.

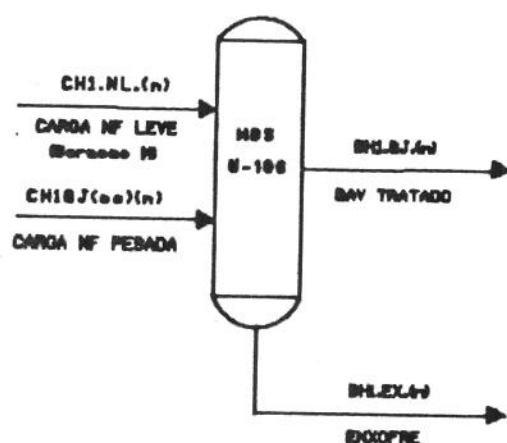


Figura 3.10

LIMITANTES: os limitantes considerados são as cargas mínima e máxima, em cada período e também a disponibilidade máxima de nafta leve (NL) para geração de Hidrogênio (H_2).

Carga * min (diária)	n. dias operação	≤	CH1.QJ.(n)	≤	Carga * n. dias max operação (diária)
----------------------------	---------------------	---	------------	---	--

b. EQUACIONAMENTO

b.1. CARGA NA UNIDADE HDS

- . $C.H1... (n)$ - Soma da carga de nafta pesada (NP) na unidade de hidrodesulfurização HDS U-106 (H1), para tratamento de querosene de aviação (QJ), no período n.

$$\sum (oo) CH1QJ(oo)(n) - CH1.QJ.(n) = 0.$$

b.2. PRODUÇÕES BÁSICAS NA UNIDADE

- . $BSH1QJ.(n)$ - Produção básica do produto querosene de aviação (QJ), na unidade de hidrodesulfurização HDS U-106 (H1), no período n.

$$CH1.QJ.(n) - BH1.QJ.(n) = 0.$$

A equação de produção básica é do tipo:

$\text{produção básica de QJ} = \text{carga de NP}$

- BSH1EX.(n) - Produção básica de enxofre (EX), na unidade de hidrodessulfurização HDS U-106 (H1), no período n.

coef(REEXHDS) *

($\sum$ (oo) (coef(DENQJ,(oo)) * coef(ENXQJ,(oo)) *

CH1QJ(oo)(n)) -

BH1.EX.(n) = 0.

- coef(REEXHDS) é dado na Tabela B3 - COEF.
- todos os demais coef's estão nas Tabelas B10 - ENX01 e B11 - ENX02.

A equação de produção básica é do tipo:

produção básica = coef. recuperação * teor carga * vol.carga
--

3.4.6 HIDRODESSULFURIZAÇÃO (U-108 + U-110)

a. HIDRODESSULFURIZAÇÃO (U-108 + U-110) - MODELAMENTO

DESCRIÇÃO: As unidades de hidrodessulfurização HDS (U-108+U-110) para o diesel (HD=H2+H3) estão modeladas como uma única "caixa-preta". As entradas são as cargas de todo o diesel craqueado (DC), de gasóleo leve de vácuo (sempre que o teor de enxofre for maior que 1.% em peso), e de diesel pesado (opcional se o teor de enxofre for maior que 1.% em peso).

As saídas são as produções básicas de diesel tratado (DS) e enxofre (EX). A produção básica de diesel tratado (DS) é igual a carga a ser tratada.

Para a geração do hidrogênio é utilizado nafta leve (NL), que é consumida no processo.

O tratamento de gasóleo leve de vácuo (GL), diesel craqueado (DC) e diesel pesado (DP) nas unidades HDS (U-108 + U-110) está penalizado na função objetivo com o custo do tratamento, que deve ser informado na Tabela B3 - COEF. (US\$ mil / mil m³ carga).

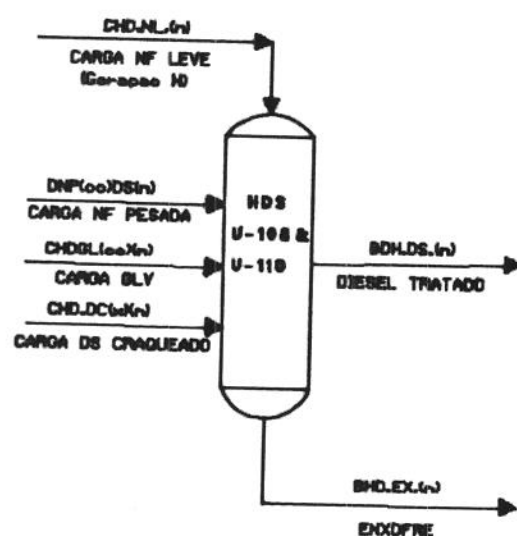


Figura 3.11

LIMITANTES: os limitantes considerados são as cargas mínima e máxima, em cada período e a disponibilidade máxima de NL para geração de Hidrogênio (H₂).

Carga * min (diária)	n. dias operação	≤	CHD....(n)	≤	Carga * max (diária)	n. dias operação
----------------------------	---------------------	---	------------	---	----------------------------	---------------------

b. EQUACIONAMENTO

b.1. CARGA NA UNIDADE HDS

. C.HD...(n) - Soma de carga da unidade de hidrodessulfurização HDS para o tratamento do diesel U-108 + U-110 (HD=H₂+H₃), no período n.

$$\sum (oo) DGL(oo)HD(n) + \sum (oo) DDP(oo)HD(n) +$$

$$\sum (x) CHD.DC(x)(n) - CHD....(n) = 0.$$

. x=A,B

. BL1NLHD(n) - Primeiro balanço de nafta leve (NL) para carga na unidade de hidrodessulfurização HDS para tratamento de diesel U-108 + U-110 (HD=H₂+H₃), no período n.

$$DNL.HD.(n) - PHD.NL.(n) = 0.$$

- . ESTNLHD(n) - Balanço no estoque de nafta leve (NL) para carga na unidade hidrodessulfurização HDS para tratamento de diesel U-108 + U-110 (HD=H2+H3), no período n.

$$PHD.NL.(n) + ENL.HD.(n-1) - ENL.HD.(n) -$$

$$CH1.NL.(n) - CHD.NL.(n) = 0.$$

b.2. CONSUMO DE NAFTA PARA GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO NA HDS

- . KONNLDC(n) Consumo de nafta leve (NL) na unidade de hidrodessulfurização HDS para tratamento de diesel U-108 + U110 (HD+H2+H3), demandada pela carga de diesel craqueado (DC), no período n.

$$\sum (x) CHD.DC(x)(n) - coef (NL,DCH2) * CHDNLDC(n) = 0.$$

- . coef (NL,DCH2) é dado na Tabela B5 - NAFTAH2.

- . KONNLGL(n) - Consumo de nafta leve (NL) na unidade de hidrodessulfurização HDS para tratamento de diesel U-108 + U-110 (HD=H2+H3), demandada pela carga de gasóleo leve de vácuo (GL), no período n.

$$\sum (oo) DGL(oo)HD(n) + DDP(oo)HD(n)$$

$$- coef (NL,GLH2) * CHDNLGL(n) = 0$$

- . coef (NL,GLH2) é dado na Tabela B5 - NAFTAH2.

- . KONS.NL.(n) - Consumo de nafta leve (NL) na unidade de hidrodessulfurização HDS para tratamento de diesel U-108 + U-110 (HD=H2+H3), pelas cargas de diesel craqueado (DC) + gasóleo leve de vácuo (GL), no período n.

$$CHDNLGL(n) + CHDNLDC(n) - CHD.NL.(n) = 0.$$

- . KON1NL.(n) - Consumo de nafta leve (NL) na unidade hidrodessulfurização (HDS) para querosene de aviação (QJ) U-106 (H1), no período n.

$$CH1.QJ.(n) - coef(NL,QJH2) * CH1.NL.(n) = 0.$$

- . coef(NL,QJH2) é dado na Tabela B5 - NAFTAH2.

- . LCHDNL.(n) - Limite de máxima disponibilidade de nafta leve (NL) para gerar hidrogênio na carga em todas as unidades de hidrodessulfurização (HDS) da REGAP, U-106+U-108+U-110 (H1,HD=H2+H3), no período n.

$$CH1.NL.(n) + CHD.NL.(n) \leq \text{Tabela B3 - COEF (MXNLHD)} *$$

$$\text{Tabela B6 - DIOPE (dias(H3))}$$

b.3.

PRODUÇÕES BÁSICAS NAS UNIDADES

- . BSHDEX.(n) - Produção básica de enxofre (EX), na unidade de hidrodesulfurização (HDS) para tratamento do diesel U-108 + U-110 (HD=H2+H3), no período n.

coef(REEXHDS) *

($\sum$ (oo) (coef(DENGL,(oo)) * coef(ENXGL1,(oo)) *

DGL(oo)HD(n) +

$\sum$ (oo) (coef(DENDP,(oo)) * coef(ENXGDP,(oo)) *

DDP(oo)HD(n)) +

coef(REEXHDS) *

($\sum$ (x) ((coef(DENS,DC(x)) * coef(ENX,DC(x)) *

CHD.DC(x)(n)) - BHD.EX.(n) = 0

- . x = A,B
- . coef(REEXHDS) e dado na Tabela B3 - COEF.
- . todos os demais coef's estão nas Tabelas B10 - ENX01 e B11 - ENX02.

produção básica = coef. recuperação * teor carga * vol.carga
--

3.4.7. BALANÇO DE GLP (LP)

a. MODELAMENTO

a.1. Balanço de Fluxos para o LP

DESCRIÇÃO: As produções básicas de GLP (LP) são obtidas nas unidades de destilação atmosférica (DA) e de craqueamento catalítico fluido (FCC). Estas produções são acumuladas e destinadas ao GLP final (LP) e às degradações (butanização) para gasolina normal (GA) e para gasolina de exportação (GX).

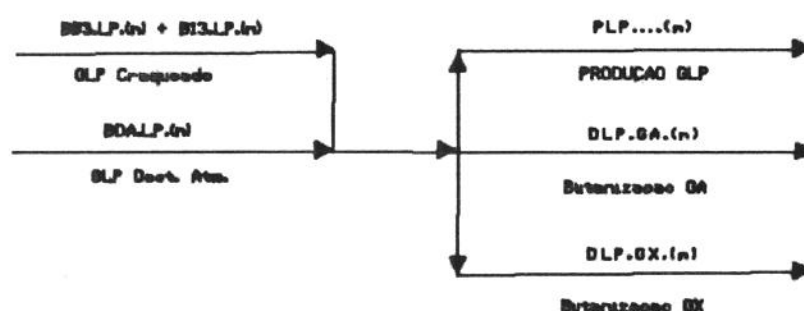


Figura 3.12

a.2. Balanço em tanque de armazenamento para o GLP (LP)

DESCRIÇÃO: No balanço volumétrico do GLP (LP) em tanques de armazenamento, a entrada para o tanque consiste da produção básica nas unidades, e a saída feita consiste na entrega do produto para o mercado ou degradações (butanização). A importação e/ou exportação do GLP (LP) está modelada nesta equação, porém estas correntes não circulam fisicamente pela Refinaria. Por exemplo, uma importação pode significar que outra refinaria do sistema Petrobrás irá suprir o GLP (LP) demandado por uma região (ou estado) tradicionalmente localizado na zona de influência da

REGAP. Do mesmo modo, uma exportação pode significar que a REGAP irá atender o mercado de GLP (LP) demandado por uma região (ou estado) tradicionalmente localizado na zona de influência de outra refinaria do sistema Petrobrás.

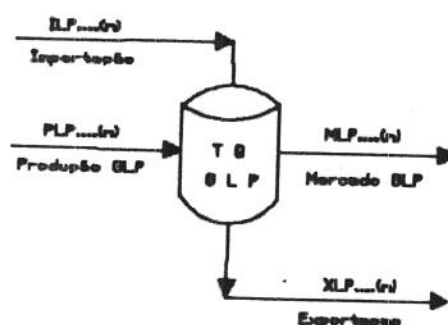


Figura 3.13

LIMITANTES: os limitantes considerados são os estoques mínimos e máximos de GLP (LP), em cada período. Esta limitação corresponde ao estoque mínimo para operar a refinaria com segurança e ao espaço máximo existente no parque de tanques da REGAP.

$\text{estoque}_{\min} \leq \text{ELP} \dots (n) \leq \text{estoque}_{\max}$
--

b.

EQUACIONAMENTO

. BL1.LP.(n) - Primeiro balanço de GLP (LP), no período n.

$$\sum (un) B(un).LP.(n) - \sum (pp) DLP.(pp).(n) -$$

$$1./dens(LP) * PLP....(n) = 0.$$

. un = 03,13,DA

. pp = GA,GX

A equação de balanço de LP é do tipo:

$\text{produções básicas (DA+FCC)} = \text{produção (tanque)} + \sum \text{degradações}$
--

. ESTLP..(n) - Balanço do estoque em tanque e produção final do derivado GLP (LP), no período n.

$$PLP....(n) + ILP....(n) + ELP....(n-1) -$$

$$ELP....(n) - XLP....(n) - MLP....(n) = 0.$$

A equação de balanço do LP em tanque é do tipo:

produção (tanque)	+	=	mercado	+
estoque inicial	+		estoque final	+
importação			exportação	

3.4.8 BALANÇO DE NAFTA E GASOLINA (NL,NQ,NP,AG,NA,NC,GA,GX)

a. MODELAMENTO

a.1. Nafta Leve

DESCRIÇÃO: A produção básica de nafta leve (NL) é obtida na unidade de destilação atmosférica (DA). Esta produção básica de nafta leve (NL) destina-se à produção da gasolina normal (GA) e de nafta petroquímica (NQ). Parte da nafta leve (NL) produzida é consumida na própria Refinaria na geração de hidrogênio nas unidades de hidrodessulfurização HDS. A gasolina normal (GA) tem como constituinte, além da nafta leve (NL), a nafta craqueada (NC) e o GLP (LP).

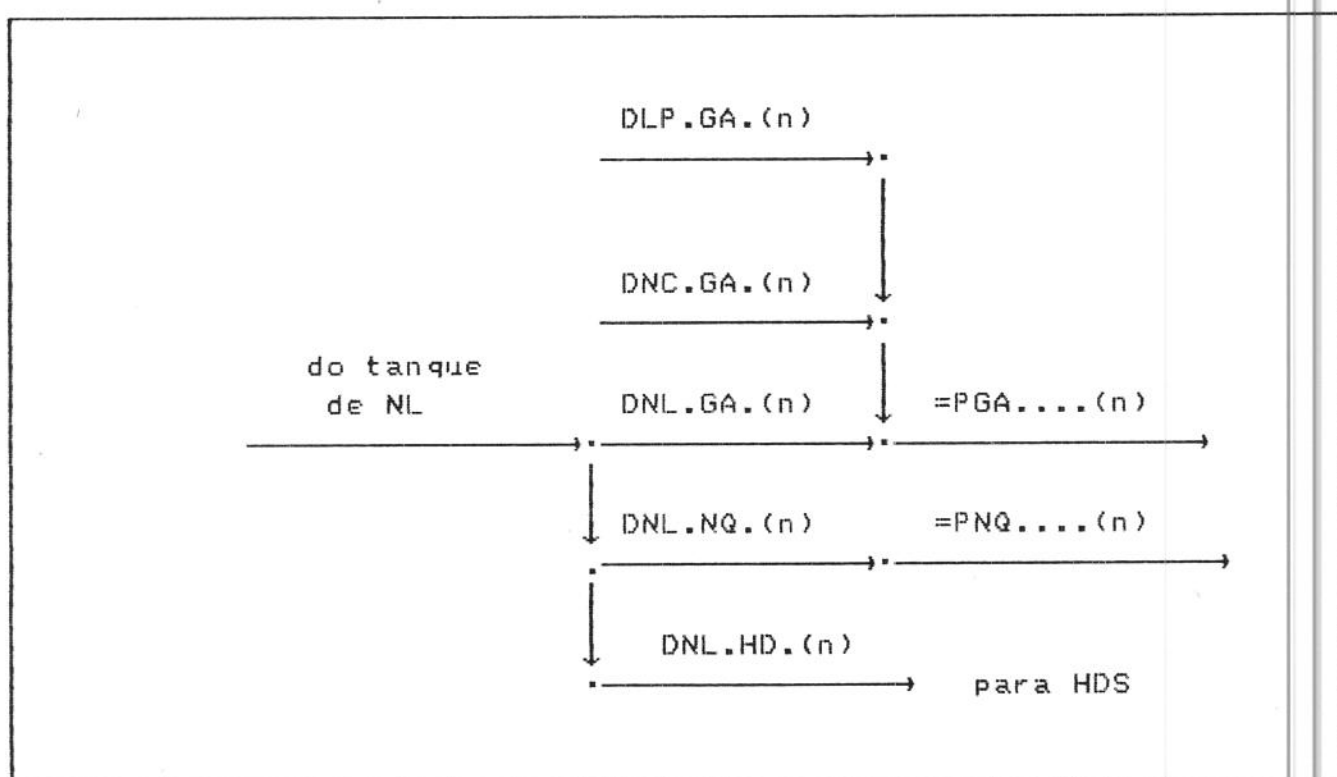
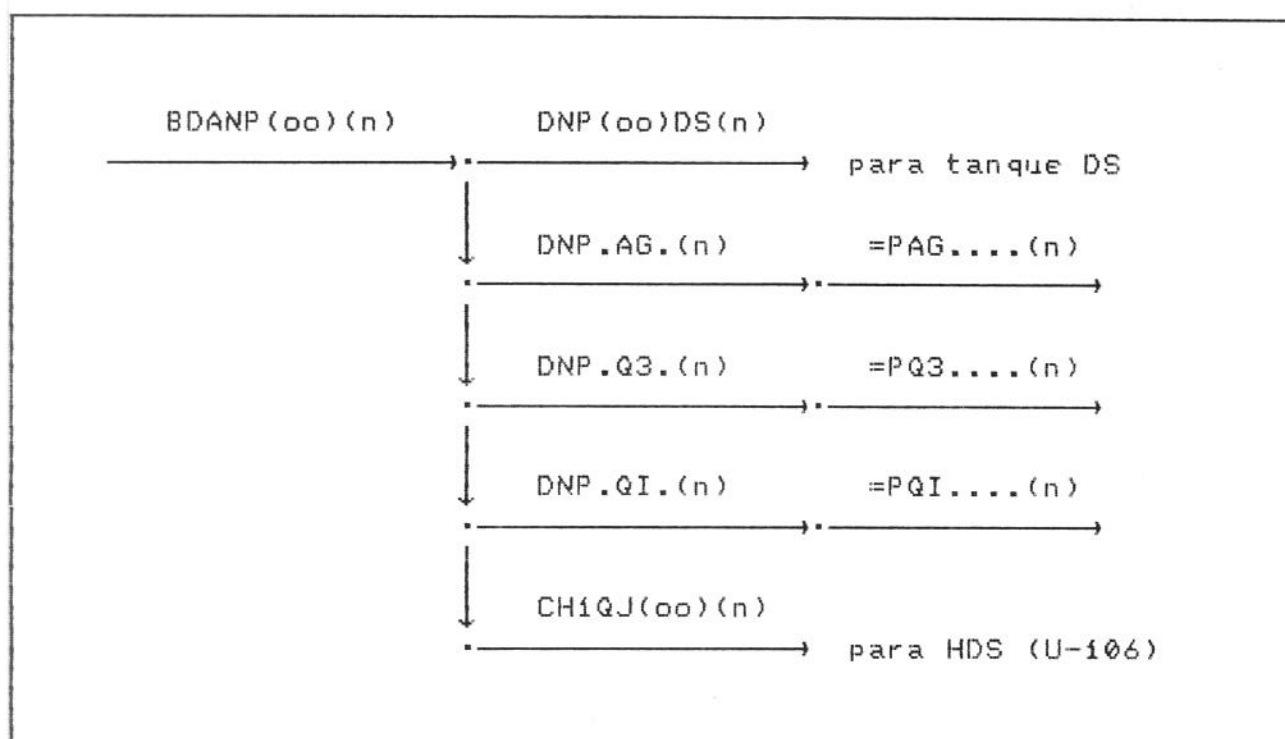


Figura 3.14

DESCRIÇÃO: A produção básica de nafta pesada (NP) é obtida na unidade de destilação atmosférica (DA). Esta produção básica destina-se à produção de aguarrás (AG), querosene de iluminação (QI), querosene de aviação (QJ), diesel (DS) e diluente (Q3) para asfalto diluído de petróleo (A3). Para se especificar uma nafta pesada como querosene de aviação (QJ), toda NP deve ser antes tratada obrigatoriamente na unidade de hidrodessulfurização HDS (U-106 (U-106) para se remover o enxofre (EX).



a.3.

Nafta Craqueada

DESCRIÇÃO: A produção básica de nafta craqueada (NC) é obtida na unidade de craqueamento catalítico fluido FCC (un=03,13). Esta produção básica destina-se à produção de gasolina normal (GA) e principalmente à produção de gasolina de exportação (GX). A gasolina de exportação (GX) tem como constituintes, além da nafta craqueada (NC), o GLP (LP).

