

TATIANA PERIM FREITAS SANTOS

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA
O PROBLEMA DE BALANCEAMENTO DE LINHAS DE
SEPARAÇÃO DE PEDIDOS**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
Obtenção do Diploma de Engenharia de
Produção

São Paulo

2004

TATIANA PERIM FREITAS SANTOS

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA
O PROBLEMA DE BALANCEAMENTO DE LINHAS DE
SEPARAÇÃO DE PEDIDOS**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
Obtenção do Diploma de Engenheira de
Produção

Orientador:
Professor Doutor
Miguel Cezar Santoro

São Paulo
2004

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Tatiana Perim Freitas

Modelo de Programação Matemática para o Problema de Balanceamento de Linhas de Separação de Pedidos. São Paulo, 2004. 100p.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Pesquisa Operacional 2. Princípios da Gestão da Produção e Logística I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Aos meus pais pela educação e confiança que sempre depositaram em mim e às minhas irmãs pelo incentivo nessa jornada de sucesso de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e a toda a minha família pelos conselhos, motivação e por todos os esforços que fizeram, propiciando as bases para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Dr. Miguel Cezar Santoro, pela orientação singular durante o ano, pela paciência frente às minhas dificuldades e pelos conhecimentos compartilhados que viabilizaram este trabalho.

Aos colegas de trabalho, Marcelo Winter Gomes, Rodrigo Vallejo, Wagner Lemes, Valério Almeida, Luis Ribeiro, Leonard Ribeiro, Célio Bertoldo, Fernando Oliveira e Fátima Dantas pela amizade, reconhecimento e pelo ambiente agradável de descontração que sempre foi a nossa área.

Aos amigos e colegas da faculdade com quem compartilhei esses cinco anos de estudos na Poli.

A todos aqueles que de alguma forma incentivaram e contribuíram para a conclusão dessa etapa muito importante de minha vida.

RESUMO

O presente trabalho oferece um modelo de programação matemática para o problema de balanceamento de linhas de separação de pedidos. Este modelo tem por objetivo aumentar a eficiência dessas linhas através do balanceamento da carga de trabalho entre estações de picking. Entende-se por balanceamento a determinação da posição de produtos nas várias localizações das estações de picking. A metodologia utilizada abrange diversos conceitos acerca do tema, a luz do mais recente conhecimento do assunto em âmbito nacional e internacional. Além de conceitos teóricos sobre o tema, foram estudados os principais modelos existentes na atualidade em nível mundial. O texto está concentrado na criação de um modelo que possa ser aplicado por empresas que apresentem sistemas de Picking By Light e A-Frame em sua estrutura logística. O trabalho apresenta, também, o resultado da implantação do modelo em uma empresa de venda direta, evidenciando sua aplicabilidade e os resultados obtidos.

ABSTRACT

This work deals with the picking by-light and A-Frame balance problem. For this, it begins in the improvement of complexity operations logistics and in its impacts in the warehouse and principally in the picking order activity. Some operations research models that are being used in this activity are presented. The objective of this research is to compare the efficiency of some heuristic techniques for this solution, and in matter the metaheuristic application denominated Tabu Search when applied upon initial solutions obtained with the researched heuristics. Therefore, it is characterized the balance line problem and a metaheuristic programming model is developed for it. An important contribution of this work is the application of the model in a real company. The conclusions are presented about the quality of the results and suggestions for next works are commented too.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO **1**

1.1 Objetivo do Trabalho **3**

1.2 Estrutura do Trabalho **3**

2 A EMPRESA **5**

2.1 Histórico da Empresa **5**

2.2 Características da Organização **6**

2.2.1 INFORMAÇÕES CORPORATIVAS 7

2.2.2 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS 7

2.2.3 ASPECTOS DE VENDAS 8

2.2.4 PROCESSO DE VENDAS 9

2.2.5 OUTROS CANAIS DE VENDAS 10

2.2.6 ASPECTOS GERAIS DO PLANEJAMENTO 11

2.3 O Estágio **11**

3 CONCEITOS TEÓRICOS **14**

3.1 Definição e Importância **14**

3.2 Princípios Importantes **15**

3.3 Métodos de Organização do trabalho **16**

3.3.1 PICKING DISCRETO 16

3.3.2 PICKING POR ZONA 17

3.3.3 PICKING POR LOTE 18

3.3.4 PICKING POR ONDA 18

3.3.5 BUCKET BRIGADES 19

3.3.6	ESTRATÉGIAS DE PICKING	19
3.4	<i>Sistemas de Picking</i>	20
3.4.1	INTRODUÇÃO	20
3.4.2	A-FRAME	21
3.4.3	SISTEMA DE PICKING BY LIGHT	23
3.4.4	CARROSSEL	24
3.4.5	SEPARAÇÃO POR RÁDIO FREQUÊNCIA	24
3.4.6	SISTEMAS DE ESTOCAGEM E COLETA AUTOMÁTICOS	24
4	<u>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</u>	25
4.1	<i>Picking By Light</i>	25
4.1.1	DESCRIÇÃO FÍSICA	25
4.1.2	DIFICULDADES DE ACESSO	27
4.1.3	CRONOMETRAGEM DA DIFICULDADE DE ACESSO	28
4.1.4	CARGA DE TRABALHO	30
4.2	<i>A-Frame</i>	30
4.2.1	DESCRIÇÃO FÍSICA	31
4.2.2	DIFICULDADES DE ACESSO	33
4.2.3	CRONOMETRAGEM DA DIFICULDADE DE ACESSO	34
4.2.4	QUANTIDADE DE CANAIS POR PRODUTO	35
4.3	<i>O Balanceamento das Linhas de Separação</i>	39
5	<u>O PROJETO</u>	41
5.1	<i>Objetivo do Projeto e do Sistema</i>	41
5.1.1	FERRAMENTA VISUAL DO PROCESSO	41
5.1.2	ATIVIDADES ROTINEIRAS – DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS	43
5.1.3	OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ALOCAÇÃO DE PRODUTOS	43
5.2	<i>Relevância do Projeto</i>	46
5.3	<i>Etapas do Projeto</i>	49

<u>6</u>	<u>ANÁLISE E LEVANTAMENTO DE DADOS PARA O</u>	
	<u>BALANCEAMENTO</u>	51
6.1	<i>Avaliação das Características dos Produtos e Pedidos</i>	51
6.2	<i>Restrições Físicas</i>	53
6.3	<i>Média de Unidades por Caixa Fechada e Fragmentada</i>	53
6.4	<i>Demanda – Histórico e Previsão de Vendas</i>	55
6.5	<i>Análise do Efeito da Sazonalidade na Curva do Produto</i>	55
6.6	<i>Detalhamento da Separação de Pedidos</i>	56
6.7	<i>Número e Facilidade de Pega</i>	58
6.8	<i>Tempo de Deslocamento dos Separadores</i>	59
6.9	<i>Análise dos Fatores de Produtividade</i>	59
6.10	<i>Considerações a respeito do Balanceamento</i>	61
<u>7</u>	<u>DEFINIÇÃO DA LÓGICA A SER UTILIZADA</u>	62
7.1	<i>Pesquisa bibliográfica de tipos de programação matemática</i>	62
7.1.1	PETERSEN (1999)	62
7.1.2	TOMPKINS (1998)	63
7.1.3	HERAGU (1997)	63
7.1.4	BUSCA TABU	65
7.1.5	PROGRAMAÇÃO INTEIRA	66
7.1.6	BUSCA LOCAL DIRIGIDA	71
7.2	<i>Definição do tipo de linguagem a ser utilizada</i>	78
<u>8</u>	<u>ELABORAÇÃO DA DEFINIÇÃO FUNCIONAL DO SOFTWARE</u>	80
8.1	<i>Mecanismos de entrada e saída de dados do software a ser desenvolvido</i>	80
8.1.1	LINHA – CANAL	80
8.1.2	CANAL – PRODUTO	81
8.1.3	PRODUTO – VENDAS	83
8.1.4	PRODUTO – PREVISÃO	83
8.2	<i>Funcionalidades</i>	84

8.2.1	PRODUTOS EXISTENTES	84
8.2.2	SEPARAÇÃO ZERO	85
8.2.3	CANAIS TEÓRICOS	86
8.2.4	PREVISÃO DE VENDAS	87
8.2.5	CANAIS FUTUROS	87
8.2.6	REDUÇÃO DE CANAIS	87
8.2.7	AUMENTO DE CANAIS	88
8.2.8	CARGA DE TRABALHO	89
8.3	<i>Desenvolvimento do método de balanceamento capaz de maximizar a capacidade de processamento dos pedidos</i>	90
8.3.1	OTIMIZAÇÃO INTERNA À ESTAÇÃO	90
8.3.2	OTIMIZAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES	94
9	<u>MONITORAMENTO DO SOFTWARE</u>	99
9.1	<i>Implementação do sistema na empresa, treinamento dos usuários e acompanhamento;</i>	99
9.2	<i>Resultados Obtidos</i>	100
9.2.1	FERRAMENTA VISUAL DO PROCESSO	100
9.2.2	ATIVIDADES ROTINEIRAS	100
9.2.3	OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ALOCAÇÃO DE PRODUTOS	101
10	<u>CONCLUSÕES</u>	110
10.1	<i>Considerações Adicionais</i>	110
10.2	<i>Conclusões</i>	112

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 – Organograma Operações & Logística</i>	12
<i>Figura 3.1 - Distribuição do Tempo do Operador</i>	15
<i>Figura 3.2 – Picking Discreto</i>	16
<i>Figura 3.3 – Picking por Zona</i>	17
<i>Figura 3.4 – Flow-rack</i>	21
<i>Figura 3.5 – A-Frame</i>	22
<i>Figura 3.6 – Estações Picking By Light</i>	23
<i>Figura 4.1 – Estação típica da Linha 1</i>	26
<i>Figura 4.2 – Estação típica da Linha 2</i>	27
<i>Figura 4.3 – Dificuldades de Acesso da Linha 1</i>	28
<i>Figura 4.4 – Dificuldades de Acesso da Linha 2</i>	29
<i>Figura 4.5 - Dificuldade de acesso da Linha 1: Canais traseiros</i>	29
<i>Figura 4.6 – Dificuldade de acesso da Linha 1: Canais frontais</i>	29
<i>Figura 4.7 – Dificuldade de acesso da Linha 2</i>	30
<i>Figura 4.8 – Pedido na esteira</i>	31
<i>Figura 4.9 – Canal tipo KPEMAT</i>	32
<i>Figura 4.10 – Canal tipo PEMAT ANGULAR</i>	32
<i>Figura 4.11 – Canal tipo SPEMAT</i>	33
<i>Figura 4.12 – Dificuldade de Acesso por Canal</i>	34
<i>Figura 4.13 – Minutos trabalhados por mês em 2003</i>	36
<i>Figura 4.14 – Minutos trabalhados por semana em 2003</i>	36
<i>Figura 4.15 - Saída média de peças por minuto por canal na Linha 1</i>	37
<i>Figura 4.16 – Saída média de peças por minuto por canal na Linha 2</i>	37
<i>Figura 5.1 – Ferramenta Visual da Linha</i>	41
<i>Figura 5.2 – Projeção semanal de canais para 2004</i>	46
<i>Figura 5.3 – Efeito do número de canais por produto</i>	47
<i>Figura 5.4 – Número de movimentações realizadas por mês de 2004</i>	49
<i>Figura 6.1 – Número de Itens por Caixa</i>	54
<i>Figura 6.2 – Fluxograma da Separação de Pedidos</i>	56
<i>Figura 6.3 – Packing</i>	57

<i>Figura 6.4 – Conferência Obrigatória</i>	58
<i>Figura 8.1 – Fluxograma da Separação Zero</i>	86
<i>Figura 8.2 – Fluxograma do Cálculo de Canais Teóricos</i>	86
<i>Figura 8.3 – Fluxograma da Redução de Canais</i>	88
<i>Figura 8.4 – Fluxograma do Aumento de Canais</i>	88
<i>Figura 8.5 – Fluxograma de Busca de dados para o cálculo da carga de trabalho</i>	89
<i>Figura 8.6 – Fluxograma de Preenchimento da Matriz Canal – Produto</i>	89
<i>Figura 8.7 – Fluxograma da Carga de Trabalho por Estação</i>	90
<i>Figura 8.8 – Exemplo de Otimização Interna a Estação</i>	93
<i>Figura 8.9 – Exemplo de duas Estações PBL</i>	96
<i>Figura 8.10 – Primeira Etapa de Otimização entre Estações</i>	97
<i>Figura 8.11 – Solução após as trocas entre estações</i>	97
<i>Figura 8.12 – Solução Otimizada</i>	98
<i>Figura 9.1 – Gráfico de Velocidade da Linha (Caixas/hora)</i>	102
<i>Figura 9.2 – Gráfico da Produtividade Diária da Linha</i>	103
<i>Figura 9.3 – Quantidade de Itens e Caixas Separadas por Dia</i>	104
<i>Figura 9.4 – Recirculação (%) no PBL</i>	105
<i>Figura 9.5 – Erros de Separação</i>	106
<i>Figura 9.6 – Carga de Estações PBL antes do software</i>	107
<i>Figura 9.7 – Carga de Estações PEMAT antes do software</i>	108
<i>Figura 9.8 – Carga de Estações PEMAT após uso do software</i>	108
<i>Figura 9.9 – Carga de Estações PBL após uso do software</i>	109

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 – Estratégias de Picking</i>	20
<i>Tabela 3.2 – Vantagens e Desvantagens dos Sistemas de Coleta Automático</i>	24
<i>Tabela 4.1 – Relação de Estação e Canal na Linha 1</i>	25
<i>Tabela 4.2 – Relação de Estação e Canal na Linha 2</i>	26
<i>Tabela 4.3 – Quantidade de Canais por Estação</i>	33
<i>Tabela 8.1 – Canais e Estações associados às Dificuldades de Acesso</i>	80
<i>Tabela 8.2 – Canais por Estação</i>	81
<i>Tabela 8.3 – Canal Correspondente ao Produto Alocado</i>	82
<i>Tabela 8.4 – Separação Por Produto</i>	83
<i>Tabela 8.5 – Previsão de Venda Semanal por Produto</i>	84
<i>Tabela 8.6 – Tabela auxiliar para a otimização interna</i>	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PBL – Picking By Light

PCL – Planejamento e Controle Logístico

BLD – Busca Local Dirigida

QAP – Quadratic Assignment Problem

CAN – Centro de Atendimento Natura

PEMAT – Tipo de Canal A-Frame

SKU – Stockkeeping Unit

1 INTRODUÇÃO

A Logística é considerada, atualmente, como uma ferramenta para a criação de vantagens competitivas nas organizações. Os mercados globalizados precisam de trocas eficientes e eficazes de produtos e matérias-primas, que circulem por canais internacionais e regionais bem afinados.

Os principais elementos que diferenciam uma empresa logisticamente são a agilidade, flexibilidade e confiabilidade. O canal de distribuição deve permitir entregas de pedidos compostos por combinações de mix de produtos, em vários horários, locais diferentes e no menor tempo possível para consolidar a flexibilidade e agilidade da organização. A confiabilidade exigida pelo mercado é a entrega certa, em todos os seus parâmetros – quantidade, qualidade, variedade, prazo e local.

A estruturação de um sistema logístico exige recursos, e estes são considerados custos apenas pelas empresas que não conseguem perceber que os investimentos em logística contribuem para o sucesso empresarial, por agregar valor ao produto ou serviço e resultar em valor reconhecido pelo cliente.

Detalhando os processos logísticos, podemos afirmar que o Picking é uma atividade crítica na armazenagem. A separação de pedidos exige uma movimentação intensiva de materiais e grande parte dessa atividade é feita manualmente.

Para o planejamento de um sistema de picking, além dos equipamentos e sistemas envolvidos na armazenagem, é necessário definir uma estratégia para a coleta e separação de produtos de forma a atender as exigências de produtividade e flexibilidade da linha.

O principal fator a ser atribuído à evolução da armazenagem foi o aumento da exigência dos clientes. A frequência e o prazo de entrega estão entre as principais dimensões de serviço, avaliadas pelo varejo.

Além disso, a grande proliferação do número de produtos - resultado não só do lançamento de novos produtos, como também da grande variedade de modelos, cores e embalagens - e o crescente aumento das entregas diretas ao consumidor - fruto das vendas por catálogos, pela internet, pelo telefone, ou até mesmo por lojas que passaram a trabalhar apenas com mercadorias expostas em mostruário - também trouxeram novas demandas para as operações de armazenagem.

Como resposta a esses desafios, as empresas reestruturaram as suas operações de armazenagem para atender ao aumento do número de pedidos (resultado da maior frequência de entrega e da entrega direta ao consumidor), a uma maior variedade de itens (devido à proliferação do número de produtos) em um tempo menor (resultado do encurtamento do prazo de entrega). Assim, os armazéns de produto acabado com a finalidade de estocar mercadorias, estão dando lugar aos centros de distribuição, cujo foco principal está sobre a atividade de picking.

Alves (2000) afirma que “o ganho de produtividade e de velocidade no processo de separação é um dos principais objetivos de uma empresa ao implementar uma nova tecnologia em um armazém”. No entanto, a simples adoção de tecnologia não garante este aumento de produtividade, é preciso rever os processos ligados à armazenagem. Desta maneira, a tecnologia deve ser encarada como uma ferramenta que quando bem utilizada pode aumentar em muito a produtividade e a qualidade das operações de um armazém.

O objetivo deste trabalho é, com bases nos recentes avanços das áreas de picking, desenvolver um modelo mais sofisticado de otimização que responda às necessidades de aumento de produtividade e eficiência das linhas de separação de pedidos.

1.1 Objetivo do Trabalho

O presente trabalho tem por objetivo estudar a criação de um modelo de otimização que aumente a eficiência de linhas de separação de pedidos através do balanceamento da carga de trabalho entre estações de picking. Esse modelo poderá ser utilizado na maioria das empresas que apresentem o picking em sua estrutura logística. Além de um instrumento de visualização da situação da separação de produtos na empresa em determinados momentos, o sistema será um instrumento operacional que permite tomada de decisões vitais para a mudança de estratégia de vendas da empresa em momentos apropriados.

Uma segunda etapa do trabalho será a aplicação prática do modelo na empresa estudada, a Natura, evidenciando sua aplicabilidade e resultados obtidos. A principal motivação do trabalho é a inexistência de um sistema otimizador para a alocação de produtos nas linhas de separação. Além disso, a criação de uma ferramenta visual que auxilie o acompanhamento e entendimento de todo o processo de separação e a automatização de atividades de preparação da linha para o ciclo de vendas foram etapas deste projeto.

A inclusão de sistemas otimizadores na parte operacional da empresa está em crescimento contínuo, pois é uma necessidade imposta pelo mercado. O nível de serviço exigido pelas consultoras, no caso o prazo de entrega, é extremamente rígido e cabe à área logística separar os produtos e entregá-lo no menor tempo possível. Quanto menor o tempo gasto com atividades que não agregam valor ao processo e melhorando a eficiência de separação, maior o nível de serviço.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em dez capítulos, a saber:

Capítulo 1 – Introdução: Principais objetivos do projeto e a motivação do autor para a escolha do tema;

Capítulo 2 – A Empresa: descrição sucinta da empresa onde o projeto será desenvolvido e aplicado;

Capítulo 3 – Conceitos Teóricos: Definição e importância do Picking para a empresa, explicitando os diferentes métodos de organização do trabalho e sistemas existentes no mercado e suas principais limitações.

Capítulo 4 – Descrição da área de estudo: detalhamento dos sistemas de Picking empregados na empresa, suas principais características e limitações.

Capítulo 5 – O Projeto: O problema que será resolvido com o presente projeto, sua relevância e principais etapas de desenvolvimento;

Capítulo 6 – Análise e Levantamento de Dados para o Balanceamento: detalhamento do problema de Balanceamento e da Separação de Pedidos associando todas as variáveis que influenciam no processo estudado;

Capítulo 7 – Definição da Lógica a ser Utilizada: A solução encontrada para o problema, considerando as atribuições necessárias e a análise dos modelos existentes;

Capítulo 8 – Elaboração da definição funcional do software: definição dos mecanismos de entrada e saída de dados do software e suas funcionalidades;

Capítulo 9 – Monitoramento do Software: Implementação do sistema na empresa, treinamento dos usuários e acompanhamento;

Capítulo 10 – Conclusões: Resultados obtidos com o modelo e próximos passos.

2 A EMPRESA

2.1 Histórico da Empresa

Segundo informações recolhidas no site institucional da Natura e no Relatório Anual da empresa de 2003, a Natura nasceu em 1969, representada apenas por uma loja e um laboratório. Em 1974 a empresa decide apostar na venda direta, uma alternativa que viabilizaria o seu crescimento, apoiada na força e objetividade das relações pessoais que levavam com mais eficácia os conceitos da empresa aos consumidores. Nasciam então as consultoras Natura. Pessoas treinadas e especializadas em apresentar os produtos com todos os seus conceitos e benefícios às clientes. Sendo assim, a Natura termina os anos 70 como uma empresa viável. Entre 79 e 81, novas empresas são agregadas ao grupo formando, então, o sistema Natura.

Nos anos 80, uma década considerada perdida para a economia brasileira em geral, a Natura supera as expectativas e vive uma fase de expansão tanto em sua linha de produtos, como na presença da marca no país. Neste período, a empresa cresce 35 vezes. Já em 89, as quatro empresas que formavam o sistema Natura original fundem-se e dão início a uma grande reorganização interna que é a origem da atual constituição da companhia.

Em seguida, de 1993 a 1997, a companhia cresce 5,5 vezes e começa a internacionalizar a marca, chegando a uma presença crescente na Argentina, no Chile e no Peru. Para tal, cria Centros de Distribuição e inicia a formação e treinamento de consultoras.

A compra da Flora Medicinal, tradicional fabricante de fitoterápicos, no final da década, em 1999, vai ao encontro de mais uma estratégia da Natura: aprofundar o conhecimento e o aproveitamento da biodiversidade brasileira também na área de saúde.

O ano 2000 é caracterizado como uma fase de investimentos em infra-estrutura e capacitação, a construção do Espaço Natura, em Cajamar, um enorme complexo industrial e administrativo.

Ainda em 2000 é lançada a linha Ekos, que é produzida com o uso sustentado de ativos da biodiversidade brasileira, gerando renda às comunidades locais, além da preservação do meio-ambiente. Além disso, tem início um grande programa de recuperação da rentabilidade da companhia e o reposicionamento da Flora Medicinal no mercado. No ano seguinte é inaugurado o Espaço Natura em Cajamar.

De 2002 até 2004 os investimentos no programa de recuperação de rentabilidade são consolidados. As novas instalações proporcionaram um grande salto tecnológico, que conferiu à Natura, em 2002, um crescimento de 19% no volume de negócios em relação a 2001, alcançando um faturamento da ordem de R\$ 1,9 bilhão. Neste mesmo ano, a Natura colocou 91 novos produtos no mercado, mantendo o ritmo de um lançamento para cada dois dias, o que representa um dos mais acelerados movimentos de inovação do país.

As linhas de produção da fábrica manufaturaram mais de 107 milhões de unidades e diariamente processaram cerca de 13 mil pedidos. Em 2003, esses números foram superados e o volume de negócios chegou a R\$ 2,6 bilhão. Outro aspecto importante foi que, em setembro de 2002, a empresa passou a estar presente nos free-shops brasileiros. Ao final do exercício já era a marca mais vendida entre as brasileiras e a quinta entre todas as de cosméticos disponíveis nestes pontos de venda.

A partir de 2003 a Natura planeja a expansão da Linha Ekos no mercado externo, continuando a internacionalização da marca agora para o continente europeu.

2.2 Características da Organização

2.2.1 Informações Corporativas

A Natura compõe-se de um conjunto de empresas voltadas para oferecer produtos e serviços que promovam o bem-estar e aprofundem a força dos relacionamentos construídos ao longo de sua existência. Os cosméticos, os produtos de higiene, perfumaria e de saúde que produz estão reunidos nas seguintes linhas: Fragrâncias e Perfumes, Cremes e Loções, Maquiagem, Desodorantes, Produtos para o Cabelo, Sabonetes para as Mãos, Protetores Solares e Produtos para Barba.

Segundo informações obtidas no Relatório Anual de 2003, o quadro de funcionários da empresa conta atualmente com 2.986 colaboradores.

2.2.2 Instalações e equipamentos

A Natura localiza-se em duas regiões: Itapequerica da Serra, em Área de Proteção de Mananciais, e Cajamar, em Área de Proteção Ambiental. O Novo Espaço Natura está localizado num terreno de 650.000 m², com 77.000 m² de área construída, no município paulista de Cajamar.

A mudança, além de propiciar um significativo aumento da capacidade de produção, ofereceu a possibilidade de dar um grande salto no domínio de tecnologias de ponta e novos processos de fabricação e distribuição. As instalações contam com centenas de metros de corredores (dutos). O projeto modular foi projetado de modo a permitir a expansão das linhas de produção, aumentando de forma significativa o volume de vendas sem a necessidade de altos investimentos adicionais.

A Natura atua hoje em todas as regiões e em mais de 5000 municípios do Brasil. Na América do Sul, está presente na Argentina, Chile, Peru e Bolívia, e futuramente no México.

2.2.3 Aspectos de Vendas

De acordo com o Relatório Anual de 2003 e informações obtidas no site da ABVED - Associação Brasileira de Venda Direta, a empresa comercializa seu portfólio, que conta hoje com quase 600 produtos, pelo sistema de venda direta, alcançando seus consumidores por intermédio de revendedoras independentes, conhecidas como Consultoras Natura. Quase 380 mil Consultoras independentes levam a marca Natura à aproximadamente cinco mil municípios em todas as regiões do Brasil e ao mercado latino-americano. A empresa também está presente na Argentina, Chile e Peru, com Centros Administrativos e de Distribuição, utilizando também nesses países o sistema de venda direta por meio de Consultoras independentes. A Flora Medicinal, laboratório de fitoterápicos adquirido em 1999, comercializa seus produtos em farmácias e drogarias brasileiras.

Um novo material de comunicação sobre os produtos da Natura contribuiu para o aumento da produtividade das consultoras. A publicação Vitrine Natura passou a reunir numa única peça todos os produtos da marca, com preços, conceitos de linhas, promoções e lançamentos.

Publicado a cada 21 dias, o Vitrine Natura tem uma tiragem de 730 mil exemplares, distribuídos a consultoras, promotoras e gerentes de vendas, que constituem a principal força de vendas. Elas, por sua vez, as apresentam às clientes que escolhem os produtos desejados através da publicação e efetuam os pedidos, utilizando os códigos dos produtos no catálogo.

A força de vendas diretas da Natura se divide da seguinte maneira:

- Consultoras

Seguindo os valores da empresa, as consultoras são o principal meio de contato e venda personalizada com o consumidor. Elas levam as crenças da empresa e ainda ajudam o consumidor a escolher os produtos que melhor se adaptem ao seu

modo de ser e ao seu corpo. As consultoras Natura têm a maior média de remuneração da venda direta no Brasil e uma das maiores do mundo. Elas contam com material de apoio, bem como assessoria, reciclagem e orientação através de cursos e da presença pessoal das Promotoras de Vendas.

- Promotoras de Vendas

As Consultoras são divididas em setores (de regiões) que, por sua vez, são coordenados e orientados pelas Promotoras de Vendas. Ela é capaz de esclarecer dúvidas, ajudar nas vendas e orientar no que for preciso. Elas são contratadas pela Natura, mas não trabalham na empresa, pois passam a maior parte do tempo em casa - assessorando suas respectivas consultoras – ou preparando os encontros, que acontecem uma vez por mês.

- Gerentes de Vendas

Contratadas pela empresa, elas tem a função de orientar as Promotoras. A principal diferença, porém, é que as Gerentes trabalham na própria empresa, mais intimamente envolvidas com os assuntos internos.

Todas (consultoras, promotoras e gerentes) possuem metas de vendas, que variam a cada Ciclo (21 dias) conforme os meses e promoções vigentes. As consultoras possuem a sua própria meta individual. As promotoras, a meta do seu setor e as gerentes meta de seu grupo de setores.

2.2.4 Processo de Vendas

A consultora busca possíveis clientes entre as pessoas de sua rede de relacionamento ou mesmo novos clientes através de marketing pessoal. Assim que o cliente estiver familiarizado com a consultora e com os produtos oferecidos – apresentados a ele através do Vitrine Natura, da mídia (dentro do plano de comunicação da Natura) ou

mesmo por recomendações de amigos – ele faz o pedido para a consultora. Ela, por sua vez, canaliza os pedidos dos seus diversos clientes e, efetua um pedido através da Internet, ou diretamente pelo telefone no centro de atendimento Natura (CAN). Seu pedido é então faturado e ela recebe os produtos diretamente no endereço escolhido, sem pagar taxa de entrega, juntamente com a respectiva nota fiscal e o boleto bancário.

2.2.5 Outros canais de vendas

Além da venda direta a Natura conta com mais dois meios de venda:

- Duty Free Shop

Com a intenção de familiarizar seus produtos, em especial a Linha Ekos, com os consumidores de outros países, a Natura tomou a decisão de vender no varejo.

- Internet

A Natura acredita sempre que o melhor meio de venda é através de suas consultoras, que podem melhor instruir os consumidores sobre os produtos a serem adquiridos. Sendo assim, o site da Natura em sua parte de compras tenta sempre direcionar a venda a uma consultora. O sistema funciona da seguinte maneira: em primeiro lugar, o consumidor digita seu CEP. Logo, as taxas tributárias e de entrega são calculadas e informadas na hora. Em seguida, o cliente escolhe os produtos desejados e efetua o pedido. A partir de então, o cliente deverá escolher a forma de entrega: consultora ou transportadora. A consultora não cobra taxa de entrega e ainda possui a facilidade de combinar com o cliente a forma de pagamento. Além disso, ela pode oferecer mais promoções que não constam no site. A transportadora, porém, é escolhida pela Natura apenas para levar o produto e cobra uma taxa de entrega para tal.

2.2.6 Aspectos gerais do Planejamento

A Natura, ao longo de sua existência, vem adotando uma estratégia que visa à expansão, tanto da suas linhas de produto, como em sua capacidade produtiva e participação nos mercados onde atua, além de buscar novos mercados.