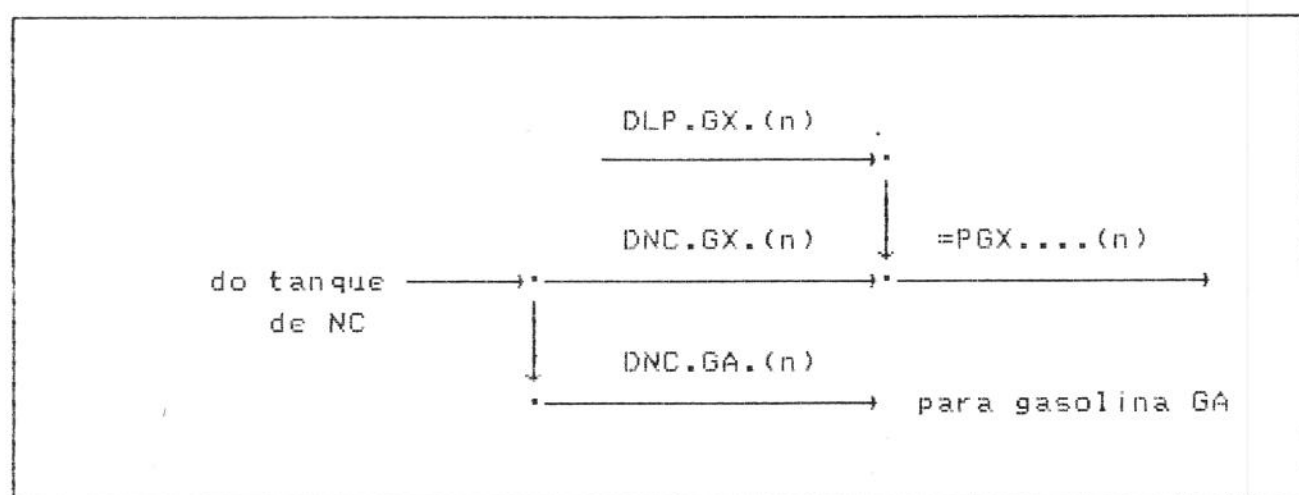


Figura 3.16

b. EQUACIONAMENTO

b.1. Nafta Leve

- . BL1.NL.(n) - Primeiro balanço de nafta leve (NL), no período n.

$$BDA.NL.(n) - PNL....(n) = 0.$$

A equação de balanço de NL é do tipo:

$\text{produção básica (DA)} = \text{produção (tanque)}$
--

- . EST.NL.(n) - Balanço do estoque em tanque de nafta leve (NL), no período n.

$$PNL....(n) + ENL....(n-1) - ENL....(n)$$

$$- \sum (xx) DNL.(xx).(n) = 0.$$

$$. xx = GA, NQ, HD$$

A equação de balanço do NP em tanque é do tipo:

$\begin{array}{l} \text{produção (tanque)} + \\ \text{estoque inicial} \end{array}$	$=$	$\begin{array}{l} \sum \text{degradações} + \\ \text{estoque final} \end{array}$
---	-----	--

- . $BL1.NQ.(n) - \frac{\text{Primeiro balanço de nafta petroquímica (NQ), no período } n.}{}$

$$DNL.NQ.(n) - PNQ....(n) = 0.$$

- . $ESTNQ..(n) - \text{Balanço de estoque em tanque e produção final do derivado nafta petroquímica (NQ), no período } n.$

$$PNQ....(n) + INQ....(n) + ENQ....(n-1) -$$

$$ENQ....(n) - XNQ....(n) - MNQ....(n) = 0.$$

A equação de balanço do NQ em tanque é do tipo:

produção (tanque)	+	=	mercado	+
estoque inicial	+		estoque final	+
importação			exportação	

b.2. Nafta Pesada

- . $BL1.NP.(n) - \frac{\text{Primeiro balanço de nafta pesada (NP), no período } n.}{}$

$$BDA.NP.(n) - \sum(oo) DNP(oo)DS(n) - \sum(pp) DNP.(pp).(n) = 0.$$

$$. pp = AG, Q3, QI, QJ$$

A equação de balanço de NP é do tipo:

produção básica (DA) = $\sum$ degradações

- . BL2.NP.(n) - (Segundo balanço) Soma das produções básicas de nafta pesada (NP), no período n.

$$\sum (oo) BDANP(oo)(n) - BDA.NP.(n) = 0.$$

- . BL3.NP.(n) - (Terceiro balanço) Soma das degradações de nafta pesada (NP) para querosene de aviação (QJ), no período n.

$$\sum (oo) CHIQJ(oo)(n) - DNP.QJ.(n) = 0.$$

- . BL4NP(oo)(n) - Quarto balanço de nafta pesada (NP), com origem em petróleo do tipo oo, no período n.

$$CHIQJ(oo)(n) + DNP(oo)DS(n) - BDANP(oo)(n) = 0.$$

As equações de balanço de NP são do tipo:

$\text{produção básica (NP)} \geq \text{degradação NP p/ DS} + \text{produção (QJ)}$
--

- . BL1.AG.(n) - Primeiro balanço de aguarrás (AG), no período n.

$$DNP.AG.(n) - PAG....(n) = 0$$

A equação de balanço de AG é do tipo:

degradação (NP) = produção (tanque)

- . BL1.QI.(n) - Primeiro balanço de querosene de iluminação (QI), no período n.

$$DNP.QI.(n) - PQI....(n) = 0.$$

- . BL1.QJ.(n) - Primeiro balanço de querosene de aviação (QJ), no período n.

$$BH1.QJ.(n) - PQJ....(n) = 0.$$

- . EST(pp)..(n) - Balanço do estoque em tanque e produção final do derivado pp, (pp=AG,QI,QJ), no período n.

$$P(pp)....(n) + I(pp)....(n) + E(pp)....(n-1) -$$

$$E(pp)....(n) - X(pp)....(n) - M(pp)....(n) = 0.$$

As eq's de balanço de pp's em tanque são do tipo:

produção (tanque)	+	=	mercado	+
estoque inicial	+		estoque final	+
importação			exportação	

b.3.

GASOLINA

- . BL1.GA.(n) - Primeiro balanço de gasolina normal (GA), no período n.

$$\sum (pp) D(pp).GA.(n) - PGA....(n) = 0$$

$$. pp = NC, NL, LP$$

A equação de balanço de GA é do tipo:

$\sum \text{degradações} = \text{produção (tanque)}$
--

- . BL1.NC.(n) - Primeiro balanço de nafta craqueada (NC), produzida nas unidades craqueamento catalítico fluido FCC (un=03,13), no período n.

$$\sum (un) B(un).NC.(n) - PNC....(n) = 0.$$

A equação de balanço de NC é do tipo:

$\text{produção básica} = \text{produção (tanque)}$

- EST.NC.(n) - Balanço de estoque em tanque de nafta craqueada (NC), no período n.

$$PNC....(n) + ENC....(n-1) - ENC....(n) -$$

$$\sum (pp) DNC.(pp).(n) = 0.$$

$$. pp = GA, GX$$

A equação de balanço do NC em tanque é do tipo:

$\begin{array}{l} \text{produção (tanque)} + \\ \text{estoque inicial} \end{array} = \begin{array}{l} \sum \text{degradações} + \\ \text{estoque final} \end{array}$
--

- BL1.GX.(n) - Primeiro balanço de gasolina de exportação (GX), no período n.

$$\sum (pp) D(pp).GX.(n) - PGX....(n) = 0$$

$$. pp = LP, NC$$

A equação de balanço de GX é do tipo:

$\sum \text{degradação (GX)} = \text{produção (tanque)}$
--

- EST(pp)..(n) - Balanço de estoque e produção final do derivado pp (pp=GA,GX), no período n.

$$P(pp)....(n) + I(pp)....(n) + E(pp)....(n-1) -$$

$$E(pp)....(n) - X(pp)....(n) - M(pp)....(n) = 0.$$

As equações de balanço de pp's em tanque são do tipo:

produção (tanque) +	=	mercado	+
estoque inicial +		estoque final	+
importação		exportação	

- QLLP(pp).(n) - Qualidade (butanização máxima com GLP (LP)) da gasolina pp (pp=GA,GX), no período n.

$$DLP.(pp).(n) - coef * P(pp)....(n) <= 0.$$

. coef é dado na Tabela B14 - GASOL. *

- QLNLGA.(n) - Qualidade (degradação máxima de nafta (NL)) da gasolina normal (GA), no período n.

$$DNL.GA.(n) - coef * PGA....(n) <= 0.$$

. coef é dado na Tabela B14 - GASOL.

(*) As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.

DESCRIÇÃO: O diesel final (DS) é constituído por diversas frações obtidas nos processos de destilação atmosférica (DA), de destilação a vácuo (DV) e craqueamento catalítico (FCC). Os constituintes do diesel final (DS) obtidos na destilação são: a nafta pesada (NP), o diesel de destilação direta (DS) e o diesel pesado (ATE). Os produtos básicos que formam o diesel de destilação direta (DS) são o diesel leve (BTE), o diesel pesado (BTE) e o diesel leve (ATE). A partir da destilação a vácuo, temos o gasóleo leve de vácuo (GL) como constituinte do diesel final (DS). Finalmente, a fração constituinte do diesel final (DS) obtida no craqueamento catalítico é o diesel craqueado.

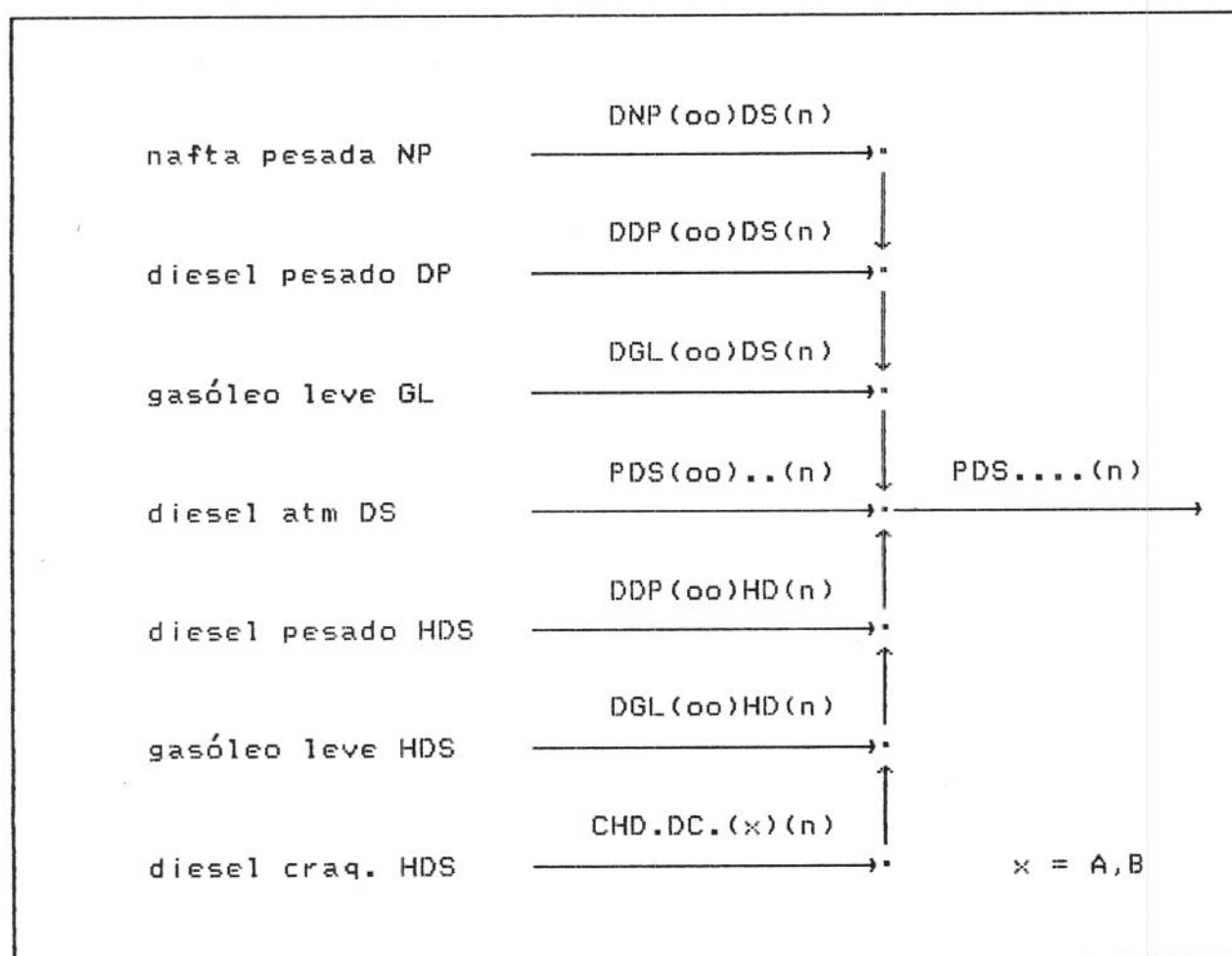


Figura 3.17

A principal restrição de qualidade considerada no modelo para o diesel final (DS) é quanto ao teor máximo de enxofre (EX), em pêsos. O valor de especificação deve ser informado na Tabela B11 - ENX02. Atualmente, a REGAP usa o seguinte procedimento com respeito ao teor de enxofre (EX) no diesel (DS):

- .) todo o diesel craqueado (DC) a ser especificado como diesel final (DS) deve se tratado obrigatoriamente na unidade de hidrodessulfurização HDS (U-108+U-110) para se remover o enxofre (EX).
- .) o gasóleo leve de vácuo (GL) a ser adicionado no diesel final (DS) pode ou não necessitar de tratamento na HDS, dependendo do seu teor de enxofre (EX) ser maior ou menor que 1.% em pêsos.
- .) o diesel de destilação direta (DS), obtido na DA a partir de um petróleo oo com baixo teor de enxofre (BTE), pode ser adicionado diretamente ao diesel final (DS) sem tratamento na HDS.
- .) o diesel leve, obtido na DA a partir de um petróleo oo com alto teor de enxofre (ATE), que corresponde a .85 do diesel DS (ATE), também pode ser adicionado diretamente ao diesel final (DS) sem tratamento na HDS.
- .) Finalmente, o diesel pesado, obtido na DA a partir de um petróleo oo com alto teor de enxofre (ATE), que corresponde a .15 do diesel DS (ATE), pode ou não necessitar de tratamento na HDS, dependendo da necessidade do modelo.

b.

EQUACIONAMENTO

- . $BL1DS(oo)(n) -$ Primeiro balanço de diesel (DS), obtido na destilação atmosférica (DA), a partir do petróleo oo, no período n.

$$BDADS(oo)(n) - DDS(oo)Q1(n) - DDS(oo)Q2(n) - PDS(oo)..(n) = 0$$

As equações de balanço de DS são do tipo:

$\text{produções básicas (DA)} = \text{produção (tanque)} + \sum \text{degradações}$
--

- . $BL2.DS.(n) -$ Segundo balanço de diesel (DS), no período n.

$$\begin{aligned} \sum(oo) PDS(oo)..(n) + \sum(oo) DNP(oo)DS(n) + \\ \sum(oo) PDP(oo)..(N) + \sum(oo) DGL(oo)DS(n) + \\ \sum(oo) DGL(oo)HD(n) + \sum(x) CHD.DC(x)(n) + \\ \sum(oo) DDP(oo)HD(n) - PDS....(n) = 0 \end{aligned}$$

. $x = A, B$

A equação de balanço de DS é do tipo:

diesel atm DS	+	
nafta pesada NP	+	
diesel pesado DP	+	
gasóleo leve GL	+	
gasóleo leve HDS	+	
diesel craqueado HDS	+	
diesel pesado HDS	=	diesel final

- . $BLDP(oo)(n) =$ Primeiro balanço de diesel pesado (DP), obtido na DA a partir do petróleo oo (ATE), no período n.

$$BDADP(oo)(n) - DDP(oo)HD(n) - PDP(oo)..(n) = 0$$

As equações de balanço de DP são do tipo:

$\text{produção básica (DA)} = \text{produção (DS)} + \text{degradação (HD)}$

- . $BLGL(oo).(n) =$ Balanço de gasóleo leve (GL), obtido na DV a partir do petróleo oo, no período n.

$$\sum (p) BGL(oo)(p).(n) - \sum (xx) DGL(oo)(xx)(n) = 0.$$

- . $xx=DS, HD$
- . $p=A, B, F, C$
- . $DGL(oo)DS(n)$ ocorre p/ oo's com $ENXGL \leq 1.2\%$ em peso.
- . $DGL(oo)HD(n)$ ocorre p/ oo's com $ENXGL > 1.2\%$ em peso.

A equação de balanço de GL é do tipo:

$\text{produção básica (DV)} = \sum \text{degradações}$

- . $BL1.DC(x)(n)$ - Primeiro balanço de diesel craqueado (DC), obtido na unidade de FCC partir de uma carga do tipo (x) TE ($x=A,B$), no período n.

$$\sum (un) B(un).DC(x)(n) - DDC.DI(x)(n) -$$

$$CHD.DC(x)(n) = 0.$$

As equações de balanço de DC são do tipo:

produção básica (FCC)	=	carga (HDS)	+	$\sum$ degradações
-----------------------	---	-------------	---	--------------------

- . $ESTDS..(n)$ - Balanço de estoque e produção final do derivado diesel (DS), no período n.

$$PDS....(n) + IDS....(n) + EDS....(n-1) -$$

$$EDS....(n) - XDS....(n) - MDS....(n) = 0.$$

A equação de balanço de DS em tanque é do tipo:

produção (tanque)	+	=	mercado	+
estoque inicial	+		estoque final	+
importação			exportação	

. QL..DS.(n) = Qualidade do diesel (DS), quanto ao teor de enxofre (EX), no período n.

$$\begin{aligned} & \sum(oo) (coef(DENNP, (oo)) * coef(ENXNP, (oo)) * DNP(oo)DS(n) + \\ & \sum(oo^1) (coef(DENDS, (oo^1)) * coef(ENXDS, (oo^1)) * BDADS(oo^1)(n) + \\ & \sum(oo^2) (coef(DENDL, (oo^2)) * coef(ENXDL, (oo^2)) * BDADS(oo^2)(n) + \\ & \sum(oo^2) (coef(DENDP, (oo^2)) * coef(ENXDP, (oo^2)) * BDADS(oo^2)(n) + \\ & \sum(oo) (coef(DENGL, (oo)) * coef(ENXGL0, (oo)) * DGL(oo)DS(n) + \\ & (1. - coef(REEXHDS)) * (\sum(oo) (coef(DENDP, (oo)) * \\ & \quad \quad \quad coef(ENXDP, (oo)) * DDP(oo)HD(n)) + \\ & (1. - coef(REEXHDS)) * (\sum(oo) (coef(DENGL, (oo)) * \\ & \quad \quad \quad coef(ENXGL1, (oo)) * DGL(oo)HD(n)) + \\ & (1. - coef(REEXHDS)) * (\sum(x) (coef(DENS, DC(x)) * \\ & \quad \quad \quad coef(ENX, DC(x)) * CHD.DC(x)(n)) - \\ & \quad \quad \quad coef(DENS, DS) * coef(ENX, DS) * PDS....(n) <= 0 \end{aligned}$$

- . x = A, B
- . oo = oo¹ + oo²
- . oo¹ representa petróleo de baixo teor de enxofre BTE
- . oo² representa petróleo de alto teor de enxofre ATE
- . coef(REEXHDS) é dado na Tabela B3 - COEF.
- . todos os demais coef's estão nas Tabelas B10 - ENX01 e B11 - ENX02.

Esta equação de qualidade do DS é do tipo:

$\begin{aligned} \text{dens} * \text{teor EX} * \text{produção} &\geq \sum \text{dens} * \text{teor EX} * \text{produção} + \\ \text{(DS)} \quad \text{(DS)} \quad \text{final} &\quad \quad \quad \text{básica} \\ &\quad \quad \quad \text{(DS)} \quad \quad \quad \text{s/trat}^0 \\ &\quad \quad \quad (1. - \text{coef. recuperação}) * \\ &\quad \quad \quad \sum \text{dens} * \text{teor EX} * \text{produção} \\ &\quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{básica} \\ &\quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{c/trat}^0 \end{aligned}$

3.4.10 BALANÇO DE ENXOFRE

a. EQUACIONAMENTO

. $BL1.EX.(n)$ - Primeiro balanço de enxofre (EX), no período n.

$$\sum (un) B(un).EX.(n) - PEX....(n) = 0$$

$$. un = 03,13,H1,HD$$

Esta equação de balanço de enxofre é do tipo:

$\sum \text{produções básicas} = \text{produção (EX)}$
--

. $EST.EX.(n)$ - Balanço de estoque de enxofre (EX), no período n.

$$PEX....(n) - MEX....(n) \geq 0.$$

Esta equação de balanço de EX é do tipo:

$\text{produção (EX)} \geq \text{mercado (EX)}$

5.11 BALANÇO DE DILUENTES P/ASFALTO E ÓLEOS COMBUSTÍVEIS
(CL,DC,Q1,Q2,Q3)

a. EQUACIONAMENTO

a.1. ÓLEO LEVE DE RECICLO (LCO)

. BL1.CL.(n) - Primeiro balanço de óleo leve de reciclo (CL),
no período n.

$$\sum (un) B(un).CL.(n) - DCL.DL.(n) = 0$$

$$. un = 03,13$$

A equação de balanço de CL é do tipo:

produção básica (FCC) = $\sum$ degradações
--

. BL2.CL.(n) - Segundo balanço de óleo leve de reciclo (CL), no
período n.

$$DCL.DL.(n) - PDL....(n) = 0$$

A equação de balanço de CL é do tipo:

degradação (CL) = produção (DL)

- . BL4.CL.(n) - (Quarto balanço de CL) Soma das degradações de óleo leve de reciclo (CL) para óleos combustíveis oc's ATE, no período n.

$$DDL.ATE(n) - \sum (pp) DDL.(pp).(n) = 0.$$

$$. pp=F1,F2,\dots,F9,F0$$

a.2. Diesel Craqueado

- . EST.CL.(n) - Balanço do estoque de óleo leve de reciclo (CL) e produção final de resíduo aromático (RR), no período n.

$$PDL....(n) + EDL....(n-1) - EDL....(n) -$$

$$DDL.ATE(n) - MRR....(n) = 0$$

A equação de balanço de CL em tanque é do tipo:

produção (DL)	+	=	mercado (RR)	+
estoque inicial (DL)			estoque final (DL)	+
			degradação p/oc ATE	

- . BL2.DC.(n) = Segundo balanço de DC de qualidade (x)TE (x=A,B), no período n.

$$\sum (x) DDC.DI(x)(n) - PDI....(n) = 0$$

A equação de balanço de DC é do tipo:

$\sum$ degradações (DC)	=	produção (DI)
-------------------------	---	---------------

- . EST.DC.(n) = Balanço de estoque em tanque do diesel craqueado (DC), usado como diluente (DI), no período n.

$$PDI....(n) + EDI....(n-1) - EDI....(n) -$$

$$DDI.ATE(n) = 0$$

A equação de balanço de DI em tanque é do tipo:

produção	+	=	degradação p/oc ATE	+
estoque inicial			estoque final	

- . BL4.DC.(n) - (Quarto balanço de diesel craqueado (DC)) Soma das degradações de diluente (DI) para oc's ATE, no período n.

$$DDI.ATE(n) - \sum (pp) DDI.(pp).(n) = 0.$$

$$pp=F1,F2,\dots,F9,F0$$

a.3. Querosene

- . BL1.Q1.(n) - Primeiro balanço de querosene (QS) para diluente de oc's (Q1) (Soma das degradações de DS para Q1), no período n.

$$\sum (oo) DDS(oo)Q1(n) - PQ1....(n) = 0.$$

A equação de balanço de Q1 é do tipo:

$\sum \text{degradações} = \text{produção (Q1)}$
--

- . EST.Q1.(n) - Balanço de estoque de querosene para diluente de oc's (Q1), no período n.

$$PQ1....(n) + EQ1....(n-1) - EQ1.....(n) - DQ1....(n) = 0.$$

A equação de balanço de Q1 em tanque é do tipo:

$\begin{array}{ccccc} \text{produção} & + & & = & \text{degradações} & + \\ \text{estoque inicial} & & & & \text{estoque final} & \end{array}$
--

- . BL3.Q1.(n) - Terceiro balanço de querosene para diluente (Q1) de oc's, no período n.

$$DQ1....(n) - DQ1.ATE(n) - DQ1.BTE(n) = 0.$$

- . BL4.Q1.(n) - Quarto balanço de Q1 (Soma das degradações de querosene para diluente (Q1) para oc's ATE do tipo pp (pp=F1,F2,...,F9,F0)), no período n.

$$DQ1.ATE(n) - \sum (pp) DQ1.(pp).(n) = 0.$$

- . BL5.Q1.(n) - Quinto balanço de Q1 (Soma das degradações de querosene de diluente (Q1) para oc's BTE do tipo pp (pp=H1,H2,...,H9,H0)), no período n.

$$DQ1.BTE(n) - \sum (pp) DQ1.(pp).(n) = 0.$$

- BL1.Q2.(n) - Primeiro balanço de Q2 (Soma das degradações de diesel (DS) para diluente para asfalto diluído de petróleo (Q2)), no período n.

$$\Sigma(\infty) DDS(\infty)Q2(n) - PQ2....(n) = 0.$$

Esta equação de balanço de Q1 é do tipo:

$\Sigma \text{ degradações (DS)} = \text{produção (Q2)}$
--

- EST.Q2.(n) - Balanço de estoque em tanque de diluente para asfalto diluído de petróleo (Q2), no período n.

$$PQ2....(n) + EQ2....(n-1) - EQ2....(n) - DQ2.A1.(n) = 0.$$

A equação de balanço de Q2 em tanque é do tipo:

produção	+	=	degradações	+
estoque inicial			estoque final	

a.4. Nafta Pesada

- . BL1.Q3.(n) - Primeiro balanço de Q3 (Degradação de nafta pesada (NP) para diluente de asfalto diluído de petróleo (Q3)), no período n.

$$DNP.Q3.(n) - PQ3....(n) = 0.$$

A equação de balanço de Q3 é do tipo:

degradações (NP) = produção (Q3)
--

- . EST.Q3.(n) - Balanço de estoque de diluente para asfalto diluído de petróleo (Q3), no período n.

$$PQ3....(n) + EQ3....(n-1) - EQ3....(n) - DQ3.A3.(n) = 0.$$

A equação de balanço de Q3 em tanque é do tipo:

produção	+	=	degradações	+
estoque inicial			estoque final	

DESCRIÇÃO: A produção básica é obtida no fundo da torre da unidade de destilação a vácuo (DV). Esta produção básica destina-se às seguintes finalidades:

- .) produção de óleos combustíveis de alto teor de enxofre (ATE).
- .) produção de óleos combustíveis de baixo teor de enxofre (BTE).
- .) cimento asfáltico de petróleo (CA).
- .) à carga na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC), quando o resíduo de vácuo (RV) é craqueável.
- .) e, finalmente, ao consumo próprio (CP).