De acordo com o Relatório Anual de 2003, atualmente os objetivos principais são ampliar a sua participação no mercado interno por meio do aperfeiçoamento constante das suas relações com seus diversos públicos e desenvolver produtos e serviços inovadores. A opção pela venda direta, no Brasil e na América Latina, implica o compromisso sempre renovado de estimular e participar do desenvolvimento pessoal, material, social, e profissional das consultoras Natura. A empresa continuará investindo no estreitamento do vínculo com esse importante público e na ampliação do número de consultoras em atividades.

Ao mesmo tempo, ampliará sua presença internacional, seja por meio da consolidação dos atuais mercados, seja com a conquista de novos mercados na América Latina. Prospectar os mercados americano e europeu, principalmente com a linha Natura Ekos, já está no plano de ação da empresa e, segundo a revista Exame de 12/03/2003, a abertura de uma loja em Paris será um passo importante para a realização desta ação estratégica. Esta loja funcionará como uma vitrine não somente para os produtos, mas também para evidenciar os valores da empresa e apresentar o conceito do uso como principal plataforma de crescimento dos negócios, tanto no Brasil quanto no exterior.

2.3 O Estágio

O estágio na Natura concentrou-se no departamento de Operações e Logística - Picking. Conforme organograma abaixo, existem três gerências abaixo da Diretoria Logística. Abaixo da Logística de Materiais, encontra-se o Picking, área de estudo

para a realização desse trabalho. O Picking é composto por várias funções, dentre elas o Planejamento Operacional.

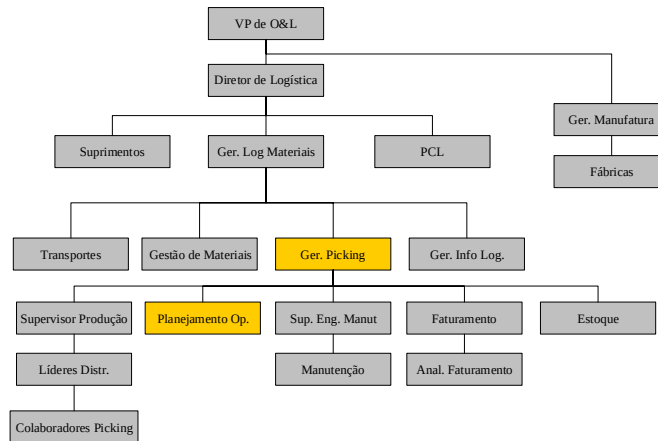


Figura 2.1 – Organograma Operações & Logística

O Picking é o local de separação de pedidos. Todos os pedidos são recebidos e enviados para as linhas de separação. Os produtos acabados serão coletados pelos colaboradores, colocados nas caixas correspondentes aos pedidos das consultoras e posteriormente despachados para a expedição.

O Planejamento Operacional é responsável por:

- Assegurar a otimização das linhas de separação automática e manual dos pedidos, através de seu balanceamento, evitando gargalos e mantendo os níveis de performance estabelecidos;
- Analisar a saída de produtos e rebalancear as linhas de separação, de acordo com a demanda, ergonomia e necessidades da produção;
- Participar de todos os processos de Lançamentos de Novos Produtos – Estratégias Verticais – sugerindo melhorias e adaptando os produtos aos processos do Picking, mantendo toda a equipe do Picking informada das estratégias e lançamentos.

- Testar nas Linhas de Separação os novos produtos, analisando qual o comportamento destes e as modificações necessárias, interagindo com a produção, manutenção e planejamento operacional, formalizando os testes;
- Interagir com as áreas de Produção e Manutenção no processo de operacionalização do “picking” de novos produtos (lançamentos), analisando as características técnicas do produto (dimensões, formato, peso, etc) e frequência de saída, verificando eventuais restrições técnicas para operacionalizar mudanças no balanceamento das linhas.
- Realizar amostragem de produtos, visando controlar características funcionais dos produtos (peso, dimensões, cubagem), verificando dados cadastrados no SAP e possíveis distorções nos indicadores de performance da área.
- Planejar antecipadamente o balanceamento dos próximos ciclos, administrando a disponibilidade de canaletas do equipamento de “picking” automático e posições da linha manual, em relação ao portfólio de produtos, em função dos lançamentos e descontinuações de produtos, materiais de apoio e promocionais.
- Desenvolver estudos futuros e análise de capacitação das linhas automáticas de separação.

Vivenciando o dia – dia do Planejamento Operacional, algumas possibilidades de melhoria e eficiência das linhas de separação de pedidos foram evidenciadas. Os próximos capítulos irão descrever a área de estudo e o desenvolvimento do projeto.

3 CONCEITOS TEÓRICOS

3.1 Definição e Importância

Existem diversas atividades de armazenagem presentes na Natura. A primeira delas é o recebimento e armazenagem de matéria-prima e embalagem que serão utilizadas pelas fábricas. Posteriormente, existem os produtos acabados que serão coletados de acordo com os pedidos das consultoras. Esses pedidos são entregues diretamente em seus respectivos endereços.

Podemos definir a atividade de picking como sendo a coleta correta da quantidade e dos produtos requisitados no pedido da consultora. Cada consultora faz um pedido que contém diferentes produtos em diferentes quantidades. O operador é responsável em fazer essa coleta de uma maneira certa e em um curto espaço de tempo.

O aumento das necessidades e exigências das consultoras e, necessariamente, de suas clientes trouxeram diversas modificações tanto na área de armazenagem como na área de picking. Podemos classificá-las em tendências gerais de mercado:

- Proliferação do número de produtos: a Natura trabalha com um lançamento a cada dois dias, além de ações como repacking de embalagens. Isso acarreta em uma grande quantidade de produtos, modelos, embalagens e cores. Os clientes estão cada vez mais exigentes estimulando a criatividade de empresas que tem como objetivo a satisfação destes;
- Aumento do número de pedidos: as consultoras trabalham com baixos níveis de estoque e normalmente fazem pedidos quando a venda está garantida. Consequentemente, o número de pedidos aumenta com o tempo;
- Concentração de armazéns: para diminuição de custos de estoque e consolidação de carga, a Natura trabalha com um único centro de distribuição localizado em Cajamar;

- Tempo de entrega: todos os pedidos recebidos pela Natura devem necessariamente ser separados e despachados do centro de distribuição em um dia.

Como resposta a essas tendências gerais de mercado, a Natura modificou seu sistema de armazenamento e passou a dar maior importância à separação de pedidos, ou seja, à atividade de Picking.

3.2 Princípios Importantes

Segundo LIMA, MAURÍCIO (2003), um operador na área de picking consome 50% de seu tempo em deslocamentos na área de estocagem. A figura 3.1 exemplifica o consumo relativo de um operador.

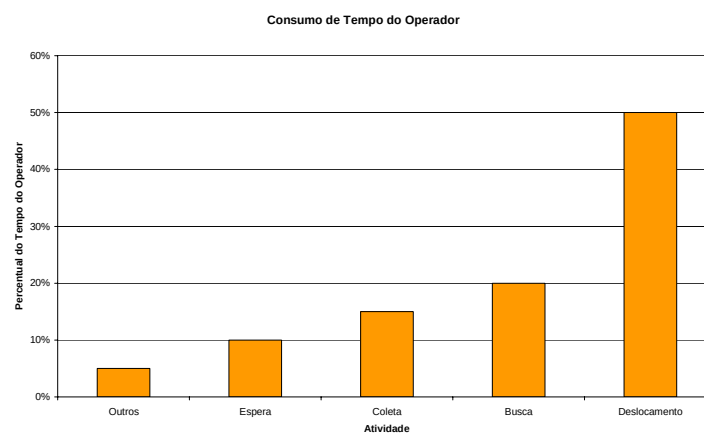


Figura 3.1 - Distribuição do Tempo do Operador

O objetivo principal de uma estratégia de picking é a diminuição desse tempo de deslocamento ou movimentação. Existem diversas alternativas para a diminuição do tempo de deslocamento. Essas alternativas serão discutidas posteriormente nos próximos capítulos.

A complexidade do sistema de separação depende basicamente do tamanho das unidades de separação. Existem cinco categorias básicas:

- Separação de Paletes - menor unidade de separação é o palete;
- Separação de camadas de palete - menor unidade de separação é um conjunto de caixas;
- Separação de caixas - quando a menor unidade de separação são as caixas fechadas;
- Separação de caixas fracionadas - é o caso em que a caixa necessita ser aberta para manuseio de pacotes, que compõem a caixa;
- Separação de itens - alternativa mais fracionada onde são manuseados itens individuais de determinados produtos.

A Natura trabalha com separação de itens: as caixas das consultoras apresentam diferentes produtos que são coletados nas linhas de separação de pedidos.

3.3 Métodos de Organização do trabalho

3.3.1 *Picking Discreto*

Chamamos de picking discreto o processo em que o operador é responsável pela separação de todos os produtos contidos no pedido, sendo que apenas um produto é pego por vez. Isso significa que cada pedido é iniciado e completado por apenas um trabalhador.

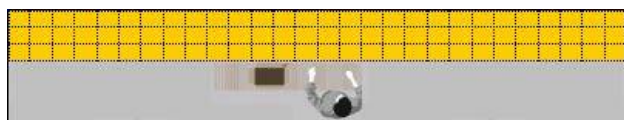


Figura 3.2 – Picking Discreto

Esse tipo de organização possui diversas vantagens, em especial a simplicidade e a redução do risco de erros na atividade, já que existe um documento para cada ordem de separação de produtos. Entretanto, existe apenas um período para o agendamento da atividade de picking e o procedimento se torna menos produtivo, pois como o operador deve completar toda a ordem de separação, o tempo de deslocamento é muito maior que nos outros procedimentos.

3.3.2 *Picking por Zona*

A área de armazenagem é dividida em zonas e cada responsável pela atividade de picking é relacionado a uma zona. Os produtos são alocados nas diferentes zonas com o objetivo de balancear a carga de trabalho e aumentar a eficiência do picking. A ordem de pedido é emitida e cada trabalhador pega as linhas de produtos que fazem parte da sua estação de trabalho. Se o pedido estiver completo antes do término das zonas, este é despachado. Caso contrário, ele irá para a próxima estação de picking e o próximo operador colocará os produtos necessários.

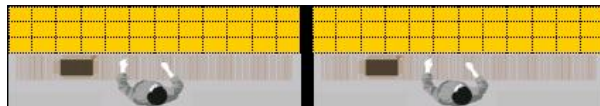


Figura 3.3 – Picking por Zona

Essa organização de trabalho é bastante usual quando os trabalhadores apresentam diferenças de produtividade. Uma outra razão é a variedade de tecnologias utilizadas na área de picking. Existe apenas um período para o agendamento da atividade de picking.

3.3.3 *Picking por Lote*

No picking por lote, o pedido é processado por apenas um operador e diferentes produtos são coletados em cada pega. O processo é o seguinte:

- Acúmulo de pedidos para obterem-se produtos comuns aos pedidos;
- A coleta é feita somando-se a quantidade de cada produto que atende a todos os pedidos;
- Distribuição das quantidades de produtos referentes a cada pedido.

Nesse tipo de procedimento existe um ganho de produtividade devido à diminuição de deslocamento do operador. Entretanto, é necessário que os pedidos apresentem baixa variedade de produtos (no máximo cinco), pequenos volumes e que sejam requisitados em quantidades fracionadas e não caixas.

Como houve aumento da complexidade do processo, torna-se necessário um controle para minimização dos erros. Temos apenas um período para o scheduling da atividade de picking.

3.3.4 *Picking por Onda*

Método similar ao picking discreto em que cada operador é responsável por um tipo de produto por vez e agendamento de um certo número de pedidos ao longo do turno. Esse tipo de organização é utilizado para coordenar as funções de separação de pedidos e despacho.

3.3.5 *Bucket Brigades*

Esse procedimento diferencia-se pelo fato de ser auto balanceável. Isso quer dizer que, aumentando ou diminuindo a taxa de pedidos, o sistema é organizado de tal forma que existe um auto-ajuste, sem aumentar nem diminuir a ocupação dos operadores.

Os operadores trabalham de modo discreto, ou seja, não existem zonas nem lotes de pedidos. O operador no final da linha é mais produtivo que o anterior e assim por diante. Quando o último operador termina o pedido, existe uma realocação do trabalho de cada operador. Este pega o pedido que o operador anterior estava trabalhando... e o operador 1 pega um novo pedido que estava na fila de espera.

Pontos positivos dessa estratégia:

- Redução de necessidade de planejamento e administração, pois torna a linha auto balanceável;
- Processo se torna mais ágil e flexível pelo auto ajuste;
- Aumento de unidades processadas, além da tendência de divisão ótima do trabalho;
- Trabalho secundário reduzido e qualidade aumentada pela redução do work-in-process.

3.3.6 *Estratégias de Picking*

A tabela abaixo resume os tipos de organização de picking puras e mistas, listando suas características principais.

Tipo de Procedimento	Operadores por pedido	Produtos por pega do operador	Períodos para agendamento da atividade por turno
Discreto	Um	Um	Um
Zona	Mais de Um	Um	Um
Lote	Um	Mais de Um	Um
Onda	Um	Um	Mais de Um
Zona - Lote	Mais de Um	Mais de Um	Um
Zona - Onda	Mais de Um	Um	Mais de Um
Zona - Lote - Onda	Mais de Um	Mais de Um	Mais de Um

Tabela 3.1 – Estratégias de Picking

3.4 Sistemas de Picking

3.4.1 Introdução

Existem diversas soluções tecnológicas para a atividade de picking. Essas soluções consideram características específicas da operação de armazenagem e separação de pedidos, além de aspectos qualitativos dos produtos. Temos como informações importantes:

- Variedade de itens;
- Perfil dos pedidos;
- Número de produtos
- Tamanho das unidades de separação;
- Velocidade da operação;
- Turnos de trabalho;
- Número de operadores;
- Número de recursos (empilhadeiras, transelevadores, esteiras, etc.);
- Peso, forma e fragilidade do produto.

Existe um equipamento que é bastante utilizado nos sistemas de picking: o flow-rack. Chamados de estanterias, eles são utilizados na separação de caixas e também de unidades. Seu funcionamento é bastante simples: as caixas são supridas pela parte traseira do equipamento e as unidades coletadas pela parte dianteira. Como podemos visualizar na figura, ao retirarmos a primeira caixa, as outras escorregam para ocupar esse lugar.

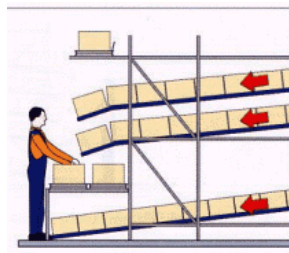


Figura 3.4 – Flow-rack

3.4.2 A-Frame

O sistema A-Frame é bastante utilizado em empresas que precisam de um alto grau de produtividade (separação de pedidos) em um pequeno espaço de tempo. Este apresenta bastante precisão e demanda pouca mão-de-obra.

Caracterizado como um sistema modular, ele é composto por uma esteira transportadora, sobre a qual existe uma estrutura composta de uma série de canais que cobre ambos os lados da esteira (formato de “A”).