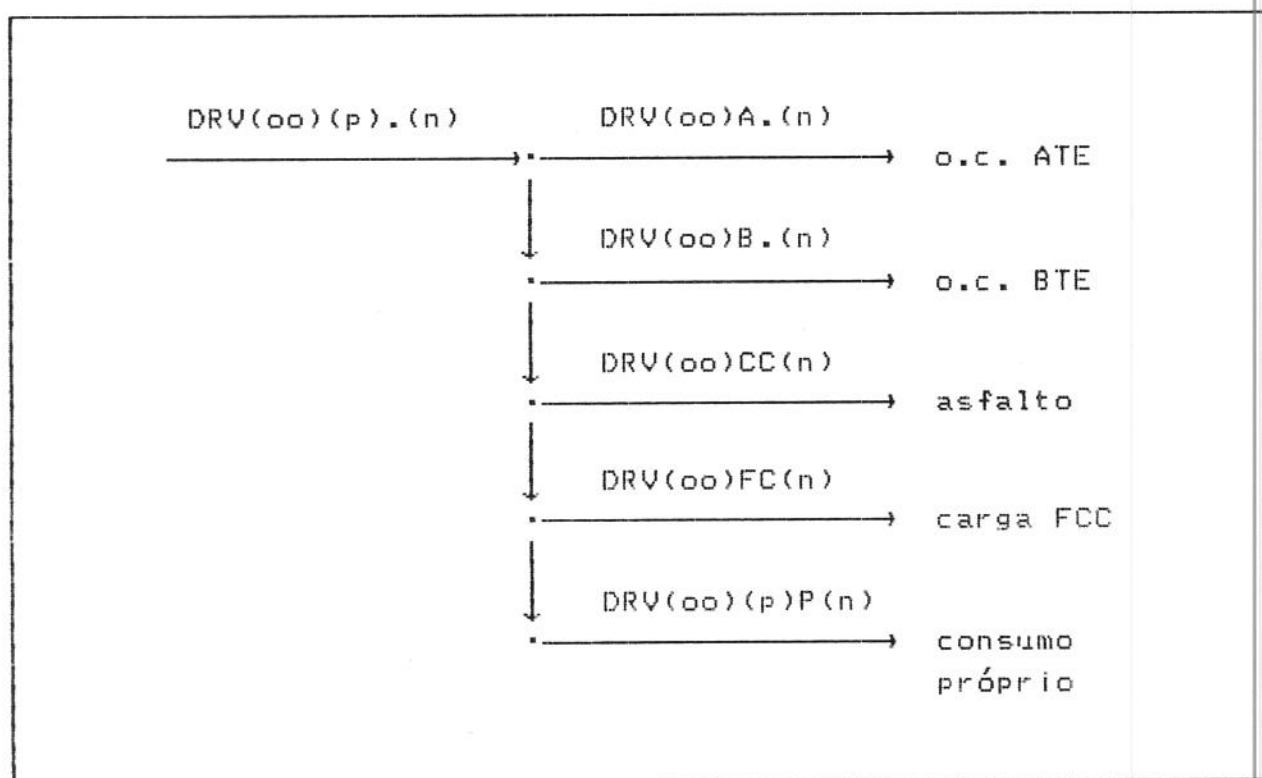


Figura 3.18

b.

EQUACIONAMENTO

- . $BRV(oo)(p)(n)$ Primeiro balanço de RV, a partir do petróleo oo, na operação p ($p=A,B,F,C$), no período n.

$$BRV(oo)(p).(n) - DRV(oo)(p).(n) - DRV(oo)(p)C(n) - \\ DRV(oo)(p)P(n) = 0$$

- . oo é dado na coluna 1 da Tabela B16 - PETROL. *
- . $BRV(oo)(p).(n)$ ocorre para $p=A,B,C,F$ **
- . $DRV(oo)(p).(n)$ ocorre para $p=A,B$
- . $DRV(oo)(p)C(n)$ ocorre para $p=C,F$
- . $DRV(oo)(p)P(n)$ ocorre para $p=A,B,C$

As equações de balanço de RV são do tipo:

$\text{produção básica (RV)} = \sum \text{degradações}$

- (*) As tabelas de dados estão descritas no Apêndice B.
- (**) As operações estão descritas no item 3.3.

3.4.13 PRODUÇÃO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

a. MODELAMENTO

a.1. ÓLEO COMBUSTÍVEL ATE

DESCRIÇÃO: A produção básica de resíduo de vácuo (RV), obtida na unidade de destilação a vácuo (DV) é destinada para a produção de óleos combustíveis de alto teor de enxofre (ATE). Esta campanha corresponde à operação ATE (p=A).

Os diluentes utilizados para se especificar a viscosidade de um óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE) são:

- .) óleo leve de reciclo (DL);
- .) diesel craqueado (DI);
- .) querosene (QI).

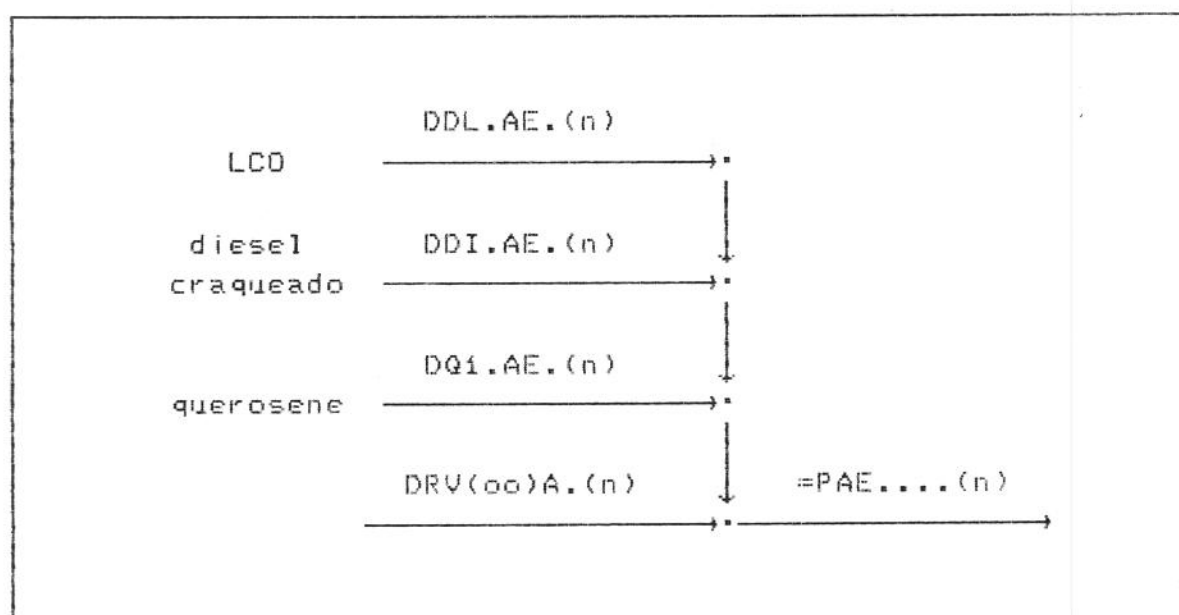


Figura 3.19

a.2.

ÓLEO COMBUSTÍVEL BTE

DESCRIÇÃO: A produção básica de resíduo de vácuo (RV), obtida na unidade de destilação a vácuo (DV) é destinada para a produção de óleos combustíveis de baixo teor de enxofre (BTE). Esta campanha corresponde à operação BTE (p=B).

O diluente utilizado para se especificar a viscosidade de um óleo combustível de baixo teor de enxofre (BTE) é apenas o querosene (Q1).

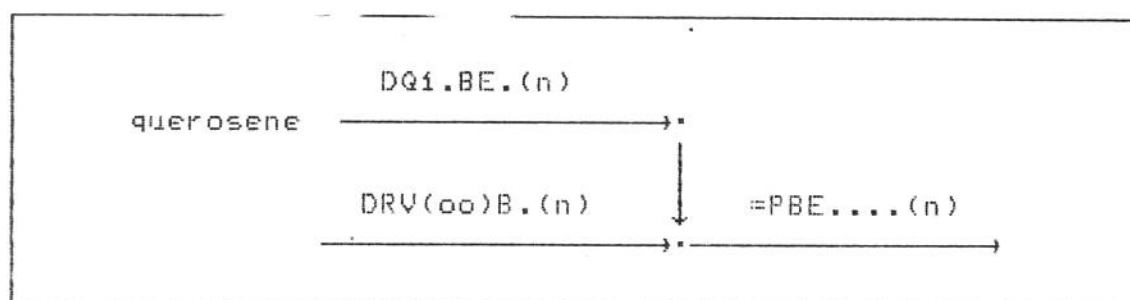


Figura 3.20

Foram considerados dois grupos de óleos combustíveis:

- .) óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE), e
- .) óleo combustível de baixo teor de enxofre (BTE).

Cada grupo poderá, por sua vez, apresentar até dez tipos de óleo. Estes diferem entre si, basicamente em função da viscosidade, i.e., do maior ou menor consumo de diluentes para se conseguir acertar a viscosidade. A viscosidade requerida para cada um destes óleos deve ser informada na Tabela B9 - DERV3.

A produção de cada grupo de óleos combustíveis requer uma campanha específica das unidades de refino. Estas campanhas foram denominadas no modelamento de "operação ATE" (p=A), para a campanha de óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE) e "operação BTE" (p=B), para a campanha de óleo combustível de baixo teor de enxofre (BTE). Estas operações estão descritas no item 3.3.

O modelamento da restrição de viscosidade no óleo combustível é feita através do uso de índices de mistura de viscosidade da Chevron. O índice de mistura Chevron é um número adimensional utilizado para expressar a viscosidade de derivados do petróleo. O índice de mistura Chevron requerido para cada um dos tipos de óleo combustível, pertencentes aos dois grupos ATE e BTE, a serem produzidos em uma dada corrida do modelo deve ser informado na Tabela B9 - DERV3. O índice de mistura Chevron dos diluentes é dado na Tabela B8 - DERV2. Os diluentes utilizados para se especificar a viscosidade dos óleos combustíveis são:

DILUENTE	ATE	BTE
(DL) L.C.O.	x	
(DI) diesel craqueado	x	
(Q1) querosene	x	x

b.

EQUACIONAMENTO

- . $B.RV(oo)A(n)$ - (Balanco de RV) Soma da degradação do produto resíduo de vácuo (RV), obtido na DV a partir do petróleo oo, para o óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE), no período n.

$$DRV(oo)A.(n) - \sum (pp) DRV(oo)(pp)(n) = 0.$$

$$. pp=F1,F2,F3,.....,F0$$

- . $B.RV(oo)B(n)$ - (Balanco de RV) Soma da degradação do produto resíduo de vácuo (RV), obtido na DV a partir do petróleo oo, para o óleo combustível de baixo teor de de enxofre (BTE), no período n.

$$DRV(oo)B.(n) - \sum (pp) DRV(oo)(pp)(n) = 0.$$

$$. pp=H1,H2,H3,.....,H0$$

- . $BL1.(pp).(n)$ - Primero balanco de óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE), do tipo pp ($pp=F1,F2,... F0$), no período n.

$$\sum (oo) DRV(oo)(pp)(n) + DDL.(pp).(n) +$$

$$DDI.(pp).(n) + DQ1.(pp).(n) -$$

$$1. / dens(pp) * PF(pp)...(n) = 0.$$

As equações de balanço de oc's ATE são do tipo:

$\sum$ degradações	=	produção (tanque)
--------------------	---	-------------------

- $BL1.(pp).(n) =$ Primeiro balanço de óleo combustível de baixo teor de enxofre (BTE), do tipo pp ($pp=H1, H2, \dots, H0$), no período n.

$$\sum (oo) \text{ DRV}(oo)(pp)(n) + DQ1.(pp).(n) - 1. / \text{dens}(pp) * PF(pp) \dots (n) = 0.$$

As equações de balanço de oc's BTE são do tipo:

$\sum \text{degradações} = \text{produção (tanque)}$
--

- $BL2.ATE(n) =$ (Segundo balanço de oc ATE) Soma das produções de óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE), no período n.

$$PAE \dots (n) = \sum (pp) PF(pp) \dots (n) = 0.$$

$$pp=F1, F2, \dots, F9, F0$$

- $BL3.ATE(n) =$ (Terceiro balanço de oc ATE) Soma dos estoques de óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE), no período n.

$$EAE \dots (n) = \sum (pp) E(pp) \dots (n) = 0.$$

$$pp=F1, F2, \dots, F9, F0$$

- . BL2.BTE(n) - (Segundo balanço de oc BTE) Soma das produções de óleo combustível de baixo teor de enxofre (BTE), no período n.

$$PBE....(n) - \sum (pp) PF(pp)....(n) - 0.$$

$$.pp=H1,H2,....,H9,H0$$

- . BL3.BTE(n) - (Terceiro balanço de oc BTE) Soma dos estoques de óleo combustível de baixo teor de enxofre (BTE), no período n.

$$EBE....(n) - \sum (pp) E(pp)....(n) = 0.$$

$$. pp=H1,H2,....,H9,H0$$

- . EST(pp)..(n) - Balanço de estoque e produção final do óleo combustível do tipo pp (pp=F1,F2,...,F9,F0 H1,H2,...,H9,H0), no período n.

$$PF(pp)....(n) + E(pp)....(n-1) - E(pp)....(n) +$$

$$I(pp)....(n) - X(pp)....(n) - M(pp)....(n) = 0.$$

As equações de balanço de oc's em tanque são do tipo:

produção (tanque) +	=	mercado	+
estoque inicial +		estoque final	+
importação		exportação	

b.1.

VISCOSIDADE DO ÓLEO COMBUSTÍVEL

- . $QLV.(pp).(n) =$ Qualidade (viscosidade) do óleo combustível ATE do tipo pp ($pp=F1,F2,...,F9,F0$), no período n.

$$\begin{aligned} \sum (oo) \quad DRV(oo)(pp)(n) & * imRV(oo) & + \\ DQ1.(pp).(n) & * imQS + DDL.(pp).(n) * imCL & + \\ DDI.(pp).(n) & * imDC & - \\ 1. / dens(pp) * PF(pp)...(n) & * im(pp) & = 0. \end{aligned}$$

- . $inmis$ é o índice de mistura CHEVRON.
- . $imRV$ é dado na Tabela B16 - PETROL
- . $imQS$, $imCL$ e $imDC$ são dados na TABELA B8 - DERV2.

- . $QLV.(pp).(n) =$ Qualidade (viscosidade) do óleo combustível BTE do tipo pp ($pp=H1,H2,...,H9,H0$), no período n.

$$\begin{aligned} \sum (oo) \quad DRV(oo)(pp)(n) & * imRV(oo) & + \\ DQ1.(pp).(n) & * imQS & - \\ 1. / dens(pp) * PF(pp)...(n) & * im(pp) & = 0. \end{aligned}$$

- . $imRV$ é dado na Tabela B16 - PETROL
- . $imQS$ é dado na TABELA B8 - DERV2.

DESCRIÇÃO: A produção básica de resíduo de vácuo (RV), obtida na unidade de destilação a vácuo (DV) é destinada para a cimento asfáltico (CA) de petróleo. Esta campanha corresponde à operação CAP ($p=C$). O cimento asfáltico (CA) pode ser vendido ao mercado ou ainda servir de matéria-prima para a produção de asfalto diluído de petróleo (A1 e A3). O asfalto diluído de petróleo A1 utiliza como diluente o querosene (Q2). Já, o asfalto diluído de petróleo A3 utiliza como diluente a nafta pesada (Q3).

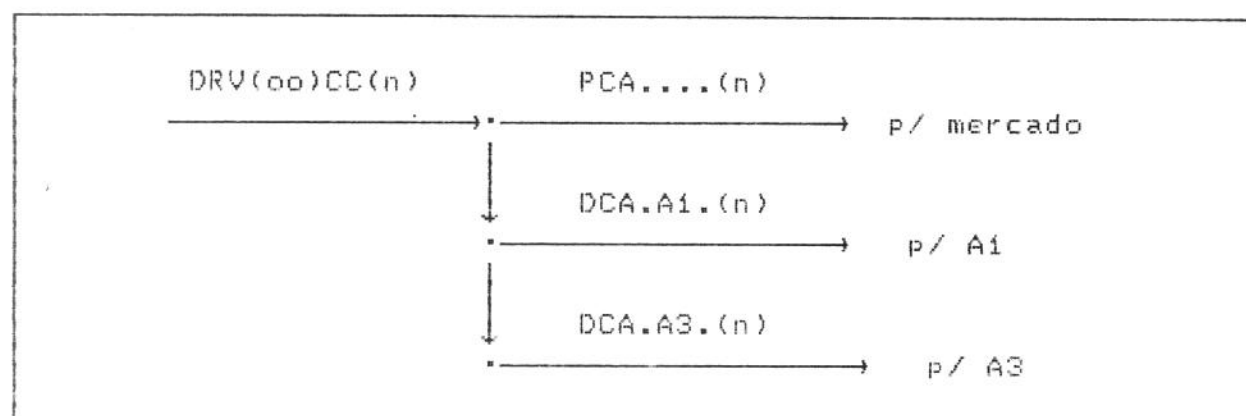


Figura 3.21

b.

EQUACIONAMENTO

- . $BL1.CA.(n) - \frac{\text{Primeiro balanço de CA, a partir do petróleo oo, na operação CAP (p=C), no período } \underline{n}}{}$

$$\sum (oo) DRV(oo)CC(n) - \sum (pp) DCA.(pp).(n) - PCA....(n) = 0.$$

$$. pp=A1,A3$$

A equação de balanço de CA é do tipo:

degradação (RV) = produção (tanque) + degradações (CA)
--

- . $BL1.A1.(n) - \frac{\text{Primeiro balanço de asfalto diluído de petróleo (A1), no período } \underline{n}}{}$

$$DQ2.A1.(n) + DCA.A1.(n) - PA1....(n) = 0$$

A equação de balanço de A1 é do tipo:

$\sum$ degradações = produção (tanque)
--

- . $BL1.A3.(n) - \frac{\text{Primeiro balanço de asfalto diluído de petróleo (A3), no período } \underline{n}}{}$

$$DQ3.A3.(n) + DCA.A3.(n) - PA3....(n) = 0$$

- $EST(pp)..(n)$ - Balanço de estoque e produção final do derivado pp, ($pp=A1,A3,CA$), no período n.

$$P(pp)....(n) + I(pp)....(n) + E(pp)....(n-1) -$$

$$E(pp)....(n) - X(pp)....(n) - M(pp)....(n) = 0.$$

As equações de balanço de pp's em tanque são do tipo:

produção	+	=	mercado	+
estoque inicial	+		estoque final	+
importação			exportação	

- $QLCA(pp).(n)$ - Qualidade (quantidade CA na composição) de asfalto diluído de petróleo do tipo pp ($pp=A1,A3$), no período n.

$$DCA.(pp).(n) - coef(CA,pp) * P(pp)....(n) = 0.$$

- coef é dado na TABELA B2 - ASFALT.

3.4.15

CONSUMO PRÓPRIO

a.

EQUACIONAMENTO

A necessidade de resíduo de vácuo (RV) para consumo próprio (CP) na refinaria, em toneladas de óleo combustível de refinaria (OCREF) equivalentes, em determinado período da corrida do modelo, é dada por:

CONSUMO PRÓPRIO	=	ENERGIA REQUERIDA	-	ENERGIA GERADA
--------------------	---	----------------------	---	-------------------

A energia requerida é calculada a partir do consumo específico aplicado às cargas das unidades. O consumo específico das unidades é dado na TABLE B4 - CONSUM.

A energia gerada é aquela produzida pelas unidades de craqueamento catalítico, na forma de gás combustível (GC) e coque exportado (CQ). O coque exportado é aquele coque disponível que não é consumido na unidade de craqueamento catalítico.

Para se calcular a quantidade de resíduo de vácuo (RV) necessário para consumo próprio é utilizado o poder calorífico inferior (PCI) dos produtos:

PRODUTO	PCI (kcal/kg)
GC (gás combustível)	10.500
RV (resíduo de vácuo)	9.600
CQ (coque)	8.200

Tabela 3.1

b.