Figura 3.5 – A-Frame

Cada canal trabalha com um determinado SKU, tendo capacidade de armazenar diversas unidades, que ficam empilhadas em sua respectiva estrutura. Existe um dispositivo eletro-eletrônico (dispenser) que recebe um sinal elétrico indicando a quantidade de peças a serem dispensadas, que através de um motor ejeta os produtos para uma esteira onde passam o conjunto de itens de um pedido.

No final da linha, os produtos são automaticamente transferidos para as bandejas, colocados nas respectivas caixas e transportados para as outras áreas de picking, ou diretamente para área de embarque, caso o pedido esteja completo.

Esse tipo de sistema apresenta uma excelente performance de separação em termos de velocidade e erros de picking. Entretanto, restrições de formato, peso e fragilidade do produto acabam impedindo essa separação automática. Além disso, os pedidos não devem conter muitas unidades de um mesmo item e, caso isso aconteça, a solução é a colocação do mesmo produto em mais de um canal.

O ressuprimento da linha deve ser rápido o suficiente para que o canal não fique vazio. Normalmente são utilizados flow-racks na parte posterior do trabalhador para o abastecimento manual dos produtos nos canais.

3.4.3 Sistema de Picking by Light

Nesse sistema as caixas dos pedidos são transportadas de forma automática por meio de uma correia transportadora por toda a linha de separação. A linha é dividida em estações associadas a um colaborador e cada estação apresenta uma quantidade de canais. Por canal, entendemos o local do flow-rack onde o produto foi alocado.

A caixa será desviada para a estação se houver produtos de seu pedido alocados nesta. Esse desvio só é possível devido a leitores óticos e sensores presentes em toda a linha. Os mostradores digitais de cada posição do flow-rack indicam automaticamente o local e o número de unidades que devem ser coletados.



Figura 3.6 – Estações Picking By Light

Normalmente, os produtos de baixa e média saída são alocados no picking by light. Esse sistema é muito flexível para a alocação de produtos, já que não existem restrições de peso e formato. Para uma maior eficiência da linha, produtos de alta venda devem ser alocados próximos ao trabalhador, evitando deslocamentos excessivos. O balanceamento da carga de trabalho entre as estações também é essencial para maximizar a performance e evitar filas nas estações.

3.4.4 Carrossel

Os carrosséis são equipamentos que armazenam os produtos tanto vertical como horizontalmente. Sua função é trazer o produto até o operador. Isso reduz o tempo gasto com deslocamentos e busca de produtos. Sua principal vantagem é a variedade de itens que podem ser separados. Entretanto, a velocidade da operação é lenta, o que o torna inviável para empresas com alta demanda de pedidos.

3.4.5 Separação por Rádio Frequência

O operador utiliza um terminal na mão ou preso ao braço que indica o endereço do produto a ser coletado e a quantidade. Após a coleta, é feita a leitura do código de barras do produto em um terminal manual, que realiza a conferência e indica o próximo endereço. Esse sistema tem comunicação por rádio frequência: baixo custo e alta flexibilidade. A velocidade do picking é determinada pela velocidade de deslocamento do operador.

3.4.6 Sistemas de estocagem e coleta automáticos

Os sistemas de estocagem e coleta automáticos (AS/RS) capazes de operar com unidades de movimentação mais fracionadas são conhecidos como miniload. No entanto, mesmo os miniload são capazes de operar apenas com caixas, ou itens de grande volume. O seu funcionamento é bastante parecido com o do trans-elevador (unit load).

Vantagens	Desvantagens
Precisão e Velocidade	Falta de flexibilidade
Operação com grande quantidade de itens	Elevado custo de instalação e manutenção

Tabela 3.2 – Vantagens e Desvantagens dos Sistemas de Coleta Automático

4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Picking By Light

4.1.1 Descrição Física

As linhas de separação de pedidos da Natura apresentam o sistema de Picking by Light. Esse sistema é representado pela utilização de uma esteira rolante, por onde passam as caixas das consultoras, leitores óticos e sensores, indispensáveis para o desvio da caixa para a estação onde serão coletados os produtos e estruturas denominadas flow-racks. Os produtos são alocados nos flow-racks em espaços denominados canais. Cada canal está associado a um produto. O abastecimento dos flow-racks é manual.

As linhas apresentam seis estações picking by light, sendo a última localizada após a conferência de peso das caixas. Cada estação contém trinta e seis canais frontais e, no caso da Linha 1, trinta e seis canais traseiros. As tabelas abaixo enumeram a quantidade de canais totais por linha (Linha 1 – 396 canais e Linha 2 – 252 canais).

Estações - Linha 1						
Canal	1	2	3	4	5	11
Frontal	36	36	36	36	36	36
Traseiro	36	36	36	36	36	0

Tabela 4.1 – Relação de Estação e Canal na Linha 1

Estações - Linha 2						
Canal	6	7	8	9	10	12
Frontal	36	36	36	36	36	36
Traseiro	0	0	0	0	0	36

Tabela 4.2 – Relação de Estação e Canal na Linha 2

As estações PBL 1 e 2 da linha 1 e PBL 6 e 7 da linha 2 são estações espelho. Isso significa que todos os produtos alocados em uma estação, automaticamente são alocados na segunda estação. Essa estratégia é utilizada para os produtos de maior saída e que não podem ser dispensados automaticamente. Quando os pedidos são enviados à linha, o sistema distribui igualmente as caixas que passam nessas estações de forma a otimizar a atividade de Picking.

As estações 11 e 12 são utilizadas para a alocação de produtos que apresentam uma grande variação de peso, como por exemplo, mochilas, sacolas de papel, estojos de madeira, entre outros. Esses produtos são colocados nas caixas após a conferência por peso e não são mais conferidos. Isso pode ocasionar erros de entrega, mas aumenta a eficiência da linha.

Existe ainda uma particularidade de cada linha de separação: local em que a caixa aguarda a coleta dos produtos. Na linha 1, temos a parada da caixa no meio da estação, como mostra o desenho a seguir. Os produtos de maior saída devem, portanto, ser alocados no meio da estação, posteriormente nas regiões amarelas e vermelhas.

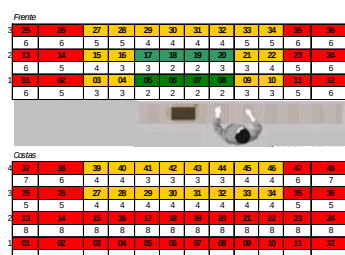


Figura 4.1 – Estação típica da Linha 1

Já na linha 2, a caixa pára no lado esquerdo da estação, mudando toda a distribuição dos produtos nos canais. O desenho abaixo ilustra claramente essa diferença e ressalta a falta de canais traseiros.

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	7
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	2	2	2	2	3	3	4	5	5	5	7
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6



Figura 4.2 – Estação típica da Linha 2

4.1.2 Dificuldades de Acesso

Como mostrado anteriormente, cada estação apresenta canais frontais (três níveis com 12 canais) e traseiros (quatro níveis com 12 canais). Essas diferentes posições (endereços do flow-rack) apresentam dificuldades de manuseio distintas, em função da altura e da distância em relação às mãos do operador. Normalmente, os endereços logo à frente do operador com altura pouco abaixo à altura dos ombros representam as posições de mais fácil acesso devendo ser consideradas privilegiadas e dedicadas aos produtos de maior movimentação.

Na prática, cada endereço apresenta uma determinada dificuldade de manuseio, que deve ser considerada no momento de alocação dos produtos às suas respectivas posições.

Portanto, a dificuldade de acesso representa o grau de dificuldade de coleta de determinada posição. Como usualmente as estações de trabalho são similares entre si, cada posição de uma estação terá a dificuldade de acesso igual às das posições correspondentes das demais estações. Numericamente este valor corresponde ao tempo médio de um acesso à posição.

4.1.3 Cronometragem da Dificuldade de Acesso

Com o objetivo de analisar a dificuldade de acesso de cada posição da estação, utilizamos o método da Cronometragem. Para uma melhor acurácia do método, é necessário avaliar quais variáveis influenciam no processo.

O Planejamento de experimentos (DOE – Design Of Experiments) é constituído de um conjunto de técnicas estatísticas que proporcionam estruturas rigorosas para planejar, executar e analisar experimentos. Este é usado para determinar qual a combinação ótima de variáveis para a obtenção da resposta desejada.

Utilizando o MINITAB Versão 13, técnica DOE, definimos as variáveis que influenciam no processo de acesso aos endereços do flow-rack:

- Linha de Separação – 1 e 2;
- Turno de Trabalho – 1, 2 e 3;
- Estação – 1 a 6.

O planejamento fatorial completo permitiu fazer o experimento com todas as possíveis combinações entre os níveis dos fatores. A cronometragem levou em consideração o deslocamento do operador até a posição do flow-rack, a “pega” de um único produto e o retorno do operador até a caixa. Os resultados foram os seguintes, em segundos:

Frente												
3	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	6	6	5	5	4	4	4	4	5	5	6	6
2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	6	5	4	3	3	2	2	3	3	4	5	6
1	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	6	5	3	3	2	2	2	2	3	3	5	6

Costas												
4	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	7	6	4	4	3	3	3	3	4	4	6	7
3	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5
2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12

Figura 4.3 – Dificuldades de Acesso da Linha 1

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	7
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	2	2	2	2	3	3	4	5	5	5	7
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6



Figura 4.4 – Dificuldades de Acesso da Linha 2

Podemos verificar através dos gráficos gerados, que a dificuldade de acesso varia com o nível e com a distância do operador.

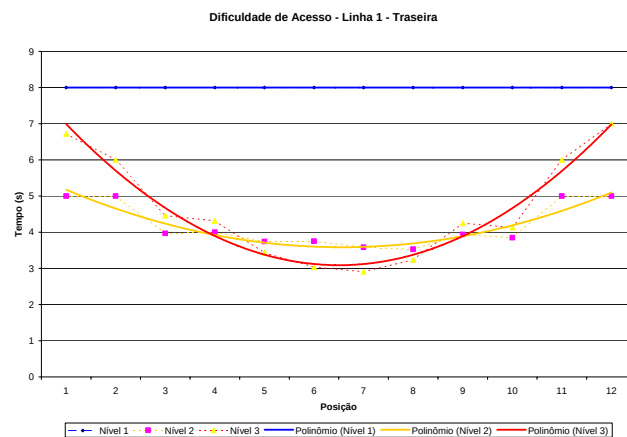


Figura 4.5 - Dificuldade de acesso da Linha 1: Canais traseiros

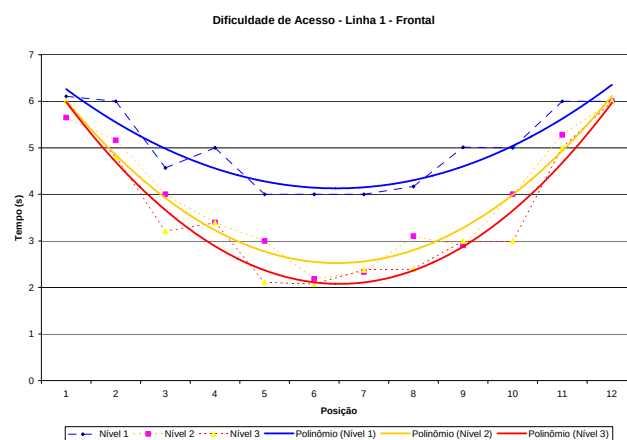


Figura 4.6 – Dificuldade de acesso da Linha 1: Canais frontais

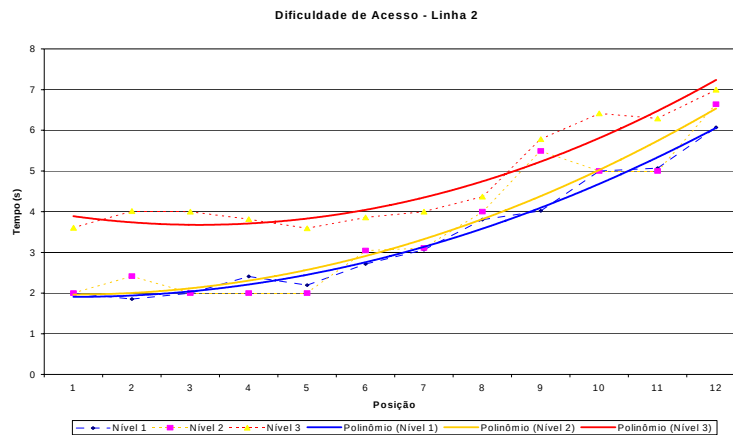


Figura 4.7 – Dificuldade de acesso da Linha 2

As características físicas dos produtos como a forma, o peso e o tamanho podem ser considerados um terceiro fator, uma vez que a dificuldade de manusear um determinado produto afeta o seu respectivo tempo de separação. Além disso, as características físicas podem ter um caráter restritivo com relação a algumas posições. Como exemplo, os produtos mais pesados nos níveis mais altos do flow-rack podem ter implicações ergonômicas ruins para os operadores.

4.1.4 Carga de Trabalho

A carga de trabalho é definida como uma estimativa do tempo de trabalho consumido por um operador frente a uma demanda, que conjuga o número de acessos com suas respectivas dificuldades de acesso. A eficiência da linha depende muito da distribuição da carga entre as estações e o objetivo do balanceamento é a minimização da carga de trabalho total.

4.2 A-Frame

4.2.1 Descrição Física

O sistema A-Frame é composto por uma esteira transportadora onde são dispensados automaticamente os produtos. Cada pedido é representado por um conjunto de itens que ocupa um espaço da esteira (tamanho variável).

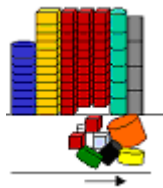


Figura 4.8 – Pedido na esteira

Sobre a esteira, existe uma estrutura composta por uma série de canais que cobre ambos os lados da esteira. Cada canal trabalha com um determinado SKU, tendo capacidade de armazenar diversas unidades, que ficam empilhadas em sua respectiva estrutura. Existe um dispositivo eletro-eletrônico (dispenser) que recebe um sinal elétrico indicando a quantidade de peças a serem dispensadas. Os produtos são ejetados através de um motor.

No final da linha, os produtos são automaticamente transferidos para as bandejas, colocados nas respectivas caixas e transportados para as outras áreas de picking, ou diretamente para área de embarque, caso o pedido esteja completo.

As linhas de separação da Natura apresentam três diferentes tipos de canais A-Frame denominados SPEMAT, KPEMAT e PEMAT Angular. Cada canal apresenta uma particularidade e serão representados a seguir.

- KPEMAT: Teoricamente somente produtos de baixa e média saída, de formato cúbico e cilíndrico deveriam ser alocados neste módulo. Entretanto,

alguns produtos estão aqui posicionados devido ao seu formato e impossibilidade de separação em outros módulos automáticos, pois não atendem a especificação do fabricante das linhas automáticas. No caso de demanda excessiva, existe a ocorrência de erros de separação causando a rejeição de caixas na conferência, queda na performance de separação obrigatória o que atrasa a montagem de paletes na Expedição.



Figura 4.9 – Canal tipo KPEMAT

- PEMAT ANGULAR: módulo de separação para produtos pesados e de alta saída. Nele estão alocados produtos como colônias, Erva Doce Sabonete em Barra, Shampoos e condicionadores das linhas Ekos, Vegetal e Vitaplan.