EQUACIONAMENTO

- BL1.CP.(n) - Primeiro balanço de consumo próprio (CP) (Soma das degradações de resíduo de vácuo (RV) para consumo próprio (CP)), no período n.

$$\sum (oo)(p) \text{ DRV}(oo)(p)P(n) - PCP....(n) = 0$$

$$p = A, B, C$$

Esta equação de balanço de CP é do tipo:

$\sum \text{degradações (RV)} = \text{produção (CP)}$

- BL2.CP.(n) - Segundo balanço de consumo próprio (CP), no período n.

$$PCP....(n) - MCP....(n) = 0.$$

Esta equação de balanço de CP é do tipo:

$\text{produção (CP)} = \text{consumo próprio}$

- . BL3.CP.(n) - (Terceiro balanço de CP) Quantidade de resíduo de vácuo (RV), em toneladas de óleo combustível de refinaria (OCREF) equivalentes, necessário para consumo próprio, no período n.

$$\begin{aligned}
 \sum (um) \quad (CP, (um)) & * C(um)....(n) & + \\
 coef(CP, HD) & * (\sum (oo) DGL(oo)HD(n)) & + \\
 coef(CP, H1) & * CH1.QJ.(n) & - \\
 coef(CP, HD) & * \sum (x) CHD.DC(x)(n) & - \\
 B03.CQ.(n) & * 8200. / 9880. & - \\
 B13.CQ.(n) & * 8200. / 9880. & - \\
 \sum (un) B(un).GC.(n) & * 10500. / 9880. & - \\
 MCP....(n) & = & 0
 \end{aligned}$$

- . un=03,13
- . um=03,13,DA,DV
- . coef é dado na TABELA B4 - CONSUM.
- . x=A,B

Esta equação de balanço de CP é do tipo:

consumo próprio	=	$\sum$ taxa consumo * carga	-
		produção gás combustível	-
		produção coque exportado	

3.4.16 ESTOQUES CONJUNTOS DOS PRODUTOS $xxyy$ ($xxyy=AEBE, AEDL, AEGP, DSGP, RVGP, GADS, GAGX, NFFT, NQGX$)

a. EQUACIONAMENTO

. $EAE(xx)_{..}(n) - \underline{\text{Estoque conjunto de \u00f3leos combust\u00edveis ATE (AE)}}$
+ produto xx ($xx=BE,DL$), no per\u00edodo n .

$$EAE_{....}(n) + E(xx)_{....}(n) - EAE(xx)_{....}(n) = 0.$$

. $E(yy)GP_{..}(n) - \underline{\text{Estoque conjunto do produto yy (yy=AE,DS,RV) +}}$
gas\u00f3leo pesado (GP), no per\u00edodo n .

$$EGP_{.....}(n) + E(yy)_{....}(n) - E(yy)GP_{..}(n) = 0.$$

. $EGA(zz)_{..}(n) - \underline{\text{Estoque conjunto de gasolina normal (GA) e do}}$
produto zz ($zz=DS,GX$), no per\u00edodo n .

$$EGA_{....}(n) + E(zz)_{....}(n) - EGA(zz)_{..}(n) = 0.$$

. $ENFFT_{..}(n) - \underline{\text{Estoque de nafta total (NFFT)}}$, no per\u00edodo n .

$$\sum E(xx)_{....}(n) - ENFFT_{..}(n) = 0.$$

. $xx=NC,NL$

. $ENQGX_{..}(n) - \underline{\text{Estoque conjunto de nafta petroqu\u00edmica NQ + gasolina}}$
de exporta\u00e7\u00e3o GX ($NQGX$), no per\u00edodo n .

$$\sum (xx) E(xx)_{....}(n) - ENQGX_{..}(n) = 0.$$

. $xx=NQ,GX$

3.4.17 FUNÇÃO-OBJETIVO (F.O.)

a. MODELAMENTO

Para seleção do ELENCO de petróleo (FO1), o modelo deverá escolher dentre petróleos ofertados na TABLE B16 - PETROL, a mistura ótima que maximiza para a REGAP o retorno em US\$, isto é a "margem de refino".

A FO1 consiste na maximização de parcelas correspondentes a REALIZAÇÃO menos CUSTOS. A REALIZAÇÃO é formada pelo valor da entrega ao mercado interno + valor da exportação + valor dos estoques no final dos períodos. Os CUSTOS * são constituídos pelo custo da aquisição do petróleo + custo de importação de derivados + custo do estoque inicial + custo das penalizações. As PENALIZAÇÕES são as que incidem sobre o tratamento de diesel na unidade de hidrodessulfurização HDS, sobre o "bypass" do resíduo atmosférico (RA) na Unidade de vácuo (DV), na operação p=F.

(*) Obs: não entram os custos das operações de refino.

b.

EQUACIONAMENTO

$$\begin{array}{llll}
 \text{FUNOBJ1} = & \text{preço (pp)} * M(\text{pp})....(n) & + & \\
 & \text{preço(pp)} * X(\text{pp})....(n) & + & \\
 & \text{preço(oo)} * \text{pn11} * \sum (t) E(\text{oo})....(n) & + & \text{REALIZAÇÃO (+)} \\
 & \text{preço(pp)} * \text{pn11} * E(\text{pp})....(n) & - & \\
 & \text{preço (oo)} * R(\text{oo})....(n) & - & \\
 & \text{preço(oo)} * \sum (t) E(\text{oo})....(n-1) & - & \\
 & \text{preço(p)} * E(\text{pp})....(n-1) & - & \text{CUSTOS (-)} \\
 & \text{preço (pp)} * \text{pn12} * I(\text{pp})....(n) & - & \\
 & \text{custo (HDS)} * \text{CHD}....(n) & - & \\
 & \text{preço(ds)} * \text{DRA(oo)RA}(n) & - & \\
 & \text{preço(ds)} * \text{DRA(oo)RV}(n) & - & \text{PENALIZAÇÕES (-)}
 \end{array}$$

. pn11 = .95 (penalização1)

. pn12 = 1.05 (penalização2)

3.5

LISTAGEM DAS VARIÁVEIS DO MODELO

a. Produções Básicas:

Para cada período, definiu-se a variável:

BDA.(pp).(n)	-	produção básica do derivado pp (pp=LP,NL,NP), na unidade de destilação atmosférica (DA).
BDADS(oo)(n)	-	produção básica do diesel de destilação direta (DS) = diesel leve BTE + diesel pesado BTE + diesel leve ATE (DS), a partir do petróleo do tipo oo, na unidade de destilação atmosférica (DA).
BDADP(oo)(n)	-	produção básica do derivado diesel pesado (DP), a partir petróleo do tipo oo, de alto teor de enxofre (ATE), na unidade de destilação atmosférica (DA).
BDANP(oo)(n)	-	produção básica do derivado nafta pesada (NP), a partir do petróleo do tipo oo, na unidade de destilação atmosférica (DA).
BRA(oo)(p).(n)	-	produção básica de resíduo atmosférico (RA), a partir do petróleo oo, na operação p (p=A,B,C,F).
BGL(oo)(p).(n)	-	produção básica do produto gasóleo leve (GL), a partir do petróleo do tipo oo, na unidade de destilação a vácuo (DV), na operação p.
BGP(oo)(p).(N)	-	produção básica do produto gasóleo pesado (GP), a partir do petróleo do tipo oo, na unidade de destilação a vácuo (DV), na operação p.
BRV(oo)(p).(n)	-	produção básica do produto resíduo de vácuo (RV), a partir do petróleo do tipo oo, na unidade de destilação a vácuo (DV), na operação p.
B(un).(pp).(n)	-	produção básica do produto pp (pp=LP, NC, CL, EX, GC, CQ), na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC) un (un=03,13).
B(un).DC(x)(n)	-	produção básica do produto diesel craqueado (DC), a partir de uma carga do tipo (x)TE (x=A,B), na unidade de craqueamento catalítico fluido un (un=03,13).
BH1.(pp).(n)	-	produção básica do produto pp (pp=GJ,EX), na unidade de hidrodessulfurização H1.
BHD.EX.(n)	-	produção básica do produto enxofre (EX), na unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3).

b. Carga nas Unidades:

Para cada período, definiu-se a variável:

- CDA....(n) - carga total nas unidades de destilação atmosférica (DA).
- CDA(oo)(p).(n) - carga de petróleo do tipo oo, nas unidades de destilação atmosférica (DA), na operação p.
- CDV....(n) - carga total nas unidades de destilação a vácuo (DV).
- CDV(oo)(p).(n) - carga de resíduo atmosférico (RA), na unidade de destilação a vácuo (DV), na operação p.
- C(un)....(n) - carga total de gasóleo pesado (GP) + resíduo de vácuo (RV), na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC) un (un=03,13).
- C..GP(x).(n) - carga total de gasóleo pesado (GP) do tipo (x)TE (x=A,B), nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).
- C..RVB.(n) - Carga total de resíduo de vácuo (RV) de baixo teor de enxofre (BTE), nas unidades de craqueamento catalítico fluido (FCC).
- C(un)GP(x).(n) - carga total de gasóleo pesado (GP) do tipo (x)TE (x=A,B), na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC) un (un=03,13).
- C(un)RVB.(n) - carga total de resíduo de vácuo (RV) de baixo teor de enxofre (BTE), na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC) un (un=03,13).
- C(un)G(x)(nn)(n) - carga de gasóleo pesado (GP) do tipo (x)TE, (x=A, B), na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC) un (un=03,13), no nível nn% (nn=0 a 25) de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga.
- C(un)RV(nn)(n) - carga de resíduo de vácuo (RV) de baixo teor de enxofre (BTE), na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC) un (un=03,13), no nível de nn% (nn=0 a 25) de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga.
- C(un)(nn)(x).(n) - carga de gasóleo pesado (GP) + resíduo de vácuo (RV) do tipo (x)TE (x=A,B), na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC) un (un=03,13), no nível nn% (nn=0 a 25) de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga.

CH1.NL.(n)	-	carga de nafta leve (NL) na unidade de hidrodessulfurização H1.
CH1.QJ.(n)	-	carga de querosene de aviação (QJ) na unidade de hidrodessulfurização H1.
CH1QJ(oo)(n)	-	carga de querosene de aviação (QJ), com origem a partir do petróleo oo, na unidade de hidrodessulfurização H1.
CHD.NL.(n)	-	carga de nafta leve (NL) na unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3).
CHDNLDC(n)	-	carga de nafta leve (NL) na unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3), consumido para tratar diesel craqueado (DC).
CHDNLGL(N)	-	carga de nafta leve (NL) na unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3), consumido para tratar gasóleo leve de vácuo (GL).
CHD....n	-	carga total na unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3).
CHD.DC(x)(n)	-	carga de diesel craqueado (DC) do tipo (x)TE (x=A,B), na unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3).

c. Degradações:

Para cada período, definiu-se a variável:

DRA(oo)F.(n)	-	degradação de resíduo atmosférico (RA), de origem a partir do petróleo do tipo oo, para craqueamento na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC), na operação p=F.
DRA(oo)GP(n)	-	degradação de resíduo atmosférico (RA), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para gasóleo pesado (GP), como "by-pass" na unidade de destilação a vácuo (DV).
DRA(oo)RV(n)	-	degradação de resíduo atmosférico (RA), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para resíduo de vácuo (RV), como "by-pass" na unidade de destilação a vácuo (DV).
DRV(oo)(p).(n)	-	degradação de resíduo de vácuo (RV), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para óleo combustível do tipo (p)TE (p=A,B).

c. Degradações (continuação):

DRV(oo)(pp)(n)		degradação de resíduo de vácuo (RV), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para óleo combustível do tipo pp (pp=F1,F2,...,H1,H2,...).
DRV(oo)CC(n)	-	degradação de resíduo de vácuo (RV), obtido a partir do petróleo do tipo oo, na operação p=C, para cimento asfáltico (CA).
DRV(oo)FC(n)	-	degradação de resíduo de vácuo (RV), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para craqueamento na unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC), na operação p=F.
DRV(oo)(p)P(n)	-	degradação de resíduo de vácuo (RV), a partir do petróleo do tipo oo, na operação p (p=A,B,C), para consumo próprio (CP).
DCA.(pp).(n)	-	degradação de cimento asfáltico (CA) para o produto pp (pp=A1,A3).
DCL.DL.(n)	-	degradação de óleo clarificado (CL) para diluente (DL).
DDC.DI(x)(n)	-	degradação de diesel craqueado (DC) do tipo (x)TE (x=A,B) para diluente (DI).
DDI.ATE(n)	-	degradação de diluente (DI) para óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE).
DDI.(pp).(n)	-	degradação de diluente (DI) para óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE) do tipo pp (pp=F1,F2,...,F9,F0).
DDL.ATE(n)	-	degradação de diluente (DL) para óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE).
DDL.(pp).(n)	-	degradação de diluente (DL) para óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE) do tipo pp (pp=F1,F2,...,F9,F0).
DDF(oo)HD(n)	-	degradação de diesel pesado (DP), obtido a partir do petróleo do tipo oo (de alto teor de enxofre (ATE)), para carga da unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3).
DGL(oo)DS(n)	-	degradação de gasóleo leve de vácuo (GL), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para diesel final (DS) (sem tratamento na HDS).
DGL(oo)HD(n)	-	degradação de gasóleo leve de vácuo (GL), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para carga na unidade de hidrodessulfurização (HD=H2+H3) (para diesel final (DS)).

c.

Degradações (continuação):

DLP.(pp).(n)	-	degradação (butanização) de GLP (LP) para gasolina pp (pp=GA,GX).
DNC.(pp).(n)	-	degradação de nafta craqueada (NC) para gasolina pp (pp=GA,GX).
DNL.(xx).(n)	-	degradação de NL para xx (xx=GA,GX,NQ,HD).
DNP(oo)DS(n)	-	degradação de nafta pesada (NP), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para diesel final (DS).
DNP(oo)H1(n)	-	degradação de nafta pesada (NP), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para carga na unidade de hidrodesulfurização H1 (para querosene de aviação (QJ)).
DNP.(pp).(n)	-	degradação de nafta pesada (NP) para o produto pp (pp=AG,DS,Q1,QJ,Q3).
DDS(oo)(pp)(n)	-	degradação de diesel DD (DS), obtido a partir do petróleo do tipo oo, para diluente pp (pp=Q1,Q2).
DQ1....(n)	-	degradação total de diluente (Q1) para diesel final (DS) e para óleo combustível.
DQ1.(xxx)(n)	-	degradação de diluente (Q1) para produto xxx (xxx=ATE,BTE).
DQ1.(pp).(n)	-	degradação de diluente (Q1) para óleo combustível do tipo pp (pp=F1,F2,...,H1,H2,...).
DQ2.A1.(n)	-	degradação de diluente (Q2) para asfalto diluído de petróleo (A1).
DQ3.A3.(n)	-	degradação de diluente (Q3) para asfalto diluído de petróleo (A3).

d. Estoques:

Definiu-se a variável:

E00.(oo).0	-	estoque inicial de petróleo oo.
E(pp)....0	-	estoque inicial do produto pp (pp=A1,A3,AG,CA,DI,DL,DS,GA,GP,GX,LP,NC,NL,NQ,Q1,Q2,Q3,QI,QJ,RV).
E(pp)....0	-	estoque inicial de óleo combustível do tipo pp (pp=F1,F2,...,F9,F0,H1,H2,...,H9,H0).
ENLHD..0	-	estoque inicial de nafta leve (NL) para consumo na unidade de hidrodessulfurização (H1+H2+H3).
ENFTT..0	-	estoque inicial do total de naftas (NFTT).

Para cada período, definiu-se a variável:

E.....(n)	-	estoque total de petróleo na REGAP.
E(oo)....(n)	-	estoque do petróleo oo na REGAP.
E(pp)....(n)	-	estoque do produto pp (pp=A1,A3,AG,CA,DI,DL,DS,GA,GP,GX,LP,NC,NL,NQ,Q1,Q2,Q3,QI,QJ,RV,AE,BE).
E(pp)....(n)	-	estoque de óleo combustível do tipo pp (pp=F1,F2,...,F9,F0,H1,H2,...,H9,H0).
ENLHD..(n)	-	estoque de nafta leve (NL) para consumo na unidade de hidrodessulfurização (H1+H2+H3).
ENFTT..(n)	-	estoque total de naftas (NFTT).
E(xxyy)..(n)	-	estoque conjunto de produtos xxyy (xxyy=RVGP,NQGX,AEGP,AEBE,AEDL,GAGX,GADS,DSGP).

e. Importação, Mercado, Produção, ...:

Para cada período, definiu-se a variável:

I(pp)....(n)	-	importação do produto pp (pp=A1,A3,AG,CA,DS,GA,GX,LP,NQ,QI,QJ,F1,F2,...,F9,F0,H1,H2,...,H9,H0).
M(pp)....(n)	-	mercado do produto pp (pp=LP,NQ,GA,GX,DS,QI,QJ,EX,CP,RR,A1,A3,AG,CA,F1,F2,...,F9,F0,H1,H2,...,H9,H0).

e.

Importação, Mercado, Produção, ...: (cont.)

PDS(oo)..(n)	-	produção de diesel de destilação direta (DS) = diesel leve BTE + diesel pesado BTE + diesel leve ATE, obtido a partir do petróleo do tipo oo.
PDP(oo)..(n)	-	produção de diesel pesado (DP), obtido a partir do petróleo do tipo oo, de alto teor de enxofre.
P(pp)....(n)	-	produção final do produto pp (pp=A1,A3,AG,CA,CP,DI,DL,DS,GA,GX,GP,LP,NC,NL,NQ,Q1,Q2,Q3,QI,QJ,RR,RV,EX,AE,BE).
PF(pp)...(n)	-	produção do óleo combustível do tipo pp (pp=F1,F2,...,F9,F0,H1,H2,...,H9,H0).
PHD.NL.(n)	-	produção de nafta leve (NL) para consumo na unidade de hidrodessulfurização (H1+H2+H3).
R.....(n)	-	recebimento total de petróleo na REGAP.
R(oo)....(n)	-	recebimento do petróleo oo na REGAP.
X(pp)....(n)	-	exportação do produto pp (pp=A1,A3,AG,CA,DS,GA,GX,LP,NQ,QI,QJ,F1,F2,...,F9,F0,H1,H2,...,H9,H0).

O sistema está constituído de um único processo que se subdivide em três fases:

- fase A - geração da matriz do problema
- fase B - otimização da função-objetivo
- fase C - geração de relatórios gerenciais

Na fase A, um programa gerador de matrizes Matrix Generator (MAGEN) * converte os dados do problema fornecidos pelo usuário em forma de TABELAS para o formato padrão de entrada de dados do MPSX. ** As tabelas de dados ficam em seção de ROSCOE do usuário do modelo e são acessados via terminal IBM/3278.

Na fase B, executada pelo programa MPSX, é feita a otimização da função-objetivo do problema de programação linear preparado na Fase A.

A geração dos relatórios gerenciais é feita na fase C, pelo MAGEN, a partir da solução ótima gerada pelo MPSX na fase B e gravada no arquivo MPSSOLUT.

(*) MAGEN: Matrix Generator, da Harverly Systems.

(**) MPSX: Mathematical Programming System Extende, da IBM.

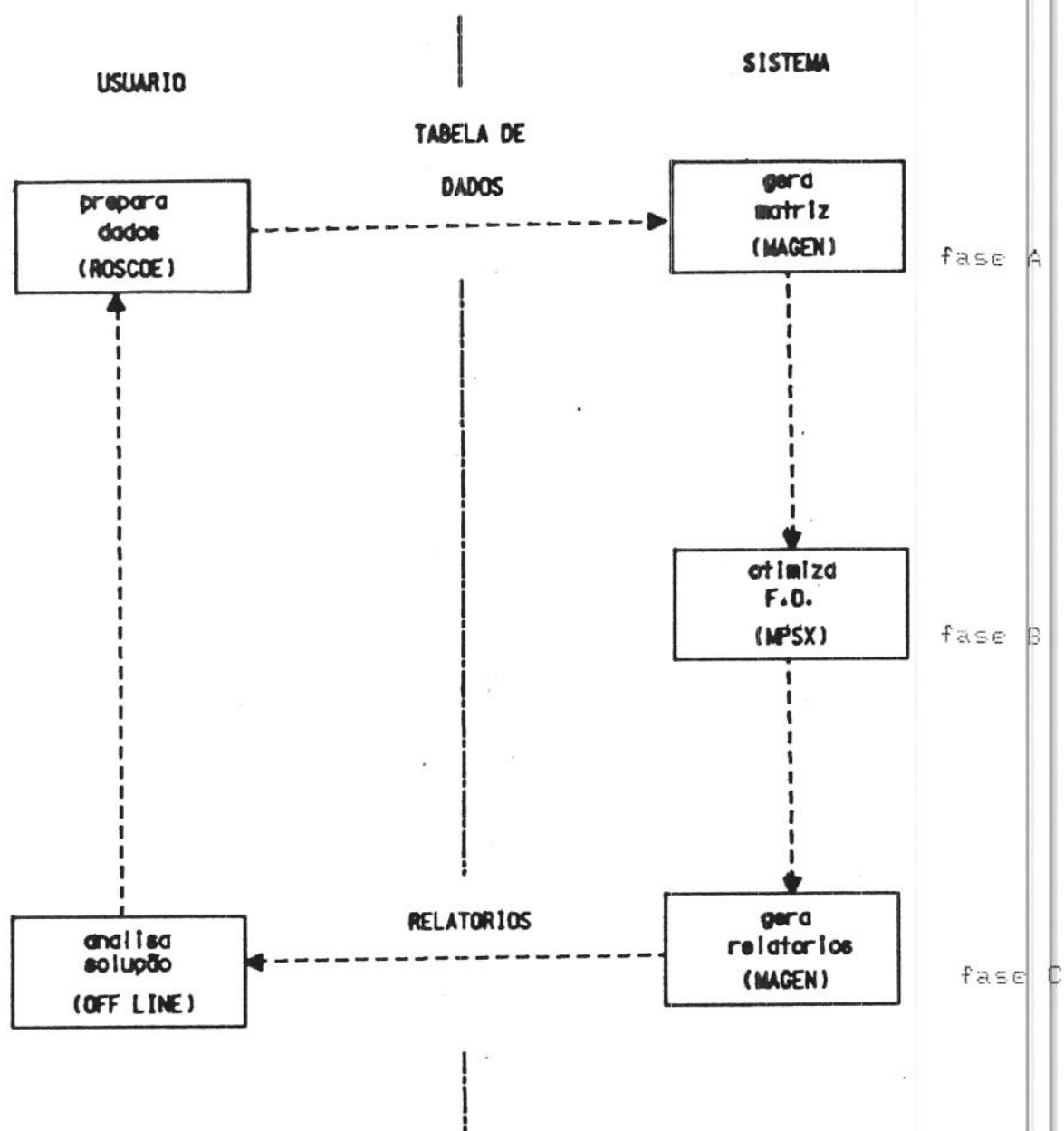


Figura 3.22

a. RELATÓRIO 01 - Acompanhamento de Petróleos

Fornece a situação do parque de tancagem de petróleo na REGAP, em cada período, informando para cada petróleo oo, o estoque de abertura, o volume do recebimento, o volume do processamento e o estoque final. (em mil m³).

b. RELATÓRIO 02 - Carga total nas unidades de destilação

Fornece a carga nas unidades de destilação, em cada período, por petróleo e por tipo de operação (ATE, BTE, CAP ou FCC).

Fornece ainda a carga média diária em cada período.
(em m³/dia).

c. RELATÓRIO 03 - Carga e Produção das UFCC's

Fornece, para cada período, a carga de gasóleo pesado (GP) e de resíduo de vácuo (RV) em cada unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC), agrupando em quatro faixas de percentual de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga.

Fornece também a produção agregada de cada unidade de craqueamento catalítico fluido (FCC), em cada período.

d. RELATÓRIO 04 - Degradações

Este relatório está dividido em duas partes: derivados leves e derivados pesados.

Fornece, para cada período, a produção básica, a degradação total e quantidades degradadas DE/PARA, para cada um dos derivados leves e pesados.

e. RELATÓRIO 05 - Produção e movimentação de derivados em tanques

Fornece, para cada período, o estoque de abertura, o volume produzido, o volume retirado e o estoque final de derivados.

Fornece ainda, para cada período, o volume a ser exportado ou a necessidade de importação de derivados.

f. RELATÓRIO 06 - Característica dos produtos

Este relatório está dividido em duas partes: derivados leves e óleo combustível.

O relatório para derivados leves fornece, para cada período, o volume produzido e as características da gasolina local (GA), da gasolina de exportação (GX) e do diesel final (DS).

Este relatório informa ainda o teor médio de enxofre (EX), % em peso, no diesel final (DS), em cada período.

O relatório para óleo combustível fornece, para cada período, para cada tipo de óleo combustível de alto teor de enxofre (ATE) e de baixo teor de enxofre (BTE), o volume produzido e o percentual de resíduo de vácuo (RV), diluente de diesel craqueado (DI), diluente de óleo clarificado (DL) e diluente de querosene (Q1) em sua composição.

g. RELATÓRIO 07 - Composição da função-objetivo

Fornece o valor da função objetivo e o valor das microparcelas que a compõe.

- .. receita de entrega ao mercado local, receita da exportação e valor do estoque final de petróleo e de derivados (+).
- .. custo de recebimento de petróleo, custo do estoque inicial de petróleo e derivados e custo das importações (-).
- .. custo das penalizações (-).

CAPÍTULO 4

O Programador de Produção da REGAP, i.e, o engenheiro de processo da refinaria, usuário do modelo, estabeleceu um conjunto de metas hierarquizadas, que seriam normalmente utilizadas no seu processo de decisão.

Na PAL, a primeira meta deve obter uma solução implementável, ou seja esta solução deve atender as restrições rígidas do problema. Caso a solução ótima para o nível de prioridade P_1 resultar em valor positivo, então não existe solução implementável para o problema, conforme descrito no Apêndice A.

Portanto, a primeira meta corresponde a um "teste de factibilidade". Se $a_1^* > 0$. $\longrightarrow$ não existe uma solução implementável para o problema. Caso contrário, otimiza-se hierarquicamente as metas especificadas pelo gerente da refinaria, descritas à seguir:

4.1 Identificação das Metas da Gerência

- .. Atender toda a demanda de diesel, em qualidade e em quantidade. Esta demanda tem uma característica de ser sazonal: o primeiro semestre apresenta uma demanda menor e o segundo semestre apresenta uma demanda maior.
- .. Atender a toda a demanda de cimento asfáltico, de asfalto diluído de petróleo e de óleo combustível.
- .. Operar as unidades de destilação atmosférica tão perto quanto possível da capacidade nominal.
- .. Operar as unidades de craqueamento catalítico fluido tão perto quanto possível da capacidade nominal.
- .. Atender as metas de produção para os demais produtos.
- .. Maximizar a margem de refino. Isto corresponde a fixar uma meta muito alta para a FO1, no problema original, e minimizar o desvio negativo.

Observe que no problema mono-critério tem de haver uma unidade de medida comum. No caso do nosso modelo base esta unidade de medida comum é "US\$ mil". Já na PALS, como em toda metodologia baseada em Programação Multi-critério, as metas estão expressas em termos de unidades de medida não homogêneas. Assim, na nossa implementação da PALS temos "mil m³" e "US\$ mil", indistintamente, já que cada meta é otimizada individualmente. Deste modo, pode-se obter maior aderência do modelo matemático ao mundo real.

4.2 Equacionamento das Metas Hierarquizadas

- .) META..1 - Se existe uma solução implementável esta deverá atender as restrições rígidas do problema. Na implementação feita para o modelo da REGAP não foram criadas variáveis de desvio para todas as restrições rígidas do modelo.

Variáveis de desvio foram criadas para:

.. variáveis canalizadas:

- recebimento máximo de cada tipo de petróleo
- vazão mínima/máxima na destilação atmosférica
- vazão mínima/máxima na destilação à vácuo
- vazão mínima/máxima no craqueamento catalítico
- vazão mínima/máxima na hidrodessulfurização
- vazão mínima/máxima no oleoduto de petróleo
- vazão mínima/máxima no oleoduto de claros
- estoque mínimo/máximo de petróleo
- estoque mínimo/máximo de conjunto de produtos
- disponibilidade máxima de nafta leve (NL) para geração de H₂ na unidade de hidrodessulfurização (HDS)

.. restrições de qualidade de produtos

- butanização máxima de gasolinas GA e GX
- degradação máxima de nafta leve na gasolina GA
- teor máximo de enxofre no diesel
- quantidade de cimento asfáltico em asfaltos diluídos A1 e A3
- índice de viscosidade de óleos combustíveis

.. restrições operacionais

- processamento do estoque inicial do petróleo oo
- disponibilidade de resíduo de vácuo para consumo próprio
- disponibilidade de gasóleo pesado ATE para carga na UFCC

- estoque máximo de resíduo de vácuo em relação ao estoque de gasóleo pesado para carga no craqueamento catalítico
- proporcionalidade do "bypass" de resíduo atmosférico para gasóleo pesado em relação ao bypass de resíduo atmosférico para resíduo de vácuo
- disponibilidade de nafta pesada de origem no petróleo oo para degradação para diesel e para produção de querosene de aviação

Portanto, na implementação feita pode resultar, eventualmente, uma solução infactível, caso alguma restrição para a qual não foram acrescentadas variáveis-desvio for violada.

A meta de prioridade P_1 fica:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } a_1 = & \sum (n) \quad (ZP.C.DA(n) + ZN.C.DA(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZP.C.DV(n) + ZN.C.DV(n)) + \\
 & \sum (un)(n) \quad (ZP.C.(un)(n) + ZN.C.(un)(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZP.C.H1(n) + ZN.C.H1(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZP.C.HD(n) + ZN.C.HD(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZP.OL1.(n) + ZP.OL2.(n)) + \\
 & \sum (oo)(n) \quad ZPOO.(oo)(n) + \\
 & \sum (oo)(n) \quad ZNCDA(oo)(n) + \\
 & \sum (oo)(n) \quad (ZPPRO(oo)(n) + ZNPRO(oo)(n)) + \\
 & \sum (oo)(n) \quad ZPNP(oo).(n) + \\
 & \sum (pp)(n) \quad (ZPIM.(pp)(n) + ZNIM.(pp)(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZPEX.DS.(n) + ZPH2.HD(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZP.....(n) + ZN.....(n)) + \\
 & \sum (n) \quad ZNRVCP.(n) + \\
 & \sum (qq) \quad (ZPCA(qq)(n) + ZNCA(qq)(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZPLPGA.(n) + ZPLPGX.(n)) + \\
 & \sum (n) \quad ZPNLGA.(n) + \\
 & \sum (n) \quad ZPESTRV(n) + \\
 & \sum (n) \quad ZNGPA..(n) + \\
 & \sum (xx)(n) \quad (ZPAE(xx).(n) + ZNAE(xx).(n)) + \\
 & \sum (yy)(n) \quad (ZP(yy)GP.(n) + ZN(yy)GP(n)) + \\
 & \sum (zz)(n) \quad (ZPGA(zz).(n) + ZNGA(zz).(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZPNFTT.(n) + ZNNFTT.(n)) + \\
 & \sum (n) \quad (ZPNQGX.(n) + ZNNQGX.(n))
 \end{aligned}$$

(*) Nota: A listagem das variáveis é descrita no item 4.3

- .) META..2 - As metas para a produção de diesel em cada período devem ser atendidas, i.e., os desvios positivos e negativos em relação as metas de produção devem ser minimizados.

$$\text{Min } a_2 = \sum (n) (ZPPP.DS(n) + ZNPP.DS(n))$$

- .) META..3 - As metas de produção de cimento asfáltico, asfaltos diluídos de petróleo e de óleos combustíveis devem ser atendidas, i.e., os desvios positivos e negativos em relação as metas de produção destes produtos devem ser minimizados.

$$\text{Min } a_3 = \sum (pp)(n) (ZPPP.(pp)(n) + ZNPP.(pp)(n)) + \sum (qq)(n) (ZPPP.(qq)(n) + ZNPP.(qq)(n))$$

onde, $pp = F1, F1, \dots, H1, H2, \dots$

$qq = CA, A1, A3$

- .) META..4 - As unidades de destilação atmosférica, U-001 e U-101 devem operar tão perto quanto possível da carga nominal. Nesse caso, os desvios positivos e negativos em relação a carga nominal devem ser minimizados.

$$\text{Min } a_4 = \sum (n) (ZPCNMDA(n) + ZNCNMDA(n))$$

- .) META..5 - As unidades de craqueamento catalítico fluido, U-003 e U-103 devem operar tão perto quanto possível da carga nominal. Nesse caso, os desvios positivos e negativos em relação a carga nominal devem ser minimizados.

$$\text{Min } a_5 = \sum (un)(n) (ZPCNM(un)(n) + ZNCNM(un)(n))$$

- ..) META..6 - As metas de produção para os demais produtos finais pp (pp=LP,NQ,AG,QI,QJ,GA,GX,RR) e enxofre EX devem ser atendidas, i.e., os desvios positivos e negativos em relação a produção destes produtos devem ser minimizados.

$$\text{Min } a_6 = \sum(n) (ZPPP.(pp)(n) + ZNPP.(pp)(n) + ZNPP.EX(n))$$

- ..) META..7 - Deve-se maximizar a margem de refino, ou seja, receita menos despesa conforme expresso pela função-objetivo 1 (FO1). Assim, fixa-se um valor muito alto para esta meta e minimiza-se o desvio negativo em relação a este valor.

$$\text{Min } a_7 = ZNFO.1..$$

4.3 Listagem das Variáveis-Desvio a partir de Metas

Para cada período, definiu-se o desvio:

- ..) ZP.....(n) - positivo na sub-meta de estoque total máximo.
- ..) ZN.....(n) - negativo na sub-meta de estoque total mínimo.
- ..) ZP.C.DA(n) - positivo na sub-meta de vazão máxima da carga na destilação atmosférica.
- ..) ZN.C.DA(n) - negativo da sub-meta de vazão mínima da carga na destilação atmosférica.
- ..) ZPCNMDA(n) - positivo da meta de operação na carga nominal nas unidades de destilação atmosférica.
- ..) ZNCNMDA(n) - negativo da meta de operação na carga nominal nas unidades de destilação atmosférica.

- ..) ZNCDA(oo)(n) - negativo na restrição de processar o estoque inicial do petróleo oo.
- ..) ZP.C.DV(n) - positivo da sub-meta de vazão máxima na destilação à vácuo.
- ..) ZN.C.DV(n) - negativo da sub-meta de vazão mínima na destilação à vácuo.
- ..) ZP.C.(un)(n) - positivo da sub-meta de vazão máxima na carga das unidades de craqueamento catalítico fluído un (un=03,13).
- ..) ZN.C.(un)(n) - negativo da sub-meta de vazão mínima na carga das unidades de craqueamento catalítico fluído un (un=03,13).
- ..) ZPCNM(un)(n) - positivo da meta de operação na carga nominal nas unidades de craqueamento catalítico.
- ..) ZNCNM(un)(n) - negativo da meta de operação na carga nominal nas unidades de craqueamento catalítico.
- ..) ZP.C.H1(n) - positivo da sub-meta de vazão máxima na hidrodessulfurização H1.
- ..) ZN.C.H1(n) - negativo da sub-meta de vazão mínima na hidrodessulfurização H1.
- ..) ZP.C.HD(n) - positivo da sub-meta de vazão máxima na hidrodessulfurização HD.
- ..) ZN.C.HD(n) - negativo da sub-meta de vazão mínima na hidrodessulfurização HD.
- ..) ZPCA(pp).(n) - positivo da restrição de quantidade de cimento asfáltico CA no produto pp (pp=A1,A3).
- ..) ZNCA(pp).(n) - negativo da restrição de quantidade de cimento asfáltico CA no produto pp (pp=A1, A3).
- ..) ZPAE(xx).(n) - positivo do limite máximo de estoque conjunto conjunto AE(xx).

- ..) ZNAE(xx).(n) - negativo do limite mínimo de estoque conjunto AE(xx).
- ..) ZPGA(zz).(n) - positivo do limite máximo de estoque conjunto GA(zz).
- ..) ZNGA(zz).(n) - negativo do limite mínimo de estoque conjunto GA(zz).
- ..) ZPNFTT.(n) - positivo do limite máximo de estoque conjunto de naftas.
- ..) ZNNFTT.(n) - negativo do limite mínimo de estoque conjunto de naftas.
- ..) ZPNQGX..(n) - positivo do limite máximo de estoque conjunto NQGX.
- ..) ZNNQGX..(n) - negativo do limite mínimo de estoque conjunto NQGX.
- ..) ZP(yy)GP.(n) - positivo do limite máximo de estoque conjunto (yy)GP.
- ..) ZN(yy)GP.(n) - negativo do limite mínimo de estoque conjunto (yy)GP.
- ..) ZNCGPA.(n) - negativo da restrição de disponibilidade de gásóleo pesado do tipo alto teor de enxofre ATE para carga na unidade de craqueamento catalítico fluído.
- ..) ZPESTRV(n) - positivo do limite máximo de resíduo de vácuo RV em relação ao estoque de gásóleo pesado GP para carga no craqueamento catalítico fluído.
- ..) ZPEX.DS(n) - positivo da sub-meta de mínimo teor de enxofre EX no diesel final DS.
- ..) ZNFO.1.. - negativo da meta de maximizar a margem de refino (= "receita - despesa" = FO1).

- ..) ZPH2.HD(n) - positivo da sub-meta de consumo máximo de nafta leve (NL) em unidades de hidrotratamento (HDS), no período n.
- ..) ZPIM.(pp)(n) - positivo da sub-meta de índice de mistura de viscosidade para o óleo combustível do tipo pp.
- ..) ZNIM.(pp)(n) - negativo da sub-meta de índice de mistura de viscosidade para o óleo combustível do tipo pp.
- ..) ZPLP(pp).(n) - positivo no limite de butanização (degradação de GLP) na gasolina pp (pp=GA,GX).
- ..) ZPNLGA.(n) - positivo no limite máximo de nafta leve (NL) na gasolina GA.
- ..) ZPNP(oo)(n) - positivo do limite máximo de disponibilidade de nafta pesada (NP) de origem no petróleo do tipo oo para produção de diesel final (DS) e produção de querosene de aviação (QJ).
- ..) ZP.OL1.(n) - positivo na sub-meta de vazão máxima no oleoduto de petróleo.
- ..) ZP.OL2.(n) - positivo na sub-meta de vazão máxima no oleoduto de claros.
- ..) ZPOO.(oo)(n) - positivo da sub-meta de recebimento máximo de petróleo do tipo oo.
- ..) ZNOO.(oo)(n) - negativo da sub-meta de recebimento mínimo de petróleo do tipo oo.
- ..) ZPPP.(pp)(n) - positivo da sub-meta de atendimento da demanda do mercado para o produto pp (pp=DS,EX,F1,F2,...,H1,H2,...,CA,A1,A3,LP,NQ,AG,QI,QJ,GA,GX,RR).
- ..) ZNPP.(pp)(n) - negativo da sub-meta de atendimento da demanda do mercado para o produto pp (pp=DS,EX,F1,F2,...,H1,H2,...,CA,A1,A3,LP,NQ,AG,QI,QJ,GA,GX,RR).

- ..) ZPPRO(oo)(n) - positivo da restrição de proporcionalidade do "bypass" de resíduo atmosférico (RA) para gásóleo pesado (GP) em relação ao "bypass" de resíduo atmosférico (RA) para resíduo de vácuo (RV) na operação p=F.
- ..) ZNPRO(oo)(n) - negativo da restrição de proporcionalidade do "bypass" de RA para GP em relação ao "bypass" de RA para RV na operação p=F.
- ..) ZNRVCP.(n) - negativo da produção de resíduo de vácuo (RV) para atender ao consumo próprio (CP).

CAPÍTULO 5

5. GERENCIAMENTO DO MPSX PARA O USO DA PROGRAMAÇÃO POR METAS

5.1 Referência bibliográfica

Esta aplicação está baseada no trabalho editado por Ignizio [2]. Os autores relatam em seu trabalho que conseguiram automatizar completamente o algoritmo PALS : Programação Alvo Linear Sequencial,* utilizando o código MPSX. **

À primeira vista, prosseguem os autores, o desenvolvimento de um programa para implementação do PALS pode parecer trivial, ou direto. Mas, esse não é o caso quando se trata de usar um programa como o MPSX. O MPSX tem seu próprio compilador e requer uma grande quantidade de memória, descartando o seu uso como subrotina FORTRAN. Além disso, a implementação normal do MPSX é para uso em problema de Programação Linear (PL) convencional a ser resolvido de uma única vez.

Para se implementar o PALS com MPSX, Ignizio usa uma combinação de três subprogramas.

- (1) START (inicialização)
- (2) FORM (formulação do modelo)
- (3) SOLVE (o programa MPSX)

O subprograma START faz a leitura do conjunto de dados de entrada do usuário, consistindo essencialmente de dados associados com a formulação PAL. START grava, então, uma versão convertida desses dados de entrada em arquivo temporário em disco.

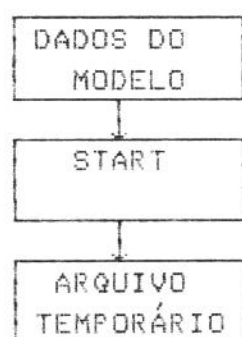


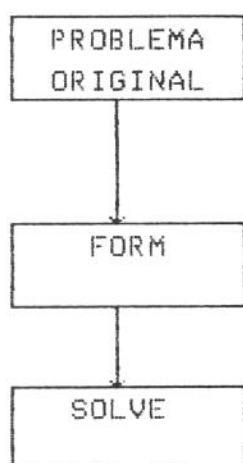
Fig. 5.1

(*) O algoritmo PALS está descrito no Apêndice A.

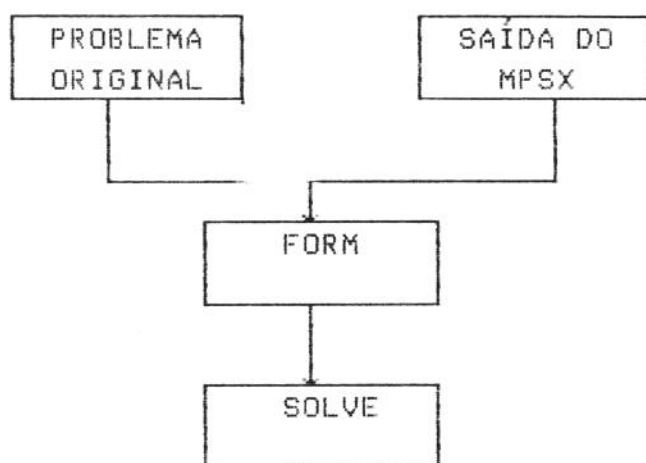
(**) MPSX : Mathematical Programming System Extended, da IBM, é um "software" para Programação Linear.

O segundo subprograma é o FORM cujo propósito principal é criar as formulações PL associadas a cada nível de prioridade no PALS. FORM, inicialmente, faz a leitura a partir de disco do primeiro PL na sequência de prioridade (correspondente ao PASSO 2 no algoritmo PALS, descrito no Apêndice A) e entra com este problema no subprograma SOLVE.

Para todas as demais prioridades, na sequência de resolução do algoritmo PALS, FORM monta o arquivo de saída do MPSX correspondente à solução para o nível de prioridade anterior, junto com os dados originais armazenados em disco, de modo a construir um novo problema PL (PASSO 3 do algoritmo PALS) e entra com este problema no subprograma SOLVE.



1. iteração
Fig. 5.2



demais iterações
Fig. 5.3

O terceiro subprograma é o SOLVE, que consiste do programa MPSX. O MPSX faz a leitura do arquivo criado por FORM e resolve o PL associado. A solução ótima do PL é gravada em disco, para ser lido pelo subprograma FORM na iteração seguinte. Na última iteração, a solução final é direcionada ao usuário.

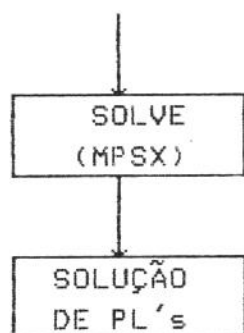


Fig. 5.4

É importante destacar que os autores do trabalho não forneceram maiores detalhes dos subprogramas usados, nem a estrutura interna deles. Como consequência, para a implementação para o modelo de planejamento da produção de refinaria, foi necessário buscar um caminho próprio, adequado ao ambiente de desenvolvimento disponível, no caso mainframe IBM 3090 - 200.

5.2 IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO PALS PARA O MODELO DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DA REGAP

Na implementação do algoritmo de Programação Alvo Linear Sequencial (PALS) para o modelo de planejamento da produção da REGAP - Refinaria Gabriel Passos (MG), localizada em Betim-MG, utilizamos basicamente três códigos de computador.

- (1) Gerador de Matrizes MAGEN, da Haverly Systems,
- (2) Compilador PL/I, da IBM,
- (3) MPSX - Mathematical Programming System Extended, da IBM.

O Gerador de Matrizes MAGEN, foi utilizado com três propósitos:

- .. tornar a entrada de dados amigável ao usuário. No MAGEN a entrada de dados é feita na forma de tabelas, formato mais natural para o usuário do que a forma tradicional do MPSX. As tabelas são editadas facilmente através de um terminal de computador IBM 3278.
- .. facilitar o trabalho de geração do equacionamento, assim como reduzir a necessidade de manutenção, aproveitando o recurso do MAGEN de gerar equações e/ou variáveis dinamicamente com base em classes e em tabelas de dados fornecidas pelo usuário.
- .. gerar relatórios no formato mais adequado ao usuário, em substituição ao relatório tradicional do MPSX.

Assim, na primeira etapa, o MAGEN faz a leitura dos dados do usuário em forma de tabelas e do equacionamento do problema armazenado em disco e gera um arquivo em disco com o formato no problema no formato requerido pelo programa MPSX.

Na última etapa, o MAGEN faz a leitura do arquivo contendo a solução ótima obtida através do MPSX e do arquivo contendo a definição dos relatórios e emitindo-os na forma desejada pelo usuário do modelo.