Figura 4.10 – Canal tipo PEMAT ANGULAR

- S PEMAT: módulo de separação com maior quantidade de canais. A quantidade de canais x saída é determinante na velocidade da linha

automática (caixas/h). É necessário manter uma quantidade reserva de canais vazios para atender lançamentos, promoções e repacking de embalagens.



Figura 4.11 – Canal tipo SPEMAT

As linhas apresentam as mesmas quantidades de canais e a mesma disposição física. Dependendo do tipo de canal de dispensamento automático, temos diferentes estações. A tabela abaixo especifica a quantidade de canais por estação e total.

Tipo de Canal	Canais por Estação	Qte total de Canais
SPEMAT	60	640
KPEMAT	20	80
PEMAT Angular	40	120

Tabela 4.3 – Quantidade de Canais por Estação

4.2.2 Dificuldades de Acesso

Como mostrado na tabela acima, cada operador é responsável por uma quantidade de canais que apresentam dificuldades de manuseio distintas. Existe uma diferença entre as estações PBL e PEMAT. No caso do PEMAT, levamos em consideração o tempo necessário para reabastecimento do canal e não a sua coleta, como no caso PBL. Além disso, é possível um “estoque de carga de trabalho”: os produtos são empilhados na sua estrutura à espera do dispensamento. Não necessariamente são reabastecidos um por vez. No PBL, a coleta é unitária.

4.2.3 Cronometragem da Dificuldade de Acesso

Com o objetivo de analisar a dificuldade de acesso de cada canal da estação, utilizamos, mais uma vez, o método da Cronometragem. Utilizando o MINITAB Versão 13, técnica DOE, definimos as variáveis que influenciam no processo de reabastecimento dos canais:

- Linha de Separação – 1 e 2;
- Turno de Trabalho – 1, 2 e 3;
- Estação.

A cronometragem levou em consideração o deslocamento do operador até a posição do canal, a “pega” de um único produto da caixa e o reabastecimento no canal. Lembramos que os produtos normalmente são reabastecidos mais do que um por vez. Os resultados foram os seguintes, em segundos:

PEMAT - Linhas 1 e 2

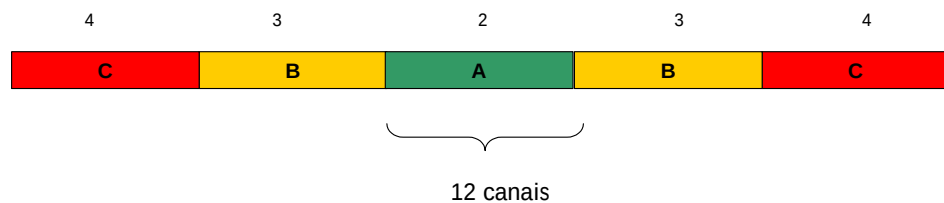


Figura 4.12 – Dificuldade de Acesso por Canal

O desenho representa cinco regiões, cada qual contendo 12 canais. A região A é considerada de fácil acesso, pois se encontra na frente do operador. Este leva 2 segundos para o reabastecimento. Já as regiões B, um pouco mais afastadas, apresentam um grau de dificuldade de acesso um pouco maior e assim por diante.

As características físicas dos produtos como a forma, o peso e o tamanho podem ser considerados um terceiro fator, uma vez que a dificuldade de manusear um determinado produto afeta o seu respectivo tempo de separação.

4.2.4 *Quantidade de Canais por Produto*

O sistema A-Frame possibilita a utilização de mais de um canal por produto nas linhas de separação. Essa flexibilidade aumenta a eficiência de separação e equilibra a carga de trabalho entre as estações. Entretanto, é necessário um estudo para definir exatamente a quantidade necessária de canais por produto.

Para termos uma previsão de canais por produto são necessários dois estudos:

- Produtividade das linhas de separação: quantidade de minutos trabalhados por dia ou semana;
- Quantidade de itens separados por minuto por canal de cada produto.

Se fizermos a multiplicação desses dois valores chegamos à:

$$\text{Minutos trabalhados por dia} \times \text{Itens separados por minuto por canal} = \\ \text{Saída máxima semanal por canal por produto}$$

Por exemplo, temos que o Shampoo camomila terá uma previsão de venda de 200.000 itens no ciclo (3 semanas). Quantos canais serão necessários para que a separação não seja comprometida e que o trabalhador não fique sobrecarregado?

Inicialmente, uma análise de produtividade das linhas foi realizada. Foram coletados dados semanais e, posteriormente, mensais de cada linha de separação. Verificando o gráfico a seguir, podemos detectar alguns pontos de trabalho intensivo (Dia das Mães e Natal – Abril e Novembro).

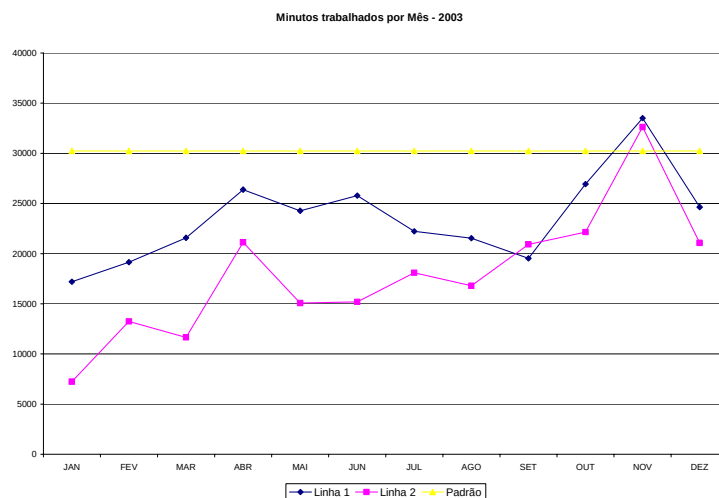


Figura 4.13 – Minutos trabalhados por mês em 2003

Detalhando o gráfico mensal em semanal, chegamos ao seguinte comportamento:

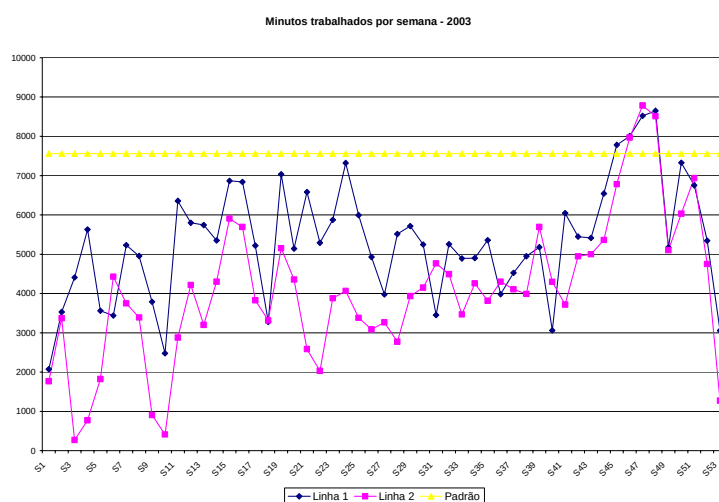


Figura 4.14 – Minutos trabalhados por semana em 2003

A Natura trabalha normalmente com 3 turnos diários, seis dias por semana. Desconsiderando paradas para almoço, jantar, ginástica laboral e outras atividades extras, temos 21 horas produtivas por dia. A linha amarela corresponde a essas horas produtivas, a produtividade objetivo.

Analisando os gráficos, verificamos que essa produtividade é possível e já foi ultrapassada durante períodos de pico de vendas. Portanto, para o cálculo de quantidade de canais para cada produto utilizaremos essa produtividade.

Para a segunda análise, foi realizado um teste com um produto em promoção: o Hidraplant.

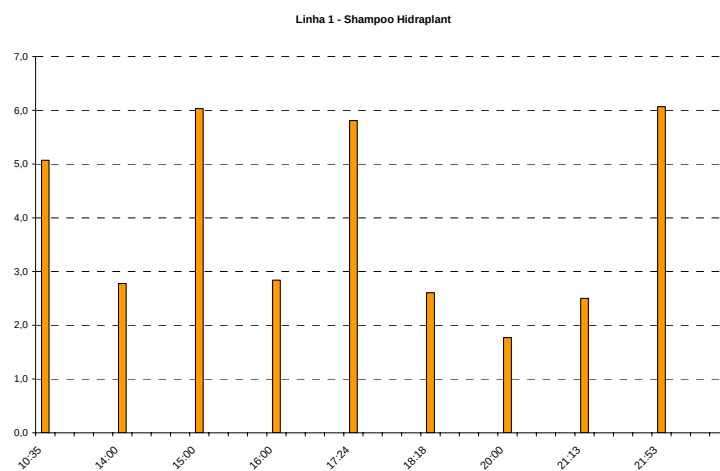


Figura 4.15 - Saída média de peças por minuto por canal na Linha 1

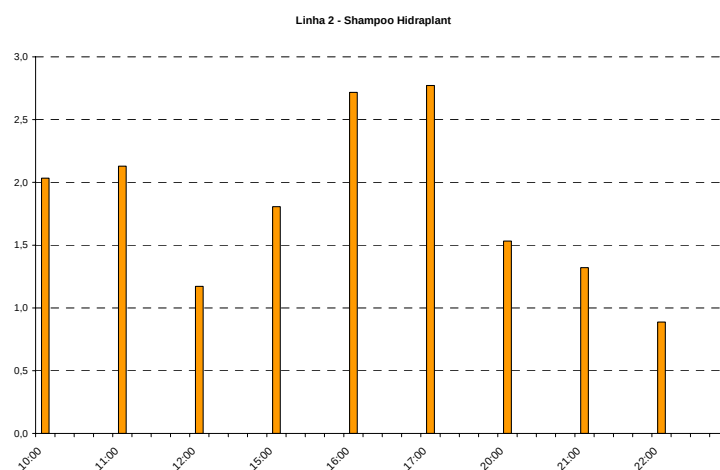


Figura 4.16 – Saída média de peças por minuto por canal na Linha 2

Os gráficos acima correspondem à saída média de peças por minuto em diferentes horas do dia. Quando a saída ultrapassou 5 peças por minuto, foram encontrados problemas mecânicos, como falha do dispenser.

Outros testes foram feitos com produtos que não estavam em promoção para se chegar a um valor que pudesse ser válido nos diferentes picos de vendas. Associando à experiência de pessoas na linha, manutenção e administrativo, chegamos à conclusão de que a saída de 1 item por minuto era o melhor valor a ser adotado.

Fazendo-se, portanto, a multiplicação, temos:

$$1260 \text{ minutos por dia} \times 1 \text{ item por minuto por canal} =$$

$$1260 \text{ produtos por canal por dia}$$

Isso significa que a partir da previsão de vendas, podemos encontrar a quantidade de canais necessários para atender cada produto. Voltando ao exemplo do Shampoo Camomila:

$$200.000 \text{ por 3 semanas} = 66.667 \text{ por semana} = 11.111 \text{ itens separados por dia}$$

$$\text{A saída máxima por canal é de 1260 itens: } 11.111 / 1260 = 9 \text{ canais necessários}$$

Podemos, agora, prever com maior exatidão se a linha terá capacidade de alocação para todos os produtos do ciclo. Nem sempre podemos utilizar o número de canais necessários devido ao esgotamento de canais de cada linha, mas podemos fazer um monitoramento aumentando e reduzindo canais dos produtos já alocados.

4.3 O Balanceamento das Linhas de Separação

Uma das principais funções do Planejamento Operacional é o Balanceamento das linhas de separação de pedidos. Balanceamento, neste contexto, se refere à determinação da posição de produtos nas várias localizações das estações de picking. Ou seja, o produto deve ser alocado a um canal e a uma estação, respeitando-se as restrições de cada tipo de sistema de picking.

O Balanceamento é composto de várias atividades, divididas em Planejamento (Planejamento Operacional) e Execução (Manutenção e Estoque):

Planejamento:

- Redução de Canais: na primeira semana do ciclo, são feitas análises de redução de canais dos produtos que foram promocionados ou lançados no ciclo anterior. Os produtos que apresentam separação nula nos últimos cinco dias também são retirados das linhas;
- Análise dos novos produtos e promoções: é feita uma listagem de todos os produtos que serão lançados e promocionados. O estoque disponibiliza um item de cada produto para análise das propriedades de separação destes.
- Planejamento do novo balanceamento:
 - o Levantamento da estimativa de vendas destes produtos;
 - o Quantidade de canais necessários por produto;
 - o Levantamento da carga de trabalho atual;
 - o Projeção da carga de trabalho futura;
 - o Levantamento de necessidade de alterações DE PARA (trocas de posições entre produtos);
 - o Definir posições de produtos.

Execução:

- Retirada dos produtos com separação nula nos últimos cinco dias: o estoque é responsável por essa atividade;
- Redução dos canais: mais uma vez, o estoque é responsável pela retirada do produto da canaleta;
- Validação de alterações do novo ciclo: o Planejamento Operacional e a Manutenção verificarão a possibilidade das alterações programadas, como, por exemplo, espaço físico, semelhança de produtos localizados próximos um ao outro e tempo estimado para as alterações.
- Alterações do tipo DE PARA;
- Inclusão dos novos produtos e lançamentos.

O balanceamento é feito a cada 21 dias, correspondente ao ciclo de vendas. Todas as atividades de planejamento são feitas manualmente, sem o auxílio de programas de otimização. Algumas destas tarefas que são repetitivas e não agregam valor ao processo poderiam ser automatizadas.

5 O PROJETO

5.1 Objetivo do Projeto e do Sistema

5.1.1 Ferramenta Visual do Processo

A primeira etapa do projeto consiste na criação de uma ferramenta visual que auxilie o acompanhamento e entendimento de todo o processo de separação. As estações foram desenhadas conforme a figura abaixo.

Linha Automática 1 - Picking by Light
Estação 1 e 2 (espelho)

3o nível	50036	50035	50034	50033	50032	50031	50030	50029	50028	50027	50026	50025
Código	50021134	50023777	50021193	50025331	50019021	n	50022118	50025346	50021147	50022230	50024406	50024417
Descrição	UNICA-B	UNICA-G	UNICA-L	CPV-CAM	CPV-CAI	n	AGUAS N	ESSENCI	UNICA-B	CPV-SAC	UNICA-B	FACEE N
Saída Diária	19	8	44	14	30	n	173	0	17	95	11	33
Saída 5 dias	78	30	130	53	112	n	677	0	54	328	32	125
Nível	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C
Sugestão	C	C	B	C	n	A	n	C	B	C	C	C
2o nível	50024	50023	50022	50021	50020	50019	50018	50017	50016	50015	50014	50013
Código	50024538	n	50019026	9621003	50025295	50023484	50028313	50025296	50023205	50001312	50025088	50025337
Descrição	UNICA-L	n	CPV-ENV	TAROT-D	UNICA-D	NATURA	NATURA	UNICA-D	NATURA	CREME D	EKOS-DE	CPV-CAM
Saída Diária	21	n	77	334	33	85	285	32	143	167	56	11
Saída 5 dias	71	n	253	1362	85	284	961	85	527	665	207	52
Nível	C	C	B	B	A	A	A	A	B	B	C	C
Sugestão	C	n	B	A	C	B	A	C	A	A	B	C
1o nível	50012	50011	50010	50009	50008	50007	50006	50005	50004	50003	50002	50001
Código	50021139	50024259	50025439	50024264	50029101	50024946	50027173	50023922	50027174	10415002	n	50021151
Descrição	UNICA-B	FACE N	FITAS O	FACES D	CHRONOS	UNICA-D	NATURA	UNICA-L	NATURA	ERVA DO	n	UNICA-B
Saída Diária	8	22	238	1035	2149	488	785	269	1160	85	n	17
Saída 5 dias	40	74	714	5046	6070	593	4693	722	2285	284	n	52
Nível	C	C	B	B	A	A	A	A	B	B	C	C
Sugestão	C	C	A	A	A	A	A	A	A	B	n	C



4o nível	60048	60047	60046	60045	60044	60043	60042	60041	60040	60039	60038	60037
Código	n	50023852	50023605	50020387	50021191	50023889	50020390	50008642	50008687	n	50021733	n
Descrição	n	UNICA-S	DEMO-FL	UNICA-B	UNICA-L	UNICA-S	UNICA-B	NATURA	NATURA	n	FACES N	n
Saída Diária	n	5	0	21	98	14	20	9	90	n	12	n
Saída 5 dias	n	19	1	79	384	37	67	30	329	n	63	n
Nível	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C
Sugestão	n	C	n	C	B	C	C	C	B	n	C	n
3o nível	60036	60035	60034	60033	60032	60031	60030	60029	60028	60027	60026	60025
Código	50027206	50021956	12300007	50022117	50021189	50025344	50025389	50021148	50024066	50021498	50021142	n
Descrição	UNICA-N	UNICA-B	FACES N	AGUAS N	UNICA-S	CPV-CAM	NATURA	UNICA-B	LAMINA	UNICA-B	UNICA-B	n
Saída Diária	1	9	19	120	20	2	14	24	237	12	15	n
Saída 5 dias	6	31	81	444	84	7	55	71	714	41	54	n
Nível	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C
Sugestão	C	C	C	A	C	C	C	C	A	C	C	n
2o nível	60024	60023	60022	60021	60020	60019	60018	60017	60016	60015	60014	60013
Código	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Descrição	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Saída Diária	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Saída 5 dias	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Nível	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sugestão	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1o nível	60012	60011	60010	60009	60008	60007	60006	60005	60004	60003	60002	60001
Código	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Descrição	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Saída Diária	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Saída 5 dias	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Nível	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sugestão	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

Figura 5.1 – Ferramenta Visual da Linha

Em cada canal temos a alocação de um produto, definido pelo código e descrição do material. O código é utilizado como variável de busca nos bancos de dados de histórico de separação, tanto diário como cinco dias de vendas. Esses valores possibilitam o monitoramento da saída de cada SKU, tendências e comportamentos em promoções, lançamentos e baseline.

A escolha do endereço para cada item é feita através de uma classificação ABC dos produtos. Dados diários de separação são classificados em ordem decrescente e a porcentagem acumulada de separação é calculada:

- Os produtos A correspondem a 80% da separação. Atualmente são 190 produtos A;
- Os produtos B correspondem de 80 a 90% da separação. Aproximadamente 110 produtos da linha são B;
- Os produtos C correspondem de 90 a 100% da separação. Essa faixa abrange uma grande quantidade dos produtos da linha, em torno de 420 itens.

Cada estação apresenta posições que foram definidas como A, B e C, baseando-se na dificuldade de acesso a cada endereço. Portanto produtos A devem ser alocados nas posições A e assim por diante.

A ferramenta visual indica qual o nível (A, B e C) de cada posição e a sugestão de cada produto (classificação ABC). Se esses dois valores não são correspondentes, a célula é pintada (cor azul) indicando que o produto não está na posição mais adequada.

É possível, portanto, um monitoramento de cada estação de trabalho e acompanhamento do balanceamento da linha. Entretanto, ainda não são realizadas rotinas de otimização do processo.

5.1.2 Atividades Rotineiras – Definição da Quantidade de Canais

O próximo passo anterior à otimização do processo corresponde a atividades de preparação da linha para o novo ciclo de vendas:

- Atividade 1: Separação Nula – todos os produtos que apresentam separação nula nos últimos cinco dias devem ser retirados da linha. Normalmente são produtos descontinuados ou brindes do ciclo.
- Atividade 2: Redução de Canais – produtos que estavam em promoção ou lançamentos ocupam geralmente mais de um canal na linha. Esse cálculo foi explicado nos capítulos anteriores. Com o término do ciclo, a redução de canais por produto deve ser realizada, liberando, assim, posições para as próximas estratégias de vendas.
- Atividade 3: Aumento de Canais – existem, ainda, alguns comportamentos de vendas que não podem ser previstos com antecedência, principalmente lançamentos. Um monitoramento é realizado para verificar se há necessidade de aumentar a quantidade de canais para determinados itens.

Todas essas atividades são extremamente importantes para o balanceamento da linha. Estas são consideradas rotineiras, pois devem ser realizadas sempre duas semanas antes do próximo ciclo. Um dos objetivos deste trabalho é automatizar essas atividades, gerando relatórios com todas as movimentações necessárias de exclusão ou inclusão de produtos na linha.

5.1.3 Otimização do Processo de Alocação de Produtos

O principal objetivo do presente trabalho é a otimização do processo de separação de pedidos nas linhas Picking By Light e A-Frame. A otimização está intrinsecamente ligada ao balanceamento, isto é, à determinação da posição de produtos nas várias localizações das estações de picking.

Pode-se afirmar, portanto, que a eficiência da separação de pedidos depende da carga de trabalho total da linha e de cada estação, já que a carga de trabalho é uma estimativa do tempo de trabalho consumido por um operador frente a uma demanda, que conjuga o número de acessos com suas respectivas dificuldades de acesso.

A frequência de questões como “onde alocar esse produto”, “quantos canais são necessários”, “como medir a eficiência de separação” é uma das grandes inspirações desse projeto. Não existem sistemas otimizadores e de ajuda à decisão para o problema de balanceamento.

Para a compreensão do problema, foram detalhadas as premissas, restrições e a função objetivo da programação.

Função Objetivo da programação

Distribuir a carga de trabalho de forma homogênea entre as estações e minimizar a carga total de trabalho, realizando o mínimo de trocas possíveis.

Premissas

- Endereço na linha – indica uma determinada localização, que contempla: a estação de trabalho e a posição da estação.
- Posição (da estação) - indica a posição relativa do produto dentro de uma estação, contemplando a estante do flow-rack (caso cada estação tenha mais de uma estante), o nível da estante (prateleira), e o número do canal (coordenada horizontal de cada estante).
- Número de acessos – representa o número de acessos necessário para coleta das unidades de uma linha do pedido.

- Dificuldade de acesso – representa o grau de dificuldade de coleta de determinada posição. Como usualmente as estações de trabalho são similares entre si, cada posição de uma estação terá a dificuldade de acesso igual às das posições correspondentes das demais estações. Numericamente este valor corresponde ao tempo médio de um acesso à posição.
- Carga de trabalho – é uma estimativa do tempo de trabalho consumido por um operador frente a uma demanda, que conjuga o número de acessos com suas respectivas dificuldades de acesso.

Restrições

- (1) Atribuir todo produto a algum endereço;
- (2) Permitir a cada posição o recebimento de no máximo um produto;
- (3) Impedir que a carga de trabalho de alguma estação ultrapasse o limite de tolerância do balanceamento;
- (4) Limitar o número de trocas de posição entre as estações;
- (5) Restringir o número de trocas de posição dentro das estações;
- (6) Respeitar as restrições físicas das linhas e dos produtos;
- (7) Nem todo endereço precisa estar ocupado;
- (8) Considerar a posição inicial de todos os produtos na linha;
- (9) Os novos produtos devem ser considerados na hora do balanceamento.

5.2 Relevância do Projeto

O projeto, definido no capítulo anterior, evidencia a necessidade de monitoramento da separação de produtos, a preparação da linha para o ciclo de vendas e a otimização do balanceamento baseada no aumento da eficiência de separação. Os parágrafos seguintes justificam essas atividades para a melhoria do planejamento do Picking.

O gráfico abaixo ilustra a necessidade de canais nas linhas de separação para os produtos vigentes por semana de 2004. A seqüência “*Otimizado*” é calculada utilizando-se o valor máximo de saída por canal por dia (1260 produtos). Lembramos que o número máximo de canais por produto é oito. As próximas seqüências restringem esse valor máximo para seis e posteriormente quatro e um.

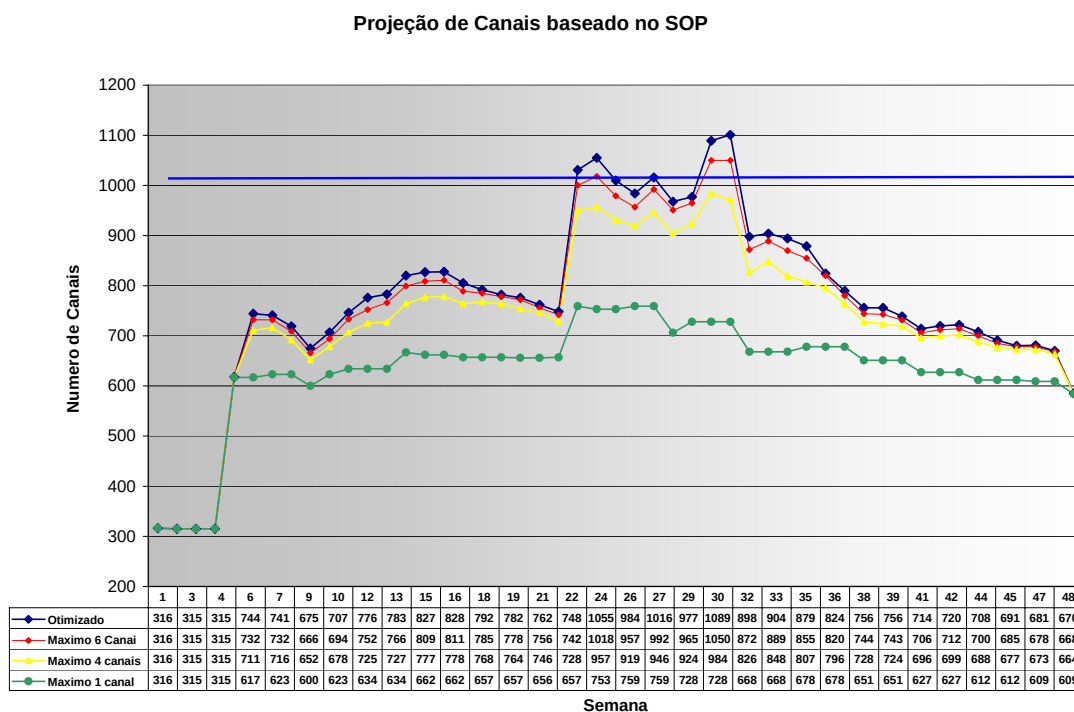


Figura 5.2 – Projeção semanal de canais para 2004

Podemos visualizar que as seqüências apresentam a mesma tendência por semana. A reta azul corresponde à capacidade da linha de separação. A partir da semana 22 de 2004, a necessidade de canais ultrapassa a capacidade atual (1068 canais). Isto significa que se precisa de mais endereços na linha do que o disponível.

Pode-se até diminuir a quantidade de canais em alguns itens, mas isto traria queda de performance, o que é incompatível com a necessidade do aumento da velocidade para atendimento da demanda no futuro. A figura mostra esquematicamente este efeito da diminuição do número de canais provocando o aumento do tamanho de pedidos na esteira e a conseqüente diminuição da capacidade de separação: a velocidade de caixas por hora é resultante da quantidade de pedidos na esteira. Se o tamanho dos pedidos for curto a velocidade é maior, caso contrário ela diminui, pois menos produtos chegam até a caixa da consultora para serem depositados, num mesmo período.

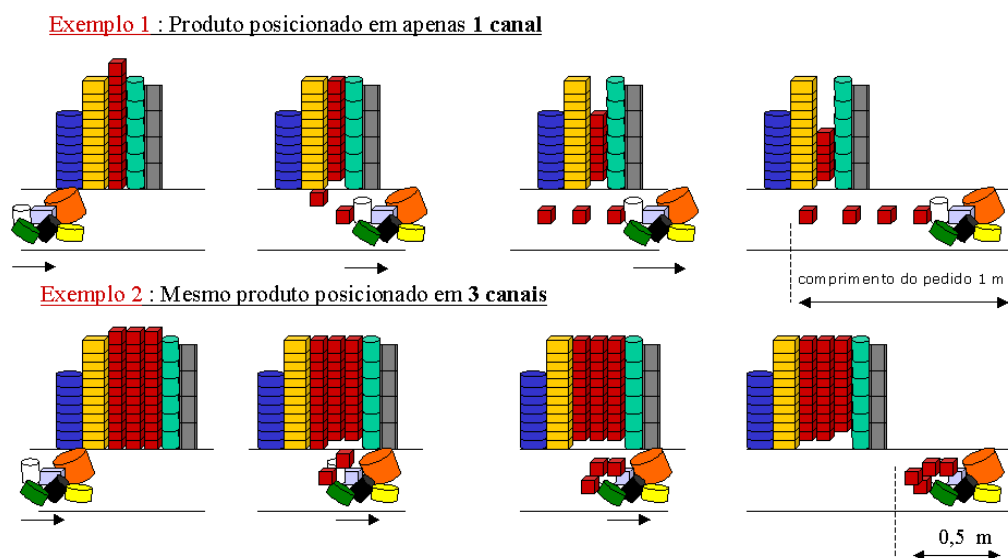


Figura 5.3 – Efeito do número de canais por produto

Torna-se, portanto, extremamente necessária uma ferramenta que auxilie na limpeza das linhas (retirada de produtos descontinuados e redução de canais de produtos que não estão em promoção), liberando endereços para as próximas estratégias de vendas.

Entretanto, a limpeza das linhas não necessariamente otimiza o processo de alocação dos produtos. Os canais, agora liberados, podem apresentar restrições físicas ou se localizarem em zonas não apropriadas (divisão ABC). São necessárias trocas entre produtos com o objetivo de melhorar a eficiência da separação de pedidos.

Essa eficiência está intrinsecamente ligada à movimentação dos produtos e à dificuldade de acesso a cada endereço, portanto, à carga de trabalho da estação e total. O objetivo da otimização é minimizar a carga de trabalho e realizar o mínimo de trocas possíveis.

Por que realizar o mínimo de trocas possíveis? Quando os pedidos são enviados para as linhas de separação, o sistema operacional associa o produto ao canal em que este está alocado (indexação). Assim, se tivermos que fazer uma alteração na alocação de produtos, a linha deve estar sem pedidos para evitar inconsistências, pois, após o reposicionamento de um item, caso existam pedidos anteriores à alteração, estes pedidos irão solicitar o canal em que o produto não está mais alocado.

A parada da linha dura, aproximadamente, duas horas, tempo necessário para término da separação dos pedidos e da conferência das caixas. Qualquer alteração exige essa parada, por isso a importância do mínimo possível de movimentações.