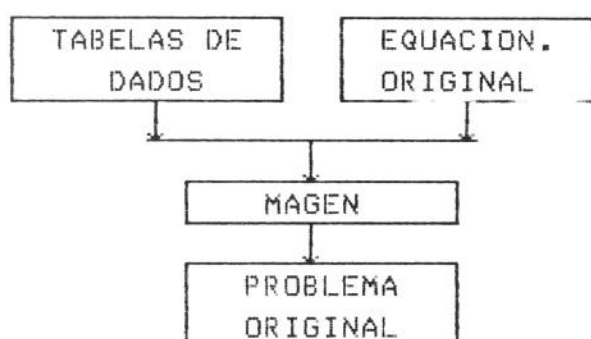


Fig. 5.5

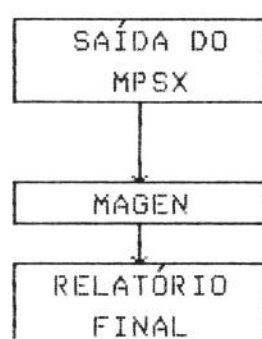


Fig. 5.6

O Compilador PL/I, da IBM, foi usado para se desenvolver um programa de controle que permite utilizar o MPSX de maneira iterativa. Nesse caso, foi utilizada a opção ECL - "Extended Control Language" do MPSX, que é totalmente compatível com a linguagem PL/I. Nesta opção, o MPSX torna disponível ao usuário todas as macros do sistema, assim como as células da região de comunicação que contém os parâmetros para a otimização. Estes parâmetros contêm o nome da função-objetivo a ser otimizada, a estratégia de otimização, etc. Nesse programa, escrito na linguagem ECL (PL/I), foi implementado a rotina que faz a geração da sequência de PL's correspondentes a cada nível de prioridade em múltiplas metas a serem atingidas. Foi também implementado a "regra de eliminação da coluna", utilizada por Ignizio.

O MPSX faz a leitura do arquivo criado pelo programa em PL/I e resolve o PL associado. A solução ótima do PL é gravada em disco para ser lido pelo programa de controle em PL/I na iteração seguinte. Na última iteração, a solução final é direcionada ao MAGEN, para que este crie o relatório para o usuário do modelo.

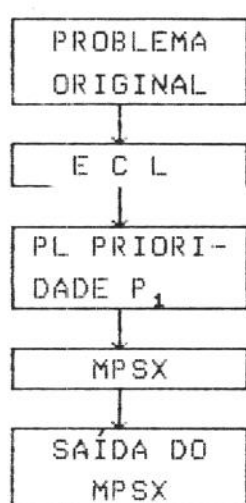


Fig. 5.7

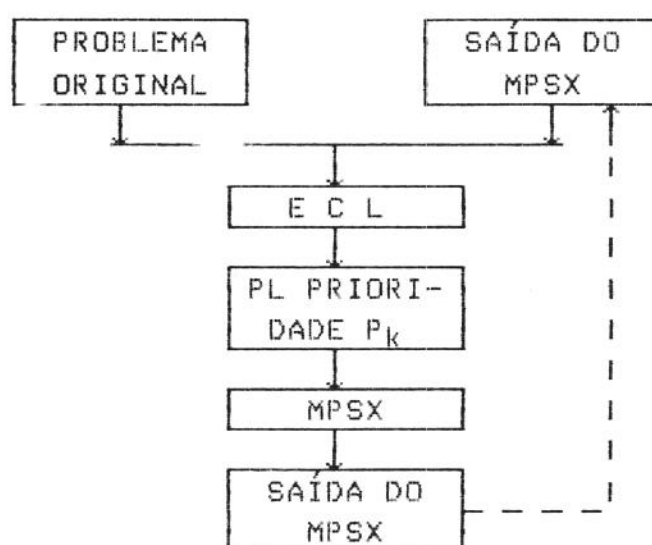


Fig. 5.8

À seguir, é descrito o diagrama de blocos ilustrando a interação entre estes três programas.

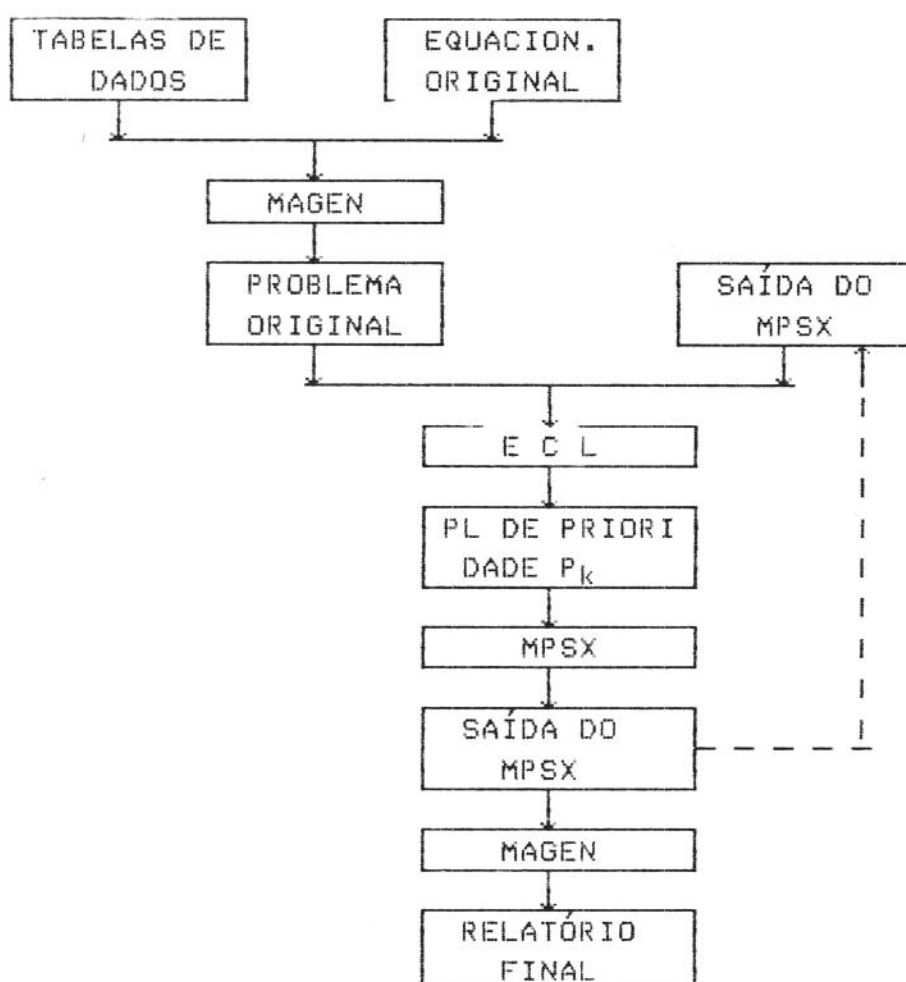


Fig. 5.9

CAPÍTULO 6

Os resultados computacionais são apresentados na Tabela 6.1, à seguir. Os testes foram efetuados em um 'mainframe' IBM-3090, da PETROBRÁS.

MODELO	DESCRIÇÃO	DIMENSÃO	TEMPO CPU
modelo base (PL)	2 períodos	809 restrições 2062 variáveis	17.4 seg
PALS c/ 7 metas	2 períodos	825 restrições 2363 variáveis	18.6 seg
PALS c/ 7 metas	6 períodos	2567 restrições 7259 variáveis	2 min 15 seg
PALS s/ "drop de colunas"	2 períodos 7 metas	825 restrições 2363 variáveis	18.6 seg

Tabela 6.1

O modelo de Programação Linear básico com horizonte de planejamento de dois (2) meses, ao qual fizemos a implementação da Programação Alvo possui 809 restrições e 2062 variáveis. Para este modelo básico, o tempo de CPU para otimização de uma única função - objetivo é de 17.4 seg para se atingir uma solução ótima.

Este modelo ao ser adaptado para a Programação Alvo apresentou 825 restrições e 2363 variáveis. O número de variáveis-desvio implementadas foi de 285. Para otimização de sete metas hierarquizadas pela gerência da refinaria para o problema, o tempo de CPU gasto foi de 18.6 seg. Este fato confirma que a aplicação deste algoritmo é bastante adequada.

As vantagens apresentadas pela implementação, além do ganho no tempo de CPU (18.6 seg, ao invés de $7 * 17.4$ seg), são uma maior confiabilidade nos dados e redução de arquivos com resultados intermediários. Além do evidente ganho em performance, podemos citar a facilidade de uso, a possibilidade de se analisar diferentes cenários rapidamente e uma interpretação mais abrangente dos resultados.

Para se avaliar o efeito da "regra da eliminação da coluna", citado por Ignizio [2], eliminamos a rotina correspondente do programa de controle ECL (PL/I), que gerencia o MPSX, e submetemos a mesma massa de dados do problema acima. O resultado foi praticamente o mesmo, com tempo de CPU gasto de 18.6 seg. Concluimos, então, que esta regra não foi importante para a redução verificada no tempo de CPU gasto na otimização.

Para se avaliar a performance desta implementação em modelos de grande porte, estendemos o modelo adaptado acima para um horizonte de planejamento de seis meses. Tal modelo apresentou 2567 restrições e 7259 variáveis. O número de variáveis-desvio implementadas foi de 853. Para otimização de sete metas gerenciais hierarquizadas pela gerencia da refinaria, o tempo de CPU foi de 2 min 15 seg.

Esta implementação da PALS : Programação Alvo Linear Sequencial foi elaborada para ser utilizada em conjunto com o modelo básico de Programação Linear. Por exemplo, caso o PL mono-critério obtenha uma solução ótima para um dado conjunto de restrições, então o modelo PALS não necessita ser rodado. Sua utilidade surge quando o PL mono-critério não consegue obter uma solução factível. O modelo PALS é capaz de dizer ao gerente se existe ou não uma solução fisicamente implementável, i.e. que não viole nenhuma das restrições rígidas. Em caso positivo, o modelo PALS permite ao gerente verificar quais e em quanto certas metas gerenciais devem ser relaxadas para que se obtenha uma solução factível para o problema mono-critério. No caso específico da REGAP, tivemos uma situação de PL infactível no planejamento para abril/maio 1990. Ao rodar o modelo PALS com estes mesmos dados, as funções-satisfação para as metas nas prioridades P_3 , P_4 , P_5 , P_6 e P_7 resultaram em valores não-nulos. Estes valores, com excessão das prioridades P_4 , P_5 e P_7 , indicam que as metas correspondentes a estes níveis devem ser relaxadas. As restrições correspondentes às metas P_4 e P_5 não estão no modelo mono-critério. Então, voltando ao modelo básico de PL com estas informações, obteve-se uma solução ótima. Concluiu-se com o uso do modelo PALS que, para o conjunto de dados informados, não era possível produzir todo o diesel desejado (prioridade P_3) em conjunto com demais produtos (prioridade P_6).

A razão por que não se aplica o modelo PALS quando se tem uma solução factível para o modelo básico mono-critério é que, nesse caso ao relaxar alguma meta desnecessariamente, o PALS pode conduzir a um sub-ótimo.

Embora teóricamente a PALS não possa apresentar uma solução infactível uma vez obtida solução nula para a meta de maior ordem hierárquica, conforme descrito no Apêndice A e em Ignizio [2], a implementação feita pode resultar em solução infactível, porque não criamos variáveis-desvio em todas as restrições do modelo. As variáveis-desvio criadas foram, além daquelas relacionadas às metas hierarquizadas pela gerência da refinaria, aquelas relacionadas às restrições rígidas mais importantes do modelo.

6.1 Implementação da PALS em Outro Modelo Base

Esta implementação pode ser feita em qualquer outro modelo base que utilize o MPSX como otimizador. Para isto, deve-se observar os seguintes passos:

PASSO 1: identificar as metas do gerente.

PASSO 2: incorporar desvios positivo e/ou negativo nas restrições que compõem as metas gerenciais identificadas, assim como nas restrições rígidas mais importantes do modelo. Para a identificação destas, é fundamental a sensibilidade do analista em relação ao modelo.

PASSO 3: alterar o equacionamento do problema usando a notação descrita à seguir:

metas do gerente	META..i (i=1, ..., K), onde K é o número de metas	
desvio negativo	ZNxxxxxx	xxxxxx identifica a restrição
desvio positivo	ZPxxxxxx	xxxxxx identifica a restrição

PASSO 4: ajustar os parâmetros (número de metas, declaração de estruturas de dados, etc) no programa de controle PL/I.

PASSO 5: incluir e/ou alterar tabelas de dados do modelo base mono-critério em função das alterações acima.

PASSO 6: executar o modelo PALS.

CAPÍTULO 7

São as seguintes, as melhorias que acreditamos poderão ser feitas com relação a nossa implementação:

- .. Análise paramétrica, conforme descrito em Ignizio [1].
- .. Implementação de interface que torne o programa interativo de modo que o gerente responsável pela decisão direcione as buscas durante o processo de otimização.
- .. Implementação do algoritmo em microcomputadores.
- .. A idéia de múltiplos objetivos hierarquizados não exclui a possibilidade de se aplicá-lo a um otimizador que percorra pontos interiores, como o Karmarkar.
- .. Automatização da geração de variáveis-desvio em todas as restrições, conforme descrito no Apêndice A e em Ignizio [2].
- .. Implementação de interface gráfica para apresentação dos resultados. O desenvolvimento de terminais e interfaces gráficos irá melhorar em muito a comunicação com o usuário do modelo.
- .. Implementação de variáveis 0/1 e de variáveis inteiras.
- .. Implementação de interface com Inteligência Artificial e com a Automação Industrial.
- .. Implementação da geração automática do plano de operações. Atualmente o gerente da refinaria elabora o plano com base nos resultados obtidos pelo modelo.

CAPÍTULO 8

- [1] - Ignizio, James. Linear Programming in Single and Multi-Objective Systems, Prentice-Hall, 1982.
- [2] - Ignizio, James et al. SLGP: Sequential Linear Goal Programming. Implementation via MPSX, Comput. & Ops. Res. Vol. 6, pp. 141-145, Pergamon Press, 1979, U.K.
- [3] - Ignizio, James. A Review of Goal Programming: A tool for Multiobjective Analysis. Journal of Op1. Res. Society, vol. 29, pp. 1109-1119, Pergamon Press, 1978, U.K.
- [4] - Lee, Sang M. Goal Programming For Decision Analysis. Auerbach, Philadelphia, 1972.
- [5] - Fernandes, Jurandir R. F. Notas de Aula Programação Multi-Objetivo, UNICAMP, 1988.
- [6] - Charnes, A., et Cooper, W.W. Management Models & Industrial Applications of Linear Programming, New York, John Wiley & Sons, 1961.
- [7] - Zeleny, Milan. Multiple Criteria Decision Making, McGraw Hill, 1982.
- [8] - Haimes, Yacov et al. Multiobjective Decision Making, Theory and Methodology, 1983, Elsevier Sci. Publ.
- [9] - Haimes, Yacov, Hierarchical Analysis of Water Resources Systems - Modeling and Optimization of Large-Scale Systems, McGraw Hill, 1977.
- [10] - Easton, Allan, Complex Managerial Decisions Involving Multiple Objectives, Robert Krieger Publ., 1973.
- [11] - Duckstein, Lucien et al, Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications, John Wiley, 1982.

- [12] - IBM Mathematical Programming System Extended/370 - Basic Reference Manual - SH19-1127-0.
- [13] - IBM Mathematical Programming System Extended/370 - Program Reference Manual - SH19-1095-3.
- [14] - IBM Mathematical Programming System Extended/370 - Control Language - SH19-1094-2.
- [15] - IBM Mathematical Programming System Extended/370 - Introduction to Extended Control Language - SH19-1147-0.
- [16] - IBM Mathematical Programming System Extended/370 - Logic Manual - LY19-1024-0.
- [17] - MAGEN Linear Programming System - User and Operating Manual Haverly Systems Inc.
- [18] - OS and DOS PL/I Language Reference Manual - GC 26-3977-1.
- [19] - OS PL/I Optimizing Compiler - Programmer's Guide - SC33-0006.
- [20] - OS PL/I Checkout Compiler - Programmer's Guide - SC33-0007.
- [21] - Relatório Final do Projeto SIMOR, Petrobrás/FCAV/USP, 1988.
- [22] - Petrobrás, Capacitação Tecnológica, 1986.
- [23] - Relatório Anual da Petrobrás, 1988.
- [24] - Relatório Anual da Petrobrás, 1989.
- [25] - Abadie, Elie. Processamento de Petróleo. PETROBRÁS/SEPES/DIVEN/SEN-Rio.
- [26] - Farah, Marco Antonio. Caracterização do Petróleo e seus Produtos - Parte 1 Combustíveis. PETROBRÁS/CENPES. Janeiro/1985.

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE OTIMIZAÇÃO E ENGENHARIA DE SISTEMAS

SHIMADA, LUCIO M.
TESE DE MESTRADO:
PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA REFINARIA DE
PETRÓLEO ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO POR METAS
APÊNDICE A:
O ALGORITMO PALS - PROGRAMAÇÃO ALVO LINEAR
SEQUENCIAL

APÊNDICE A - O ALGORITMO PALS, PROGRAMAÇÃO ALVO LINEAR SEQUENCIAL

TÍTULO DA TESE: PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA REFINARIA DE
PETRÓLEO ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO POR METAS

NOME DO ALUNO: LÚCIO MITIO SHIMADA

NÚMERO DE MATRÍCULA: 875513

NOME DO ORIENTADOR: PROF. DR. JURANDIR FERNANDO RIBEIRO FERNANDES

DATA DA PUBLICAÇÃO: SETEMBRO / 1990

Este Apêndice contém descrição do algoritmo PALS -
Programação Alvo Linear Sequencial.

Lúcio M. Shimada - Eng. Mecânico, pela UFRJ, 1977. É Analista de Pesquisa Operacional do Serviço de Tele-Informática - SETINF, da PETROBRÁS. Está lotado na Divisão de Operações no Estado de S. Paulo - DIVOP-SP, Av. Roque Petroni Jr., n. 1391 - Brooklin - 04707 - S. Paulo - SP.
tel. (011) 531-1611 R. 273 e 312
FAX (011) 61-0092
Telex 11-56787

ÍNDICE

- A1 - A PROGRAMAÇÃO ALVO LINEAR SEQUENCIAL - PALS
 - A1.1 - O Algoritmo PALS
 - A1.2 - Algumas características do Algoritmo PALS
 - A1.3 - Exemplo
- A2 - BIBLIOGRAFIA

Na Programação Alvo Linear Sequencial - PALS é feita a otimização sequencial de vários problemas de Programação Linear (PL's) convencionais, cada PL correspondendo a uma meta. A cada etapa é otimizada a função satisfação correspondente à meta situada naquela nível de prioridade. A função satisfação é do tipo $a = g(\eta, p)$, onde η e p são, respectivamente, os desvios negativo e positivo a partir de restrições que compõem as metas. Vamos apresentar inicialmente a idéia associada a este método, e a seguir vamos descrever o algoritmo em si.

Seja um problema de Programação Alvo Linear, com uma função satisfação constituída por k metas:

$$(a.1) \quad \left[\begin{array}{l} \text{Min } a = g(\eta, p) = (g_1(\eta, p), g_2(\eta, p), \dots, g_k(\eta, p)) \\ \text{s.a.} \quad f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i \quad \forall i, i = 1, \dots, m \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

Vamos considerar apenas a prioridade P_1 na equação (a.1) acima. Temos, então, um problema de Programação Linear mono-critério dado por:

$$(a.2) \quad \left[\begin{array}{l} \text{Min } a_1 = g_1(\eta, p) \\ \text{s.a.} \quad f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i \quad \forall i, i \in P_1 \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

Em (a.2) minimizamos o problema sujeito apenas às restrições situadas no nível de prioridade P_1 . Iremos designar a_1^* , a solução ótima para (a.2).

Vamos passar ao nível de prioridade P_2 . Agora, o problema de Programação Linear monocritério correspondente a este nível deverá estar sujeito a:

- .. todas as restrições situadas no nível de prioridade P_1 ,
- .. todas as restrições situadas no nível de prioridade P_2 ,
- .. mais uma restrição adicional, que assegure que qualquer solução para o nível P_2 não degrada o nível de atingimento já obtido no nível P_1 , i.e.:

$$g_1(\eta, p) = a_1^*$$

Então, a equação (a.2), para o nível P_2 , torna-se:

$$(a.3) \quad \left[\begin{array}{l} \text{Min } a_2 = g_2(\eta, p) \\ \text{s.a. } f_i(x) + \eta_i - p_i = b_i \quad \forall i, i \in P_1, P_2 \\ g_1(\eta, p) = a_1^* \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \right.$$

Vamos continuar este processo para os k níveis de prioridade. Então, a solução do problema de Programação Linear monocritério para o último nível de prioridade P_k é a solução para o problema de Programação Alvo Linear equivalente, cujo o modelo está descrito em (a.1).

O fluxograma correspondente ao algoritmo PALS está ilustrado na Figura A1, a seguir.

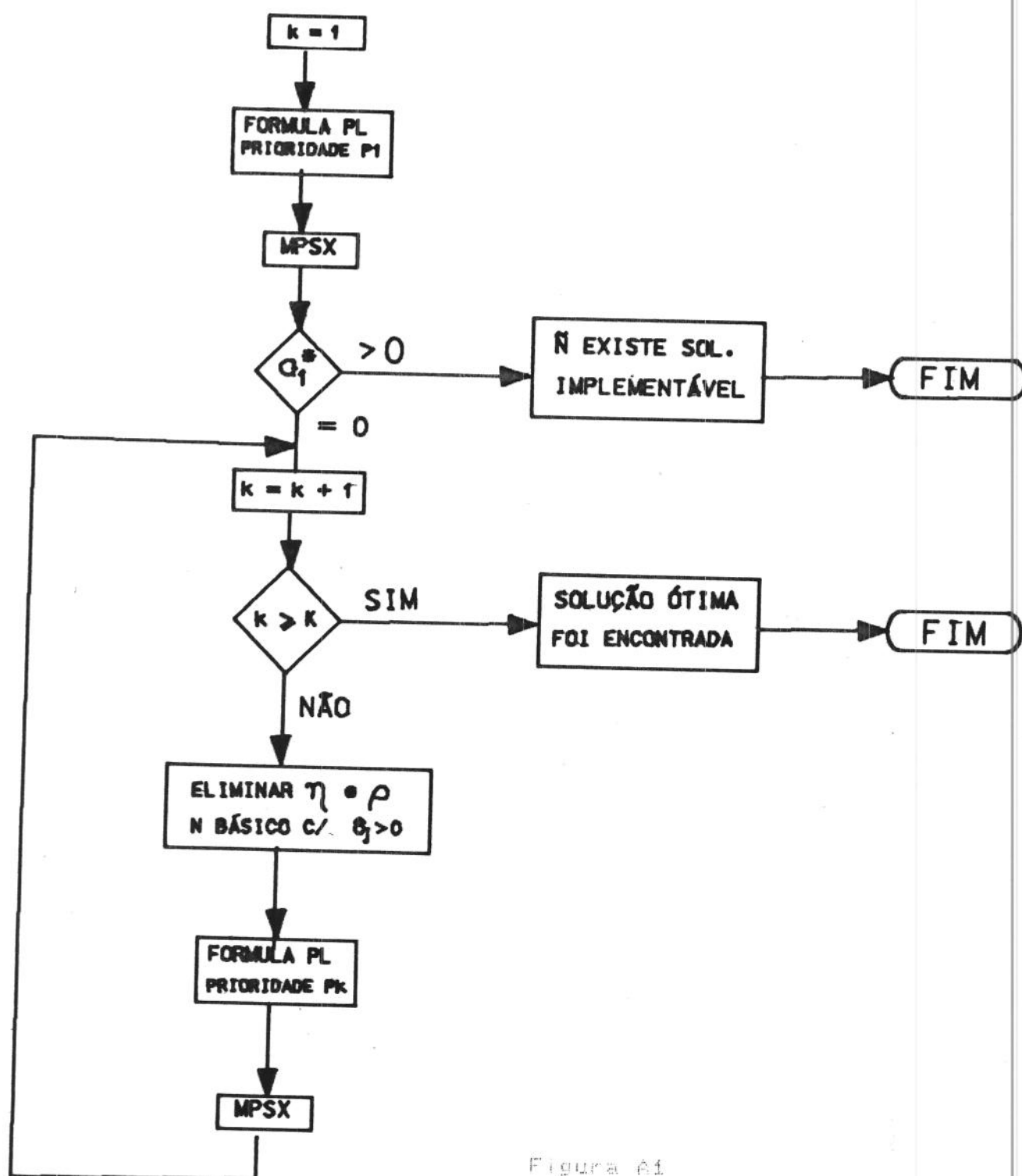


Figura A1

PASSO 1: Faça $k = 1$. (onde k é usado para representar o nível de prioridade em consideração e K é o número deles).