O gráfico abaixo ilustra a quantidade de alterações realizadas por mês. Com o início do uso da ferramenta que auxilia na limpeza das linhas, o número de exclusões aumentou, evidenciando a aplicabilidade e eficácia dessa funcionalidade. Isso possibilita uma melhor estratégia para o próximo ciclo. O mês de Julho apresenta o maior número de movimentações porque dois ciclos tiveram início neste mês.

Verifica-se uma tendência de aumento de alterações, principalmente movimentações DE PARA (entre produtos), devido ao esgotamento de canais vazios (alta porcentagem de utilização dos endereços).

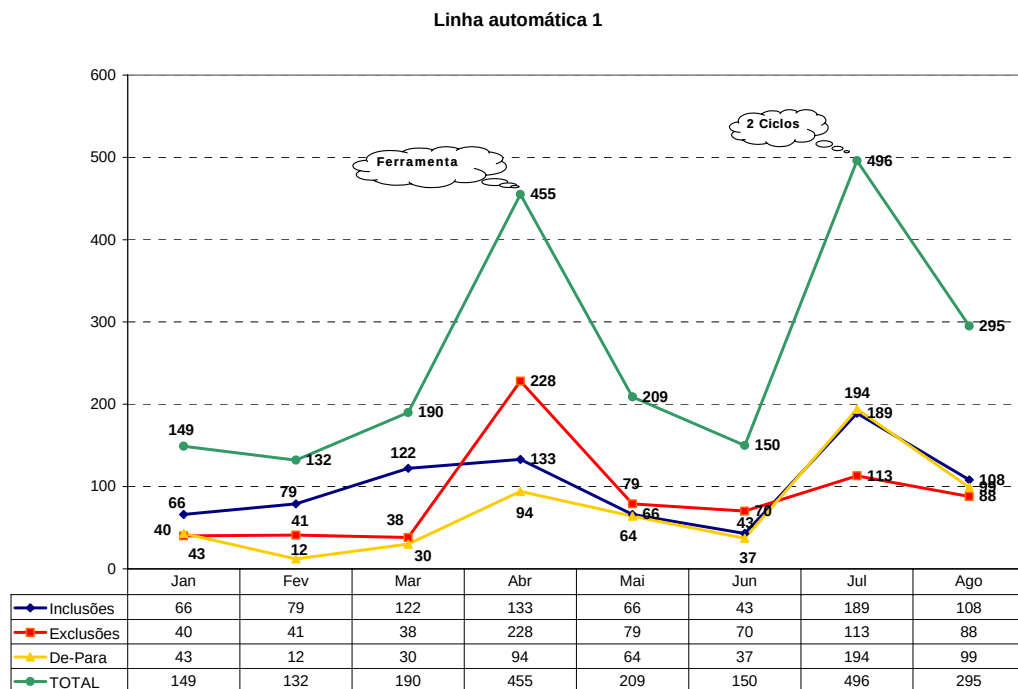


Figura 5.4 – Número de movimentações realizadas por mês de 2004

Considerando-se a capacidade atual, temos 1068 canais disponíveis para alocação. Qual a melhor disposição de produtos para aumento da separação de pedidos por hora e equilíbrio da carga de trabalho por estação? Esse é um dos grandes objetivos do modelo de programação matemática.

5.3 Etapas do Projeto

O projeto consistirá em quatro etapas:

1. Análise de dados importantes para o Balanceamento
 - Avaliação das características dos produtos e pedidos;
 - Restrições Físicas (altura, peso e fragilidade dos produtos);
 - Média de unidades/cx. fechada e fragmentada;

- Demanda (histórico e previsão de vendas);
- Análise do efeito da sazonalidade na curva de produto;
- Detalhamento da Separação de Pedidos;
- Número e facilidade de “pega”;
- Tempo de deslocamento dos separadores;
- Análise dos fatores de produtividade;
- Detalhamento do Problema de Balanceamento;

2. Definição da Lógica a ser utilizada

- Pesquisa bibliográfica de tipos de programação matemática;
- Definição do tipo de linguagem a ser utilizada;

3. Elaboração da definição funcional do software

- Mecanismos de entrada e saída de dados do software a ser desenvolvido;
- Funcionalidades;
- Desenvolvimento do método de balanceamento capaz de maximizar a capacidade de processamento dos pedidos;

4. Monitoramento do software

- Implementação do sistema na empresa, treinamento dos usuários e acompanhamento;
- Resultados Obtidos;

6 ANÁLISE E LEVANTAMENTO DE DADOS PARA O BALANCEAMENTO

6.1 Avaliação das Características dos Produtos e Pedidos

A diversidade brasileira no que tange à geografia e à demografia representa desafios e oportunidades para fabricantes de cosméticos, fragrâncias e produtos de higiene pessoal. O território brasileiro com seus 8,5 milhões de quilômetros quadrados possui diferenças climáticas significativas, e os estilos de vida variam bastante das regiões altamente urbanizadas ao longo do Sudeste para as regiões de baixa densidade populacional do Norte. Adicionalmente, as 175 milhões de pessoas no Brasil representam uma complexa mistura de origem Africana, Européia e Asiática. Ainda que o mercado brasileiro contenha milhões de consumidores e produtos para o mercado em massa, essas diferenças fornecem oportunidades para os produtores desenvolverem produtos especializados que freqüentemente podem competir com êxito contra os produtos existentes para o mercado de massa.

A Natura, por sua vez, aproveita essa diversidade para desenvolver produtos especializados para cada região e tipos de pele. Como exemplo, os hidratantes corporais são utilizados em regiões mais frias e as águas de banho, em locais mais quentes. Entretanto, essa estratégia dificulta a definição do perfil do pedido Natura.

O pedido difere por região, por ciclo de vendas e sazonalmente. As promoções têm comportamentos, tendências e focos diferentes por tipos de cidades e, por consequência, pela origem da sociedade presente. No Nordeste, por exemplo, a venda de xampus para cabelos crespos é mais alta do que no Sudeste.

Diversas pesquisas foram desenvolvidas para melhor conhecimento dos pedidos realizados pelas consultoras. Sabe-se que os produtos classificados como A (correspondente a 80% da venda) estão presentes em 95% dos pedidos. Já os produtos C estão em 75% dos pedidos. Isso significa que, apesar de baixa venda, este

está na maioria dos pedidos. A classificação ABC dos produtos difere por ciclo se considerarmos as promoções e lançamentos.

Como a separação dos pedidos é feita no dia de captação (98%), seria impossível balancear as linhas por região. Sabemos que alguns produtos apresentam a mesma aceitação regionalmente, mas muitos são específicos. Portanto, para a otimização das linhas de separação iremos utilizar a previsão de vendas nacional e o histórico de separação.

A Expedição trabalha com transportadoras específicas por regiões. Os horários são distribuídos ao longo do dia para atender restrições tanto da Natura como das empresas terceirizadas. Isso significa que não existe flexibilidade para a mudança da ordem dos pedidos a serem separados. Os pedidos são captados e separados em uma ordem cronológica por região.

Os produtos Natura estão divididos nas seguintes categorias:

- Gestante e Bebê: produtos de cuidado para a mãe e bebê como óleos, xampu, condicionadores, colônias e sabonetes;
- Criança: mesmo tipo de produtos mencionados acima, para crianças;
- Maquiagem: batom, lápis, base, sombras e outros tipos de maquiagem;
- Tratamento para o Rosto: creme, gel, anti-sinais e limpeza;
- Homem: produtos de barbear, desodorante e cremes para o rosto;
- Cabelos: xampu, condicionador, máscara de tratamento, creme para pentear...
- Proteção Solar: protetor, autobronzeador, produtos pós-sol...
- Perfumaria Feminina e Masculina;
- Corpo;
- Crer pra Ver: camiseta, embalagem e caneca.

6.2 Restrições Físicas

Os produtos, em sua maioria, apresentam cartuchos retangulares que auxiliam a separação na linha automática (A-Frame). Estes podem ser alocados em qualquer tipo de canal, sem restrições físicas.

Os produtos da linha Crer Pra Ver só podem ser separados no Picking By Light. Eles são camisetas, embalagens e produtos frágeis, como canecas, que devem ser coletados manualmente pelos colaboradores e colocados na caixa. Adicionalmente, esse tipo de produto apresenta uma grande variação de peso, dificultando o processo de conferência por peso. Para contornar esse tipo de problema, eles são alocados após a balança. O mesmo ocorre com perfumes frágeis, bolsas e brindes.

Produtos mais pesados como xampus e kits de sabonetes também exigem cuidados de separação. Normalmente são alocados no PEMAT ANGULAR, que diminui o risco de dano ao produto e utiliza dispensers especiais, também usados para os refis. Finalizando, os estojos são alocados no KPEMAT que possibilita alocação de produtos maiores sem erros e danos ao produto.

6.3 Média de Unidades por Caixa Fechada e Fragmentada

Para cada linha de separação e tipo de pedido, devem ser definidos os tipos de embalagem que podem ser utilizados (caixa grande ou caixa pequena). Esta informação será parametrizada, podendo ser alterada pelo usuário quando for necessário.

Com base nessas informações, é calculada a quantidade de embalagens necessárias para acondicionar os produtos do pedido. Sempre que a quantidade de embalagens necessárias for maior que uma, os produtos solicitados em mais de uma unidade devem ser distribuídos eqüitativamente pelas embalagens.

Por exemplo, o pedido ocupa duas caixas e solicita cinco desodorantes da mesma marca. Na embalagem um devem estar três desodorantes e na dois, dois desodorantes.

A média de unidades por caixa varia de acordo com o tipo de promoção, por exemplo, se o produto promocionado tem um grande volume, a quantidade máxima por caixa diminui. O gráfico abaixo ilustra a média de unidades por caixa por dia. Podemos visualizar que, apesar de picos e vales, esse valor está em torno de vinte e cinco produtos.

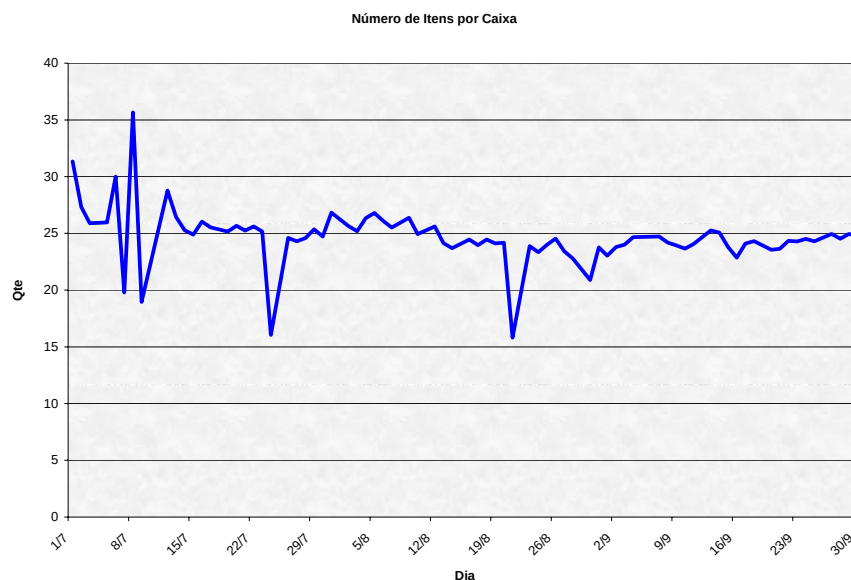


Figura 6.1 – Número de Itens por Caixa

Para pedidos de consultoras, o sistema de separação não disponibiliza caixa fechada. Por exemplo, a consultora compra 50 cremes corporais e 5 desodorantes. Cada caixa comporta 30 cremes e 25 desodorantes. Isso significa que seria possível o envio de uma caixa fechada (com 30 cremes) e a outra com o restante dos produtos. Entretanto, a lógica de distribuição dos produtos nas caixas não ocorre assim. Os produtos são distribuídos equitativamente entre as caixas durante o processo de separação. Portanto, trabalharemos com o indicador de média de unidades por caixa fragmentada e não caixa fechada.

6.4 Demanda – Histórico e Previsão de Vendas

A previsão de vendas é feita pela área de Planejamento e Controle Logístico (PCL). A previsão tem como variáveis todas as estratégias de vendas definidas ao longo do ano (ciclos), a sazonalidade e eventos realizados pela empresa.

Para os produtos que já estão no portfólio por um certo período de tempo são calculados baselines, isto é, a média de vendas por mês sem as promoções e eventos, e a tendência de crescimento. Quando existem promoções, a previsão tem como base outros fatores, como comportamentos anteriores durante as promoções (histórico de vendas). Para os lançamentos, são feitas pesquisas de mercado e estimativas, já que não existe um histórico de vendas.

O Planejamento Operacional utiliza a previsão como dado de entrada para o balanceamento das linhas de separação de pedidos. Além disso, o histórico de separação dos últimos cinco dias é realizado para acompanhar o comportamento das promoções, a necessidade de canais e a acuracidade da previsão.

6.5 Análise do Efeito da Sazonalidade na Curva do Produto

A estratégia de vendas da Natura é baseada em ciclos. Cada ciclo corresponde a três semanas de vendas. Durante esse período são definidas promoções, lançamentos e descontinuações de produtos. A consultora recebe o Vitrine, material de comunicação que reúne numa única peça todos os produtos da marca, com preços, conceitos de linhas, promoções e lançamentos.

O Marketing e o Planejamento Mercadológico são os responsáveis pela estratégia de cada ciclo. Podemos concluir que os produtos não apresentam um histórico de vendas apenas de acordo com estações do ano ou datas importantes, como por exemplo, Dia das Mães ou Natal. Devemos sempre analisar se o produto está em promoção no ciclo para justificar grandes vendas.

A curva do produto depende, portanto, de alguns fatores:

- Promoção ou Lançamento no Ciclo;
- Sazonalidade: como exemplo protetor solar tem uma maior saída no verão;
- Ações de Marketing: Saldão para acabar com o estoque do produto, Eventos como São Paulo Fashion Week e Encontros Natura.

São feitos relatórios que mostram históricos de venda que desconsideram esses fatores de sazonalidade. Esse padrão de venda é denominado baseline. O baseline de cada produto é utilizado na previsão de vendas.

6.6 Detalhamento da Separação de Pedidos

O processo de separação de pedidos inicia-se com a captação através do Centro de Atendimento Natura, Internet ou das promotoras de vendas. Esses pedidos são sujeitos à aprovação de crédito e posteriormente enviados ao Faturamento, localizado no Picking. O fluxo abaixo detalha todas as fases do processo.