PASSO 2: Estabeleça a formulação matemática apenas para o nível de prioridade i (P_1), i.e:

$$\left[\begin{array}{ll} \text{Min } a_1 = g_1(n, p) \\ \text{s.a. } f_i(x) + n_i - p_i = b_i & \forall i, i \in P_1 \\ x, n, p \geq 0. \end{array} \right.$$

O problema resultante é simplesmente um PL convencional. Resolva-o pelo método simplex. Caso a solução para este PL seja não nula, PARE. Não existe solução implementável para este problema. Caso contrário, vá ao PASSO 3.

PASSO 3: Faça $k = k + 1$.
Se $k > K$, vá ao PASSO 7.

PASSO 4: Estabeleça o modelo monocritério equivalente para o próximo nível de prioridade (P_k). Este modelo é dado por:

$$\left[\begin{array}{ll} \text{Min } a_k = g_k(n, p) \\ \text{s.a. } f_i(x) + n_i - p_i = b_i & \forall i, i \in P_t, t = 1, 2, \dots, k. \\ g_s(n, p) = a_s^* & s = 1, 2, \dots, k-1. \\ x, n, p \geq 0. \end{array} \right.$$

PASSO 5: Resolva o problema monocritério associado ao nível de prioridade k . Seja a solução ótima para este problema dada por a_k^* , valor ótimo de $g_k(n, p)$.

PASSO 6: Vá ao PASSO 3.

PASSO 7: FIM. O vetor solução x^* , associado ao último modelo monocritério resolvido, é o vetor ótimo para o problema de programação Alvo Linear (PAL) original, e a função satisfação ótima é dada por:
 $a^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_K^*)$.

A1.2 - Algumas características do Algoritmo PALS

Na Programação Linear Sequencial - PALS trata-se sempre com o modelo linear monocritério, mais familiar. Portanto, sua implementação pode ser feita utilizando-se códigos comerciais que incorporam o Método Simplex, como o MPSX. *

Assim como no método simplex, o tableau PALS fornece diversas informações, como descrito a seguir:

- .. INFATIBILIDADE: Um modelo de Programação Alvo Linear (PAL) nunca pode se tornar infatível, desde que sejam introduzidas variáveis-desvio em todas as restrições situadas nos k níveis de prioridade do modelo.
- .. SOLUÇÃO NÃO-IMPLEMENTÁVEL: Se, na aplicação do PALS, a função satisfação a_1 para o nível de prioridade P_1 , toma um valor positivo, o problema não tem solução que satisfaça as restrições rígidas do problema. Entretanto, irá indicar a solução que está mais próxima de ser implementável e, através de análise podemos determinar quais restrições rígidas devem ser relaxadas para obtermos uma solução implementável.

(*) MPSX: Mathematical Programming System Extended, da IBM.

.. SOLUÇÃO ILIMITADA: Nenhum problema PAL pode ter solução ilimitada, pois temos níveis de atingimento associados a cada meta. Assim, na solução ótima ou satisfazemos estes níveis de atingimento, ou chegamos tão perto quanto possível deles.

.. SOLUÇÕES ÓTIMAS ALTERNATIVAS: A existência de soluções ótimas alternativas é detectada no quadro final para o último nível de prioridade, exatamente do mesmo modo que na Programação Linear convencional.

A.1.3 Exemplo

a. Exemplo a.1 - Seja o seguinte problema de PAL.

Encontre x de modo a minimizar lexicograficamente,

$$\left[\begin{array}{l} \text{Min Lex } a = ((p_1 + p_2), (n_3), (p_4), (n_1 + 1.5n_2) \\ \text{s.a. } \begin{array}{rcl} x_1 & + & n_1 - p_1 = 30. \\ & x_2 + n_2 - p_2 = 15. \\ 8.x_1 + 12.x_2 + n_3 - p_3 = 1000. \\ x_1 + 2.x_2 + n_4 - p_4 = 40. \\ x, n, p \geq 0. \end{array} \end{array} \right.$$

O PL para o primeiro nível de prioridade P_1 , fica:

$$(P_1) \left[\begin{array}{l} \text{Min } a_1 = p_1 + p_2 \\ \text{s.a. } \begin{array}{rcl} x_1 & + & n_1 - p_1 = 30. \\ & x_2 + n_2 - p_2 = 15. \\ x, n, p \geq 0. \end{array} \end{array} \right.$$

O quadro simplex inicial para este problema é mostrado na Fig. a.1.

x_1	x_2	n_1	n_2	p_1	p_2	
0	0	0	0	1	1	a_1 (min)
1		1		-1		30
	1		1		-1	15

Fig. a.1

Seja $I = \{x_1, x_2\}$ a base corrente. Nesse caso, o quadro acima já corresponde à solução ótima, com:

$$\left[\begin{array}{l} x_1 = 0., \quad n_1 = 30., \quad p_1 = 0. \\ x_2 = 0., \quad n_2 = 15., \quad p_2 = 0. \end{array} \right] \Rightarrow a_1^* = (p_1 + p_2) = 0.$$

Para o nível de prioridade P_2 , o PL associado fica:

$$(P_2) \left[\begin{array}{ll} \text{Min } a_2 = & n_3 \\ \text{s.a.} & x_1 + n_1 - p_1 = 30. \\ & x_2 + n_2 - p_2 = 15. \\ & 8.x_1 + 12.x_2 + n_3 - p_3 = 1000. \\ & p_1 + p_2 = 0. \quad (a_1^*) \\ & x, n, p \geq 0. \end{array} \right]$$

As primeiras duas restrições são da prioridade P_1 e a terceira restrição é da prioridade P_2 , enquanto que a quarta restrição é imposta para não degradar a solução já obtida para P_1 . Entretanto, esta pode ser eliminada juntamente com as colunas p_1 e p_2 . Então, o quadro simplex para o nível de prioridade P_2 , fica:

x_1	x_2	n_1	n_2	n_3	p_3	
0	0	0	0	1	0	a_2 (min)
1		1				30
	1		1			15
8	12			1	-1	1000

Fig. a.2

Seja a base $I = (x_1, x_2, n_3)$. A forma canônica seria dada por:

x_1	x_2	n_1	n_2	n_3	p_3	
0	0	0	0	1	0	a_2 (min)
1		1				30
	1		1			15
	12	-8		1	-1	760

Fig. a.3

x_1	x_2	n_1	n_2	n_3	p_3	
0	0	0	0	1	0	a_2
1		1				30
	1		1			15
		-8	-12	1	-1	580

x_1	x_2	n_1	n_2	n_3	p_3	
0	0	8	12	0	1	$a_2 - 580$
1		1				30
	1		1			15
		-8	-12	1	-1	580

quadro
final

que é a solução ótima para o problema relativo à prioridade P_2 , com:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 30., \quad n_1 = n_2 = 0. \\ x_2 = 15., \quad n_3 = 580., \quad p_3 = 0. \end{array} \right] \Rightarrow a_2^* = n_3 = 580.$$

Antes de prosseguir para próximo nível de prioridade, convém observarmos que se n_1 , n_2 ou p_3 numa futura iteração ingressar na base, irá degradar a solução obtida para P_2 ($a_2 = 580$). Podemos, então, adotar a seguinte regra:

Regra da Eliminação da Coluna

"Qualquer variável-desvio não básica com $\hat{c}_j > 0$, no quadro ótimo, pode ser eliminada, com sua coluna, do problema, uma vez que a introdução desta variável na base degradará a solução ótima já obtida."

Então, no caso exemplo, η_1 , η_2 e p_3 podem ser eliminadas. Para a prioridade P_3 , o PL fica assim:

$$(P_3) \quad \left[\begin{array}{llllll} \text{Min} & a_3 & = & p_4 & & \\ \text{s.a.} & x_1 & & & & = 30. \\ & & x_2 & & & = 15. \\ & 8.x_1 & + & 12.x_2 & + & \eta_3 & = 1000. \\ & x_1 & + & 2.x_2 & + & \eta_4 - p_4 & = 40. \\ & & & & \eta_3 & = 580 \quad (a_2) \\ & x, \eta, p & \geq & 0. & & \end{array} \right.$$

O problema acima é trivial, já que os valores para x_1 , x_2 e η_3 estão fixados pelas restrições 1,2,3 e 5. Temos então o quadro:

η_4	p_4	
0	1	a_2
-1	1	20

$\Rightarrow$

η_4	p_4	
1	0	$a_2 - 20$
-1	1	20

Fig. a.4
quadro
ótimo

Portanto, temos:

$$\left[\begin{array}{ll} x_1 = 30 & \eta_3 = 580 \\ x_2 = 15 & \eta_4 = p_4 = 0 \end{array} \right] \Rightarrow a_2^* = p_4 = 20.$$

Ao movermos para a prioridade P_4 , notamos que $a_4 = (\eta_1 + 1.5\eta_2)$, mas η_1 e η_2 já foram eliminadas da formulação e devem permanecer nulas para não degradarem as prioridades anteriores. É, portanto, desnecessário resolver ou formular o problema de Programação Linear para a prioridade P_4 . Assim, a solução para o problema de Programação Alvo Linear fica:

$$x_1^* = 30. \quad x_2^* = 15.$$

$$a^* = [0, 580, 20, 0].$$

b. Exemplo a.2 - Seja o seguinte problema de PAL.

Encontre x de modo a minimizar lexicograficamente.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Min Lex } a = (p_1 + p_2), (\eta_3), (p_4) \\ \text{s.a.} \quad \begin{array}{l} 2x_1 + x_2 + \eta_1 - p_1 = 12. \\ x_1 + x_2 + \eta_2 - p_2 = 10. \\ x_1 + \eta_3 - p_3 = 7. \\ x_1 + 4x_2 + \eta_4 - p_4 = 4. \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \end{array} \right.$$

O PL associado ao nível de prioridade P_1 , é:

$$(P_1) \left[\begin{array}{l} \text{Min} \quad a_1 = (p_1 + p_2) \\ \text{s.a.} \quad \begin{array}{l} 2x_1 + x_2 + \eta_1 - p_1 = 12. \\ x_1 + x_2 + \eta_2 - p_2 = 10. \\ x, \eta, p \geq 0. \end{array} \end{array} \right.$$

O quadro inicial para este problema é dado por:

x_1	x_2	n_1	n_2	p_1	p_2	
0	0	0	0	1	1	a_1 (min)
2	1	1		-1		12.
1	1		1		-1	10.

Fig. a.5

Seja $I = \{ n_1, n_2 \}$ a base corrente. Então, a solução corrente é ótima. Observe que p_1 e p_2 podem ser ambos eliminados. Assim, no nível de prioridade P_1 , tem-se:

$$\left. \begin{array}{ll} x_1 = x_2 = 0. & n_1 = 12. \\ p_1 = p_2 = 0. & n_2 = 10. \end{array} \right\} \Rightarrow a_1^* = p_1 + p_2 = 0.$$

Passa-se, então, a formulação para o nível de prioridade P_2 , que eliminando-se p_1 e p_2 , fica:

$$(P_2) \quad \left[\begin{array}{ll} \text{Min } a_2 = n_3 \\ \text{s.a.} \quad 2x_1 + x_2 + n_1 = 12. \\ \quad \quad x_1 + x_2 + n_2 = 10. \\ \quad \quad x_1 + n_3 - p_3 = 7. \\ \quad \quad x, n, p \geq 0. \end{array} \right.$$

O quadro simplex para este problema é dado por:

x_1	x_2	n_1	n_2	n_3	p_3	
0	0	0	0	1	0	a_2 (min)
2	1	1				12
1	1		1			10
1				1	-1	7

Fig. a.6

Seja a base $I = \{ n_1, n_2, x_1 \}$, então a forma canônica fica:

0	0	0	0	1	0	0
0	1	1		-2	2	-2
0	1		1	-1	1	3
1				1	-1	7

Fig. a.7

← dual
simplex

0	1/2	1/2	0	0	1	1
	-1/2	-1/2		1	-1	1
	1/2	-1/2	1	0		4
1	1/2	1/2		0		6

quadro
ótimo

No quadro ótimo, observamos que n_1 , x_2 , e p_3 podem ser eliminados. A solução para este nível de prioridade P_2 , então é:

$$\left[\begin{array}{ll} x_1 = 6. & n_1 = 0. \text{ (eliminado)} \\ x_2 = 0. \text{ (eliminado)} & n_2 = 4. \\ & n_3 = 1. \\ & p_3 = 0. \text{ (eliminado)} \\ & a^*_2 = n_3 = 1. \end{array} \right.$$

A formulação do PL associado à prioridade P_3 , fica:

$$(P_3) \left[\begin{array}{llll} \text{Min } a_3 = & P_4 \\ \text{s.a. } 2 \cdot x_1 & = 12. \\ & x_1 + n_2 = 10. \\ & x_1 + n_3 = 7. \\ & x_1 + n_4 - p_4 = 4. \\ & n_3 = 1. \quad (= a^*_2) \\ & x, n, p \geq 0. \end{array} \right.$$

A solução para este problema é trivial. Com $n_3 = 1$, $x_1 = 6.$, e

$$\left[\begin{array}{lll} x_2 = 0. \text{ (eliminado)} & n_1 = 0. \text{ (eliminado)} & p_1 = 0. \text{ (eliminado)} \\ & n_2 = 4. & p_2 = 0. \text{ (eliminado)} \\ & n_3 = 1. & p_3 = 0. \text{ (eliminado)} \\ & n_4 = 0. & p_4 = 2. \end{array} \right.$$

$$a^*_3 = p_4 = 2.$$

Assim, o PAL tem o seguinte valor ótimo para a função satisfação:

$$\left[\begin{array}{l} a^* = [0, 1, 2] \\ x_1^* = 6. \\ x_2^* = 0. \end{array} \right.$$

A2.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - Ignizio, James. Linear Programming in Single and Multi-Objective Systems, Prentice-Hall, 1982.
- [2] - Ignizio, James et al. SLGP: Sequential Linear Goal Programming. Implementation via MPSX, Comput. & Ops. Res. Vol. 6, pp. 141-145, Pergamon Press, 1979, U.K.
- [3] - Ignizio, James. A Review of Goal Programming: A tool for Multiobjective Analysis. Journal of Opt. Res. Society, vol. 29, pp. 1109-1119, Pergamon Press, 1978, U.K.
- [4] - Fernandes, Jurandir R. F. Notas de Aula Programação Multi-Objetivo, UNICAMP, 1988.

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE OTIMIZAÇÃO E ENGENHARIA DE SISTEMAS

SHIMADA, LUCIO M.
TESE DE MESTRADO:
PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA REFINARIA
DE PETRÓLEO ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO POR
METAS
APÊNDICE B:
TABELAS DE DADOS

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE OTIMIZAÇÃO E ENGENHARIA DE SISTEMAS

APÊNDICE B - TABELAS DE DADOS

TÍTULO DA TESE: PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA REFINARIA DE
PETRÓLEO ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO POR METAS

NOME DO ALUNO: LÚCIO MITIO SHIMADA

NÚMERO DE MATRÍCULA: 875513

NOME DO ORIENTADOR: PROF. DR. JURANDIR FERNANDO RIBEIRO FERNANDES

DATA DA PUBLICAÇÃO: SETEMBRO / 1990

Este Apêndice contém
descrições das
tabelas de dados para
o modelo de
Planejamento da
Programação da
Produção da REGAP.

ÍNDICE

B. - DESCRIÇÃO DE CLASSES E TABELAS

- B.1 - CLASSES
- B.2 - TABELAS
 - a) - Tabelas de Decisão
 - b) - Tabelas de Dados

D. DESCRIÇÃO DE CLASSES E TABELAS

D.1 CLASSES

O modelo apresenta as seguintes classes:

.) - CLASS P - OPERAÇÕES (AUXILIAR)

É usada para a geração de variáveis e restrições ligadas as diversas campanhas de produção.

CLASS	P	*** OPERACOES ***
	A	OPERACAO ATE
	B	OPERACAO BTE
	F	OPERACAO FCC
	C	OPERACAO CAP

.) - CLASS U et V - ÚLTIMO PERÍODO (AUXILIAR)

Esta classe é usada para auxiliar na geração dos relatórios de saída. O usuário deverá indicar se o modelo deverá correr com 1 (um) ou 2 (dois) períodos.

U representa o último período da "corrida", e V o penúltimo período. Esta tabela deverá conter apenas uma única linha de dado. O usuário deverá colocar asterisco na coluna 1 (um) das demais linhas, que não devem ser consideradas. O MAGEN irá interpretar toda linha com asterisco "*" na coluna_1 como linha de comentários.

Importante: esta classe só poderá ter 1 (um) único elemento.

coluna_1

.			
	CLASS	U,V	*** UM OU DOIS PERIODOS ***
*		1 0	*** UM PERIODO ***
		2 1	*** DOIS PERIODOS ***

.) - CLASS N et M - PERÍODOS

É utilizada para indicar os períodos que devem ser considerados em uma "corrida" do modelo. N é a variável que contém o número de períodos e M o número de períodos menos um.

O usuário deverá descrever o "MES/ANO" relativo a cada período no campo correspondente ao "hollerith" alternativo desta classe (coluna após a indicação "H"), o qual será utilizado para o relatório de saída do modelo.

CLASS	N,M		H>
	1 0	*** PERIODO 1 ***	JUN/90
	2 1	*** PERIODO 2 ***	JUL/90

B.2 TABELAS

a) TABELAS DE DECISÃO

.) - TABELA B1 - RELAT

Informa quais relatórios devem ser gerados pelo sistema em cada corrida. O usuário deverá preencher com o dígito "1" (um) na coluna correspondente aos relatórios desejados. Para os relatórios não desejados deverá ser informado 0 (branco).

TABLE RELAT		
	GERA	
R01	1	ACOMPANHAMENTO DE PETROLEOS
R02	1	CARGA TOTAL NAS UNIDADES DE DESTILACAO
R03	1	CARGA E PRODUcoes DAS UFCC'S
R04	1	DEGRADACOES
R05	1	PROD. E MOVIMENT. DA DERIVADOS EM TANQUES
R06	1	CARACTERISTICA DOS PRODUTOS
R07	1	COMPOSICAO DA FUNCAO OBJETIVO

b) TABELAS DE DADOS

O usuário deverá fornecer os coeficientes das variáveis nas restrições (matriz tecnológica) e as condições de contorno para o modelo preenchendo dados em forma de tabelas. A partir das tabelas de dados fornecidas pelo usuário são construídos a matriz tecnológica, o RHS (lado direito) das restrições, bem como os limitantes máximos e mínimos das variáveis e também construída a função-objetivo.

Por exemplo, a Tabela B2 - ASFALT deve conter os coeficientes da matriz tecnológica no que se refere à qualidade do Asfalto Diluído de Petróleo (ADP). Do mesmo modo, a coluna LP na Tabela B14 - GASOL deve conter os coeficientes na matriz de restrição no que se refere à butanização da gasolina.

Já, as colunas MER(n) na Tabela B7 - DERV1, por ex., fornecem o valor das demandas mensais por produtos claros, i.e., o RHS (lado direito) das restrições. As colunas UP(n) e LO(n) da Tabela B6 - DIOPE deve conter valores de limitantes máximo e mínimo que podem ser assumidas pelas variáveis.

Um exemplo de tabela de dados que contém coeficientes que formam a função-objetivo (FO), é a coluna PRECO na Tabela B7 - DERV1.

Lembrando que a estratégia de busca da solução ótima no Método Simplex está baseada na investigação dos vértices do hiper-cubo factível, deve-se observar que, para uma base factível do problema, as variáveis não básicas irão sempre assumir os valores máximos ou mínimos informados nas tabelas de dados.

.) - TABELA B2 - ASFALT

Determina a qualidade dos asfaltos diluídos (A1 e A3) em termos de frações (constantes) em volume de cimento asfáltico (CA) e querosene (DS) usado como diluente.

TABLE ASFALT			
	Q2	Q3	CA
A1	.44		.56
A3		.13	.87

.) - TABELA B3 - COEF

Informa coeficientes das variáveis (constantes) nas restrições e também o valor do dólar em termos da moeda usada no modelo.

TABLE COEF		
	H>	VALOR
FRACAO MAXIMA DE "EST RV/EST GP"	RVNOGP	.30
RECUPERACAO DE ENXOFRE NA HDS	REEXHDS	.54
RECUPERACAO DE ENXOFRE NA HDS	REEXFCC	.40
CUSTO TRAT.HDS (u\$/MIL M3 CARGA DIESEL)	CSTHDS	2.
DISP.MAX.(MIL M3/DIA) DE NL P/ GERACAO H2	MXNLHD	.063
CARGA NOMINAL NA DA U-01/11 (MIL M3/DIA)	CNOMDA	12.00
CARGA NOMINAL NA FCC U-03/13 (MIL M3/DIA)	CNOMFCC	5.60
COTACAO DO DOLAR NA MOEDA DO MODELO	DOLAR	1.00

.) - TABELA B4 - CONSUM

Fornece o fator de consumo de óleo combustível de refinaria (OCREF), (ton de óleo combustível de petróleo equivalente (OCPE) / mil m³ carga), nas unidades.

TABLE CONSUM

	H>	RV
FCC U-003	03	.0374249
FCC U-103	13	.0561374
HDS U-106	H1	.0327468
HDS U-108+U-110	HD	.0327468
DA U-001+U-101	DA	.0210520
DV U-002+U-102	DV	.0167070

.) - TABELA B5 - NAFTAH2

Fornece o fator de consumo de nafta leve (NL), (m³ da carga que consome 1 m³ de NL), nas unidades.

TABLE NAFTAH2

	H>	NL
H2 NO TRAT. DE QJ	QJH2	495.
H2 NO TRAT. DE GL	GLH2	91.
H2 NO TRAT. DE DC E DP	DCH2	91.

.) - TABELA B6 - DIOPE

Informa o número de dias de operação das unidades em cada período e as capacidades máxima e mínima das unidades em cada período (vazão em mil m³/dia). Os limites de capacidade para unidades de FCC devem ser informadas em TABELA B18 - REND2 (un=03) e TABELA B19 - REND3 (un=13).

TABLE DIOPE

	H>	DIAS1	DIAS2	UP1	LO1	UP2	LO2
DA U-001	01	30	31	12.	12.	12.	12.
DV U-002	02	30	31	6.5	2.5	6.5	2.5
DA U-101	11	30	31	12.	12.	12.	12.
DV U-102	12	30	31	6.5	2.5	6.5	2.5
FCC U-003	03	30	31				
FCC U-103	13	30	31				
HDS U-106	H1	30	31	1.8		1.8	
HDS U-108	H2	30	31	1.8		1.8	
HDS U-110	H3	30	31	2.6		2.6	
OLEODUTO1	01	30	31	9.		9.	
OLEODUTO2	02	30	31	25.		25.	

Obs: no caso de se desejar FIXAR A CARGA de quaisquer das unidades, deve-se preencher o mesmo valor (o valor desejado) para as colunas correspondentes as cargas mínima e máxima (LO(n)) e UP(n)) no período.

.) - TABELA B7 - DERV1

Informa para cada derivado claro o mercado e preço de cada período.

TABLE DERV1				
	H>	MER1	MER2	PREÇO
ADP1	A1	6.0	6.0	.045
ADP2	A3	.5	.5	.041
AGUARRAS	AG	.1	.1	.098
CIMENTO ASFALTICO	CA	12.4	12.4	.035
DIESEL	DS	236.2	236.2	.070
GASOLINA	GA	87.8	87.8	.098
GASOLINA EXPORTACAO	GX	0.0	0.0	.098
GLP	LP	23.3	23.3	.140
NAFTA PETROQUIMICA	NQ	0.0	0.0	.098
QUEROSENE ILUMINACAO	QI	1.9	1.9	.095
QUEROSENE AVIACAO	QJ	20.2	20.2	.098
RESIDUO AROMATICO	RR	0.0	0.0	.035
ENXOFRE	EX	1.5	1.5	.140

Obs1: o mercado de LP e EX em mil ton/mes.

Obs2: o mercado demais dos derivados em mil m³/mes.

.) - TABELA B8 - DERV2

Informa o índice de mistura do óleo clarificado (CL), diesel craqueado (DC) e querosene (QS), que são utilizados como diluente de óleos combustíveis.

TABLE DERV2	
	INMIS
CL	.605
DC	.369
QS	.262

.) - TABELA B9 - DERV3

Informa para cada tipo de óleo combustível ATE ou BTE o mercado em cada período, o preço e o índice de mistura Chevron.

O usuário poderá criar até 10 (dez) tipos de óleos para cada grupo (ATE ou BTE).

TABLE DERV3								
	H>	ATE	BTE	MER1	MER2	PREÇO	INMIS	DENS
1A	F1	1		8.0	8.0	.040	.719	1.
2A	F2	1		22.6	22.6	.039	.737	1.

3A	F3	1		2.0	2.0	.037	.775	1.
4A	F4	1		10.0	10.0	.036	.818	1.
7A	F5	1		10.0	10.0	.035	.904	1.
2B	H1		1	4.7	4.7	.070	.737	1.
4B	H2		1	1.0	1.0	.065	.818	1.

Obs1: INMIS é o índice de mistura da CHEVRON.

Obs2: o mercado dos derivados em mil m³/mes.

.) - TABELA B10 - ENX01

Informa para cada petróleo o teor de enxofre e densidade no diesel (DS), gasóleo leve (GL), gasóleo pesado (GP) e resíduo de vácuo (RV).

Para se equacionar a necessidade ou não de tratamento do gasóleo leve (GL) na HDS para retirada do enxofre (EX), foram criadas duas colunas para o teor de enxofre presente no GL (ENXGLO para os que apresentam GL com baixo teor de enxofre ($\leq 1\%$ em peso) e ENXGL1 para os que apresentam GL com alto teor de enxofre ($> 1\%$ em peso).

O diesel ATE está dividido em diesel leve DL(ATE) e diesel pesado DP(ATE). As correntes DS(BTE) e DL(ATE) são adicionadas diretamente ao diesel final. O DP(ATE) poderá ou não ser tratado na HDS antes de ser adicionado ao diesel final.

TABLE ENX01

	ENXQJ	ENXDS (BTE)	ENXDL (ATE)	ENXDP (ATE)	ENXGLO (BTE)	ENXGL1 (ATE)	ENXGP	ENXRV
	ENXQJ	ENXDS	ENXDL	ENXDP	ENXGLO	ENXGL1	ENXGP	ENXRV
AL	.12		.65	1.2		1.6	2.0	4.2
AP	.373		1.03	1.7		2.3	3.5	5.4
BB	.014	.1			.2		.3	.4
BF	.20	.71				1.39	1.9	3.
BJ	.0001	.12			.1		.18	.4
BL	.024	.1			.2			.3
BS	.14		1.05	1.9		1.30	1.7	4.4
CA	.0001	.4			.4		.7	1.1
CB	.093	.17			.2		.3	.33
SO	.038	.24			.28		.35	.60
PC	.002	.11			.16		.2	.32
CG								
CV	.0001	.2			.3		.31	.7
DU	.0001		1.08	1.72		2.0	2.2	3.2
EC	.028	.2			.2		.3	.4
EN	.09	.4			.4		.7	1.1
EP	.0001	.3			.3		.3	.5
FO	.024	.1			.1			.5
GO	.0001	.15			.17		.2	.4

GD	.0001							
GR		.2			.3		.31	.7
IL	.153		1.03	1.7		1.3	1.7	3.4
IP	.474		1.03	1.63		1.5	2.2	3.8
IS	.38		1.3	1.7		1.5	2.2	4.8
KK	.245		1.3	1.7		2.4	2.8	5.6
KW	.2		1.02	2.1		2.5	2.9	5.1
FE	.2		1.1	2.1		2.6		5.5
LI	.0001	.12			.1		.18	.4
MA	.407	.7				2.1	2.8	4.7
MJ	.124	.6			.9		1.2	2.4
NF								
QI	.02	.15			.17		.2	.4
QL	.0001	.6			.9		1.2	2.4
QM	.14	.9				1.5	2.3	4.2
RT	.0001	.1			.2		.2	.4
SB	.4	.1			.2		.2	.4
SH	.16	.36			.39		.6	1.27
TA	.035	.06			.08		.1	.3
UZ	.12		1.3	1.7		2.4	2.5	4.2
ZK	.092	.8				1.6	1.7	2.8

*
*
*
+

DENQJ DENDS DENDL DENDP DENG L DENG P DENRV
(BTE) (ATE)

	DENQJ	DENDS	DENDL	DENDP	DENG L	DENG P	DENRV
AL	.794	.828	.81	.866	.852	.925	.998
AP	.791	.844	.83	.88	.883	.930	1.030
BB	.82	.85			.882	.909	.984
BF	.8	.854			.889	.936	1.007
BJ	.8	.86			.88	.913	1.01
BL	.795	.851			.88	1.	.765
BS	.79		.8346	.8627	.846	.912	.996
CA	.795	.871			.872	.928	1.
CB	.798	.847			.868	.906	.969
SO	.7964	.8487			.8734	.8987	.9722
PC	.8019	.8450			.8691	.898	.9647
CG		1.			1.	1.	1.
CV		.862			.875	.925	.989
DU	.795		.847	.8784	.8933	.925	1.017
EC	.81	.86			.883	.908	.982
EN	.808	.871			.872	.928	1.
EP	.81	.85			.86	1.	.991
FO	.84	.879			.884	.925	.978
GO		.86			.88	.913	1.01
GD		1.			1.	1.	1.
GR	1.	.862			.875	.925	.989
IL	.801		.84	.866	.883	.925	1.013
IP	.8		.8501	.8787	.88	.934	1.03
IS	.781	.863	.84	.866	.869	1.	1.047
KK	.8		.84	.866	.885	.928	1.04
KW	.785		.836	.865	.883	.92	1.02

MA	.806	.827	.84	.86	.87	.914	1.054
MJ	.798	.852	.83	.88	.884	.918	.999
NF		1.			1.	1.	1.
QI	.82	.86			.88	.913	1.01
QL	.801	.851			.88	1.	.965
QM	.794	.84			.88	.911	1.018
RT		1.			1.	1.	1.
SB	.795	.84			.882	.896	.962
SH	.808	.841			.885	.902	.989
TA	.801	.826			.842	.925	.99
UZ	.783	.88	.84	.866	.896	.936	1.03
ZK	.79	.86			.88	.92	.994

.) - TABELA B11 - ENX02

Informa teor de enxofre e densidade nos fluxos de gás-
leo pesado do tipo (x)TE (x=A,B), resíduo de vácuo do tipo BTE (RVB),
diesel craqueado (DC) obtido a partir de matéria prima do tipo (x)TE
(x=A,B), bem como os valores de especificação requeridos para o DS.

TABLE ENX02

	H>	ENX	DENS
DIESEL CRAQUEADO ATE	DCA	4.0	.984
DIESEL CRAQUEADO BTE	DCB	.8	.984
GASOLEO PESADO ATE	GPA	2.5	.93
GASOLEO PESADO BTE	GPB	.5	.93
RESIDUO DE VACUO BTE	RVB	1.2	.98
ESPECIFICACAO DO DIESEL FINAL	DS	1.0	.85

.) - TABELA B12 - EQUACIONA

O usuário poderá alterar ou incluir qualquer restrição no
modelo sem necessidade de uma manutenção no equacionamento (MAGEN).
Deverá ser preenchido para cada restrição, para cada um dos períodos,
os seguintes campos:

nome da row - nome com 8 posições
row - 1 gerar nova row
b row existente
sinal - FIX
MIN
MAX
nome da variável - nome com 8 posições
coef da variável - (+-) valor

TABLE EQUACION					
	SINAL	RHS	VAR1	VAR2	VAR3
EQ1	FIX	.0	1.	1.	1.
EQ2	MIN	10.0	1.	2.	-1.

.) - TABELA B13 - FIXVA

Permite ao usuário fixar o valor de qualquer variável, em qualquer um dos períodos.

TABLE FIXVA						
	FX1	UP1	LO1	FX2	UP2	LO2
XXXXYYY	0.			0.		
CO3....	74.4			72.0		
C13....	99.2			96.0		

Atualizar a tabela observando:

LINHAS da tabela: constituída pelos SETE PRIMEIROS CARACTERES do nome da variável cujo valor se deseja fixar.

COLUNAS da tabela: FX, UP ou LO, para cada um dos períodos, conforme se queira fixar um valor, um máximo ou um mínimo.

.) - TABELA B14 - GASOL

Informa as degradações máximas permitidas de LP, NC e NL para gasolina local e de exportação.

TABLE GASOL			
	LP	NC	NL
GA	.05		.30
GX	.05		

.) - TABELA B15 - IXMAX

Informa as importações e exportações máximas permitidas para cada derivado, no período. O usuário deverá obrigatoriamente informar valores para importação e exportação dos derivados, sejam eles fixos ou os máximos permitidos.

Na coluna (OL) deverá ser indicado com o dígito "1" as linhas correspondentes aos produtos que deverão ser considerados na restrição do oleodutos de claros.

TABLE IXMAX

	IFX1	IUP1	IFX2	IUP2	AFX1	XUP1	AFX2	XUP2	OL
A1	0.		0.		0.		0.		
A3	0.		0.		0.		0.		
AG	0.		0.		0.		0.		
CA	0.		0.		0.		0.		
DS	0.		0.		0.		0.		
GA	0.		0.		0.		0.		1
GX	0.		0.		0.		0.		1
LP	0.		0.	4.		4.			
NQ	0.		0.	90.		90.			1
QI	0.		0.		0.		0.		
QJ	0.		0.		0.		0.		
QS	0.		0.		0.		0.		
RR	0.		0.		0.		0.		
F1	0.		0.		0.		0.		
F2	0.		0.		0.		0.		
F3	0.		0.		0.		0.		
F4	0.		0.		0.		0.		
F5	0.		0.		0.		0.		
H1	0.		0.		0.		0.		
* H2	0.		0.		0.		0.		

.) - TABELA B16 - PETROL

Informa para cada petróleo as operações possíveis (ATE, BTE e FCC) e o índice de mistura Chevron do resíduo de vácuo (RV). Informa também o estoque inicial e também as quantidades máximas de cada tipo de petróleo ofertadas para cada período, e o seu preço (em US\$/barril).

As operações possíveis para cada petróleo são quatro: ATE, BTE, FCC e CAP. Para cada oo, deve-se preencher a coluna correspondente a cada operação possível com o dígito "1".

Para se limitar a geração de restrições e variáveis deve-se colocar asterisco "*" na coluna i para os oo's não ofertados numa determinada "corrida" do modelo. Caso algum oo seja ofertado apenas em um dos períodos, deve-se preencher a coluna correspondente ao outro período com ".0001".

TABLE PETROL

		FCC	BTE	ATE	CAP
		F	B	A	C
*	ARABE PESADO			1	1
*	BRAZILIAN BLEND	1	1	1	1
*	BCF - 24			1	
*	BADEJO			1	
*				1	
*	CABINDA	1	1	1	

*		CG		1	
*		CN	1	1	
*		CV	1	1	1
*		EC	1	1	1
	ESPIRITO SANTO	EP	1	1	1
*	FORCADOS	FO	1	1	1
	GAROUPA	GP	1	1	1
*		GR	1	1	1
	IRANIANO LEVE	IL		1	1
	IRANIANO PESADO	IP		1	1
	KIRKUK	KK		1	
	KUWAIT	KW		1	
*		LD	1	1	1
*	MAYA	MA		1	
*	MANDJI	MJ		1	
*	NAFTA	NF		1	
*		NL	1	1	1
*	QATAR MARINE	QM		1	
*		RT	1	1	1
*	SHARAN BLEND	SB	1	1	1

+	ESTO	OFERTA1	OFERTA2	PREÇO	IMRV
*					
	BB	311.	321.	14.94	.828
	AP	93.	93.	8.23	.882
	BJ	27.9	238.	10.00	.990
	BF			29.73	.903
	BL	7.5	80.	12.45	.882
	CB		47.	10.84	.835
	CN		1400.	10.00	.928
	EC		119.	15.10	.823
	EP	11.6	91.	10.00	.854
	FO	16.3		12.00	.823
	GP			14.10	.950
	GR		17.	10.00	.885
	CV		47.	10.00	.885
	IL			29.57	.882
	IP		119.	11.61	.900
	KK	21.1	186.	12.40	.928
	KW		80.	28.77	.893
	LD	.5	137.	10.00	.964
	MA			25.91	.990
	MJ			29.89	.885
	NF			0.0	.0
	NL			0.0	.765
	CG	4.9	70.	12.70	.0
	QM			30.84	.817
	RT	3.5		11.00	.950
	SB			31.63	.799

.) - TABELA B17 - REND1

Informa para cada petróleo os rendimentos na destilação atmosférica e vácuo.

	TABLE REND1								
	LP	NL	NP	QS	DS	RA	GL	GP	RV
BB	.026	.310	.100	.050	.262	.240	.070	.132	.038
AL	.013	.190	.100	.050	.235	.400	.070	.189	.141
AP	.017	.150	.080	.040	.201	.500	.060	.173	.267
BJ	.017	.140	.090	.040	.207	.486	.070	.245	.171
BF	.010	.116	.080	.040	.142	.600	.060	.241	.299
BL	.015	.190	.100	.050	.212	.421	.070	.184	.167
CB	.004	.112	.100	.040	.197	.535	.050	.272	.213
CN	.008	.134	.090	.040	.193	.523	.060	.178	.285
EC	.025	.265	.100	.050	.241	.307	.070	.171	.066
EP	.010	.150	.090	.040	.279	.419	.070	.175	.174
FO	.009	.147	.100	.050	.333	.349	.070	.199	.080
GP	.0	.0	.0	.0	.028	.960	.070	.890	.0
GR	.017	.148	.128	.040	.169	.486	.070	.218	.198
CV	.017	.148	.128	.040	.169	.486	.070	.218	.198
IL	.021	.207	.100	.050	.220	.390	.070	.186	.134
IP	.018	.212	.100	.040	.194	.424	.060	.171	.193
KK	.021	.240	.100	.050	.222	.355	.070	.152	.133
KW	.023	.160	.080	.030	.230	.465	.060	.185	.220
LD	.010	.200	.090	.040	.189	.459	.070	.266	.123
MA	.009	.134	.060	.050	.213	.542	.050	.191	.301
MJ	.014	.189	.080	.040	.190	.475	.060	.177	.238
NF	.0	.988	.0	.0	.0	.000001	.0	.0	.0
NL	.030	.260	.100	.050	.268	.280	.070	.245	.079
CG	.0	.588	.100	.060	.24	.000001	.0	.0	.0
QM	.027	.240	.100	.250	.050	.321	.070	.166	.085
RT	.0	.0	.0	.0	.118	.870	.070	.500	.300
SB	.011	.255	.100	.050	.280	.292	.070	.157	.065

.) - TABELA B18 - REND2

Informa para cada nível de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga da unidade U03, de FCC, os rendimentos em GLP, nafta craqueada (NC), diesel craqueado (DC), óleo clarificado (CL), gás combustível (GC), coque de petróleo (CQ) e enxofre (EX).

Informa também para cada nível de injeção de resíduo de vácuo (RV) na carga da unidade 03, de FCC, as capacidades máxima e mínima, em cada período.

TABLE REND2

	COEF	LP	NC	DC	CL	GC	CQ	EX	UP1	LO1	UP2	LO2
00	.00	.3	.58	.1	.1	.06	.065	.004	2.2	1.3	2.2	1.3
05	.05	.3	.58	.1	.1	.06	.065	.004	2.2	1.3	2.2	1.3
10	.10	.27	.58	.135	.1	.07	.078	.004	1.6	1.3	1.6	1.3
15	.15	.27	.58	.135	.1	.07	.078	.004	1.6	1.3	1.6	1.3
20	.20	.24	.49	.09	.23	.06	.095	.004	1.6	1.3	1.6	1.3
25	.25	.24	.49	.09	.23	.06	.095	.004	1.6	1.3	1.6	1.3

.) - TABELA B19 - REND3

Idem, para U-103 (UFCC).

TABLE REND3

	COEF	LP	NC	DC	CL	GC	CQ	EX	UP1	LO1	UP2	LO2
00	.00	.3	.58	.1	.1	.06	.065	.004	2.2	1.3	2.2	1.3
05	.05	.3	.58	.1	.1	.06	.065	.004	2.2	1.3	2.2	1.3
10	.10	.27	.58	.135	.1	.07	.078	.004	1.6	1.3	1.6	1.3
15	.15	.27	.58	.135	.1	.07	.078	.004	1.6	1.3	1.6	1.3
20	.20	.24	.49	.09	.23	.06	.095	.004	1.6	1.3	1.6	1.3
25	.25	.24	.49	.09	.23	.06	.095	.004	1.6	1.3	1.6	1.3

.) - TABELA B20 - TANCA1

Informa para cada um dos derivados, o estoque inicial e os estoques mínimo e máximo, por período.

TABLE TANCA1

*	ESTOQUE	EMIN1	EMAX1	EMIN2	EMAX2
	ESTO	LO1	UP1	LO2	UP2
A1	1.0	.0	2.4	.0	2.4
A2	.0	.0	1.2	.0	1.2
A3	.2	.0	.4	.0	.4
AG	.8	.1	.8	.1	.8
CA	3.4	.0	6.7	.0	6.7
DI	9.1	.0	13.2	.0	13.2
DL	.5	.0	31.1	.0	31.1
DS	74.5	30.0	102.9	29.0	102.9
GA	22.7	19.0	90.8	19.0	90.8
GX	.0	.0	57.0	.0	57.0
GP	30.6	13.0	70.3	13.0	70.3
LP	3.2	2.2	9.8	2.2	9.8
NA	.0	.0	25.3	.0	25.3
NC	.0	.0	25.3	.0	25.3
NL	6.7	.0	25.3	.0	25.3
NQ	14.1	.0	57.6	.0	57.6

Q1	2.0	.0	2.2	.0	2.2
Q2	2.0	.0	2.1	.0	2.1
Q3	.4	.0	.55	.0	.55
QI	3.4	.0	3.8	.0	3.8
QJ	11.5	8.0	28.7	8.0	28.7
RV	7.2	2.5	31.7	2.5	31.7

.) - TABELA B21 - TANCA2

Informa para os óleos combustíveis, o tipo de óleo (ATE ou BTE), o estoque inicial e os limites máximo e mínimo, em cada período.

TABLE TANCA2								
*		ATE	BTE	ESTOQUE	EMIN1	EMAX1	EMIN2	EMAX2
	H>	AE	BE	ESTO	LO1	UP1	LO2	UP2
	1A	F1	1	12.6	2.0	12.6	2.0	12.6
	2A	F2	1	6.8	2.0	6.8	2.0	6.8
	3A	F3	1	5.9	2.0	5.9	2.0	5.9
	4A	F4	1	6.1	2.0	6.1	2.0	6.1
	7A	F5	1	16.8	2.0	16.8	2.0	16.8
	2B	H1	1	4.4	2.0	4.4	2.0	4.4

.) - TABELA B22 - TANCA3

Informa para os estoque conjunto de: óleos combustíveis (ATE + BTE), ATE + diluente (DL), ATE + gasóleo pesado (GP), gasolina (GA) + diesel (DS), gasolina comum (GA) + gasolina exportação (GX), diesel (DS) + gasóleo pesado (GP), nafta total (NFTT), nafta para HDS(NLHD), e nafta petroquímica (NQ) + gasolina exportação (GX).

*	TABLE TANCA3				
	ESTOQUE	EMIN1	EMAX1	EMIN2	EMAX2
	ESTO	LO1	UP1	LO2	UP2
AEBE		14.	113.3	14.	113.3
AEDL		0.	87.8	0.	87.8
AEGP		0.	155.3	0.	155.3
GADS		0.	155.3	0.	155.3
GAGX		0.	90.9	0.	90.9
DSGP		0.	162.1	0.	162.1
RVGP		0.	70.3	0.	70.3
NFTT		0.	25.3	0.	25.3
NLHD	2.	1.	3.7	1.	3.7
NQGX		0.	57.6	0.	57.6

.) - TABELA B23 - TANCA4

Informa os estoque máximo e mínimo para petróleo em cada período.

TABLE TANCA4				
*	EMIN1	EMAX1	EMIN2	EMAX2
	LO1	UP1	LO2	UP2
OOTT	0.	437.5	0.	437.5

.) - TABELA B24 - ART. ESTO (AUXILIAR)

É utilizada para geração dos coeficientes das variáveis de estoque nas equações de balanço em tanques.

TABLE ART. ESTO (AUXILIAR)		
	1	2
1	-1.	
2	1.	-1.

.) - TABELA B25 - ART. FO.1 (AUXILIAR)

É utilizada para geração dos coeficientes das variáveis de estoque na F.O.1.

TABLE ART. FO.1 (AUXILIAR)			
	0	1	2
1	-1.	.95	
2	-1.	-.000001	.9025

UNIDADE	BE
PROC.	308191
DOAÇÃO: PREÇO ES.	
ATIVATIVO	R\$500,00
DATA	30.01.91