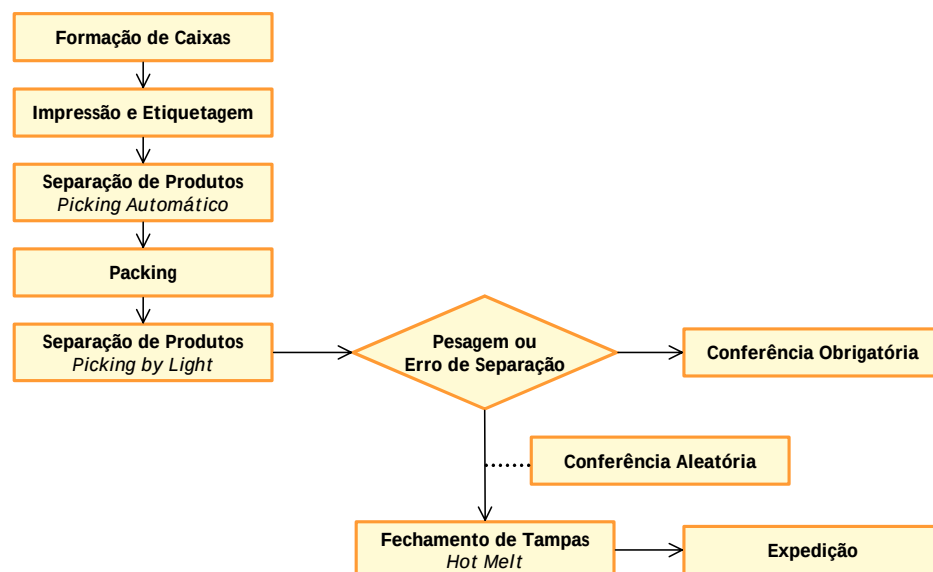


Figura 6.2 – Fluxograma da Separação de Pedidos

O sistema de separação da Natura transforma os pedidos em volumes, isto é, em caixas, já que um pedido pode ser composto por mais de uma caixa (Formação de Caixas). Uma pessoa é responsável pelo envio desses volumes para as linhas de separação. Esse envio é programado durante o dia de acordo com as regiões e setores de vendas, horário de transportadoras e planejamento da área de distribuição.

A impressão e etiquetagem das caixas são realizadas no início da linha. Cada caixa apresenta uma etiqueta que contém informações da consultora, como, por exemplo, o nome e endereço, do pedido (produtos que devem estar na caixa) e da rota da transportadora (região ou setor).

Concomitantemente, os produtos começam a serem dispensados automaticamente na linha A-Frame. Esses produtos são colocados manualmente nas caixas já etiquetadas através de bandejas (Packing).



Figura 6.3 – Packing

Se necessário, a caixa passará pelo Picking by Light para coletar outros produtos do pedido. Finalizando a coleta, a caixa é pesada. O processo pode apresentar dois tipos de erro: pesagem e erro de separação. Se o peso da caixa corresponde ao peso teórico mais ou menos os limites utilizados de desvio (no caso de 70 gramas) e não apresentar erros de separação, essa caixa continua o processo.



Figura 6.4 – Conferência Obrigatória

Se ocorrer o contrário, a caixa será desviada para a conferência obrigatória. Existem diversos tipos de erro de separação: canal vazio, canal encravado ou problema no dispenser. O colaborador confere produto por produto e resolve o problema de falta.

O fechamento das caixas é feito automaticamente através de um equipamento denominado Hot Melt. O processo é finalizado na expedição.

A conferência aleatória é um controle estatístico do processo. Algumas caixas são escolhidas como amostra para a conferência da separação.

6.7 Número e Facilidade de Pega

Em uma primeira análise, a facilidade de pega não é considerada no problema de balanceamento das linhas de separação. Consideramos pega como sendo o manuseio do produto durante a coleta ou reabastecimento.

Existem diversos tipos de embalagem, peso e design de produtos. Essas diferenças influenciam durante o processo de separação, especialmente durante o abastecimento. Dependendo do produto, é possível reabastecer mais de um item por vez. Além disso, a quantidade pedida por produto (número) também influencia a eficiência da linha.

Por se tratar de uma característica subjetiva do produto, a “pega” não será uma variável do programa a ser desenvolvido. Posteriormente, esta poderá ser inserida como uma propriedade física do produto.

6.8 Tempo de Deslocamento dos Separadores

O tempo de deslocamento dos separadores apresenta uma natureza diferente em cada tipo de picking:

- Picking by Light: deslocamento lateral e vertical até a posição (endereço) de coleta do produto. Esse deslocamento é de ida ao endereço e volta até a caixa. Definimos esse deslocamento como a dificuldade de acesso de cada canal, isto é, o tempo necessário para a realização da coleta.
- A-Frame: deslocamento lateral até o canal que será reabastecido. Não é contado o tempo de volta ao centro da estação de trabalho. Definimos como dificuldade de acesso o tempo de deslocamento até o canal e reabastecimento de um produto. Lembremos que no A-Frame é possível fazer o reabastecimento de mais de um produto por vez.

6.9 Análise dos Fatores de Produtividade

Os indicadores utilizados pelo Planejamento Operacional são divididos em quatro categorias:

Produtividade:

- Velocidade da Linha (caixas por hora);
- Eficiência da linha (%): cálculo do tempo de separação em relação ao tempo total do processo;
- Caixas separadas por dia;
- Itens separados por dia;

- Backlog: caixas que não foram separadas no dia da captação.

Conferência Obrigatória:

- Quantidade de canal vazio: número de vezes em que o canal foi solicitado, mas não havia produto para ser dispensado;
- Quantidade de canal encravado: número de vezes em que o canal foi solicitado, mas o produto ficou encravado, ou seja, falha no dispensamento;
- Canal Vazio (%): quantidade de canal vazio em relação ao número de caixas separadas:
- Canal Encravado (%): quantidade de canal encravado em relação ao número de caixas separadas:

Recirculação:

- Percentual da quantidade de caixas que recirculou durante o processo de separação. Esse indicador é feito por estação de trabalho PBL.

Paradas na linha:

- Alocação de Produtos;
- Ajuste de canal.

Os indicadores foram definidos no mês de Julho. A coleta de dados é feita diariamente para posterior análise e monitoramento do sistema automático de balanceamento.

6.10 Considerações a respeito do Balanceamento

A alocação dos produtos às suas respectivas posições deve viabilizar o balanceamento entre as estações e ainda permitir que os produtos estejam distribuídos nas posições de acordo com o seu volume de movimentação. Assim a alocação deve ser realizada com dois objetivos concomitantes: o de distribuir os produtos de maior demanda entre as estações e o de minimizar a carga de trabalho total, já que esta varia não somente em função da demanda dos produtos de cada estação, mas também em função das suas respectivas posições.

Além disso, o balanceamento da linha tem a função de evitar a criação de estações gargalos, pois quando o número de caixas que entram em uma determinada estação é superior a sua capacidade de processamento é formada uma fila de caixas dentro da esteira da estação. Assim, ao se esgotar a capacidade da estação, as caixas passam a aguardar a sua entrada sobre a esteira principal, paralisando-a e impedindo que as demais caixas cheguem às outras estações. Isto reduz a produtividade, comprometendo a eficiência de toda a operação.

Na Natura, temos que os produtos de baixa saída, denominados produtos C, estão presentes em 75% do número total de caixas. Isso significa que, apesar da baixa saída, a caixa vai ocupar espaço na estação para o picking. Portanto, é uma variável também super importante durante a alocação. Não podemos simplesmente colocar os produtos C em uma única estação porque obrigá-los a passar por quase todas as caixas pela estação, gerando gargalos.

7 Definição da Lógica a ser utilizada

7.1 Pesquisa bibliográfica de tipos de programação matemática

Diversos modelos foram desenvolvidos para o problema de balanceamento de linhas de separação, preferencialmente para os sistemas de Picking By Light. Foram encontradas poucas referências a respeito do sistema A-Frame, caracterizado por apresentar maiores restrições tanto físicas (operacionais) como computacionais (grande quantidade de variáveis).

Segue abaixo uma análise dos principais modelos utilizados atualmente.

7.1.1 *Petersen (1999)*

PETERSEN (1999) afirma que: “dois tipos de decisão determinam a eficiência da separação de pedidos: a política de estocagem e as rotas de coleta”.

A política de estocagem é a metodologia utilizada para a alocação dos produtos ao endereço de armazenagem. Já as rotas de coleta se referem ao procedimento de coleta, isto é, qual o tipo de organização do trabalho e sistema de picking é utilizado para definir as rotas de cada operador.

O objetivo desse modelo é a minimização da distância percorrida na coleta de mercadorias, maximizando a performance de separação.

7.1.2 *Tompkins (1998)*

TOMPKINS (1998) afirma que para maximizar o fluxo, os itens em estoque (SKUs) devem ser atribuídos aos locais de estocagem com base na relação entre sua atividade de movimentação e o número de posições atribuídas ao SKU.

Este método utiliza dois fatores de decisão simultaneamente: o número de movimentações e o espaço ocupado. Quanto maior o número de movimentações de um produto, maior deverá ser a sua proximidade à expedição, minimizando a distância percorrida na coleta ou, no caso de sistema de picking por zona, mais próximo ao colaborador responsável pela coleta, minimizando o seu deslocamento durante a separação. Já o segundo fator, relativo ao espaço ocupado, dá prioridade aos itens que demandam um menor número de posições na estocagem, pois o custo de oportunidade relativo a este espaço é menor.

7.1.3 *Heragu (1997)*

HERAGU (1997) modela a alocação de produtos na estocagem dedicada como um problema de programação inteira, cujo objetivo é minimizar o custo relativo ao deslocamento.

As variáveis utilizadas neste modelo são:

- p – pontos de entrada e saída;
- m – número de itens;
- n – endereços de estocagem;
- f_{ik} – frequência de viagens do operador para levar o produto i a saída k ;
- c_{ik} – custo por unidade de deslocamento para levar o produto i à saída k ;
- d_{kj} – distância do endereço j até a saída k ;
- S_i – espaço necessário para estocagem do produto i .

A variável de decisão x_{ij} se refere à alocação do produto i ao endereço j . Esta modelagem leva ao clássico problema da alocação, mais precisamente no problema de alocação de tarefas generalizado, também conhecido como GAP (do inglês, generalized assignment problem).

Heragu (1997) também aponta que a solução deste problema tende a organizar os itens segundo um critério baseado na movimentação de cada item e no respectivo espaço ocupado. Para esta constatação é adotada a simplificação de que a proporção dos produtos movimentados é a mesma em todos os pontos de saída da área de armazenagem. Observe-se que esta simplificação não compromete a formulação inicial, pois usualmente os pontos de saída estão muito próximos uns dos outros, além do que normalmente o perfil do pedido (mix de produtos) não depende do seu ponto de expedição.

Para este problema a função objetivo é o somatório do produto de dois fatores pela variável de decisão (x_{ij}):

- O primeiro fator (a_i) é relativo somente a atributos dos produtos e considera: custo do deslocamento, a frequência de movimentações e o espaço ocupado na área de armazenagem;
- O segundo fator (b_j) é relativo a distância da respectiva posição à saída da área de armazenagem.

A função objetivo é minimizada se os produtos de maior fator a_i forem alocados às posições com menor b_j . Para tanto, basta criar duas listas, uma com os itens ordenados de maneira decrescente de acordo com o valor de a_i , e outra com as posições ordenadas de maneira crescente de acordo com o fator b_j . E então, alocar cada um dos produtos aos respectivos endereços da lista das posições.

Desta maneira o problema pode ser resolvido rapidamente e de forma ótima (vide Heragu, 1997) sem que seja necessário resolver o problema de programação inteira. Embora nestas condições este modelo seja exato, cabe colocar que ele considera a coleta de apenas um item por vez, não sendo necessariamente exato nas situações em que os pedidos sejam mais fracionados, caso no qual os operadores coletam mais de um item simultaneamente. Além disto este modelo considera que a atividade de picking é realizada na própria área de estocagem, e não em uma linha de separação.

7.1.4 Busca Tabu

A otimização das linhas de separação de pedidos pode ser alcançada através da alocação do produto ao endereço “mais apropriado” à sua movimentação e características físicas. Essa troca de endereços é estudada através de diferentes métodos de busca e neste trabalho será apresentada a *Busca Tabu* e a *Busca Local Dirigida*.

A *busca tabu* [Glover 1990][Morton 1993] é uma metaheurística de busca local, ou seja, a *busca tabu* é um procedimento heurístico que pode ser aplicado a tipos distintos de problemas de otimização combinatória e que é fundamentado em uma estratégia de busca local. Na *busca tabu* são utilizadas duas estratégias de ação: uma estratégia local, que envolve uma memória de curto prazo denominada lista tabu, um critério de aspiração, além de um critério de avaliação de soluções e uma estratégia global que envolve uma memória de longo prazo e critérios particulares de escolha de soluções. Tanto para a estratégia local quanto para a global são utilizados critérios de parada.

Segundo ATKINSON, PAULO (2003), na busca tabu a estratégia local é um procedimento de busca local no qual um caminho é percorrido ao longo de vizinhanças definidas por algum tipo de movimento. Essa busca local é feita da seguinte maneira:

- Inicialmente a lista tabu está vazia. Para uma dada solução inicial é calculada a vizinhança que poderá ser atingida utilizando o tipo de movimento escolhido;
- A solução inicial e o valor da função objetivo a ela associado são colocados em uma memória que será utilizada ao longo da busca para registrar a melhor solução encontrada;
- Dentre as soluções vizinhas, é escolhida a próxima solução que fará parte do caminho percorrido e que será a próxima solução corrente;
- Os atributos inversos do movimento realizado para modificar a solução inicial na nova solução são armazenados na lista tabu;
- Se o valor da função objetivo associado à solução corrente for menor que o valor armazenado na memória que contém a melhor solução encontrada até o momento, esta é substituída por aquela nessa memória e assim por diante;
- Um critério de parada simples que pode ser utilizado é que não seja ultrapassado um limite para o número máximo de iterações.

A estratégia global é um procedimento que visa definir uma nova solução inicial com base nas informações já conhecidas sobre o comportamento da função objetivo no espaço de soluções. Para tanto, na estratégia global são armazenadas em uma memória de longo prazo soluções e informações adicionais que serão utilizadas para evitar que, durante o reinício da estratégia local, um caminho já percorrido possa eventualmente ser retomado.

7.1.5 Programação Inteira

Segundo LIMA, MAURÍCIO, o balanceamento tem o objetivo de distribuir a carga de trabalho de forma homogênea entre as estações e minimizar a carga total de trabalho, realizando o mínimo de trocas possíveis.

Devendo contemplar as seguintes considerações:

- Todo produto deve ser alocado a algum endereço;
- Cada endereço pode conter apenas um produto;
- Nem todo endereço precisa estar ocupado;
- Os produtos podem ter restrições físicas que começam a sua localização em determinadas posições;
- Deve ser considerada a posição inicial de todos os produtos na linha;
- Os novos produtos devem ser considerados na hora do balanceamento.

Este problema de balanceamento é similar ao problema de alocação de tarefas generalizado (*GAP*), o qual é NP-hard (Guignard e Rosenwein (1989)). Abordagens para tratar o problema incluem métodos heurísticos, métodos para obtenção de limites e métodos exatos. O *GAP* foi utilizado para modelagem e resolução de uma série de problemas reais do mundo empresarial. Entre essas aplicações destacam-se: os problemas de localização (Ross e Soland (1977)), roteamento de veículos (Fisher e Jaikumar (1975)), de programação de recursos e sistemas de manufaturas flexíveis (Savelsbergh (1997)) e problemas de alocação de tarefas em rede de computadores e arquitetura de rede de computadores (Amini e Racer (1994)).

Além da dificuldade referente ao número de variáveis de decisão, a modelagem do problema de balanceamento de linha de *picking* necessita considerar alguns fatores a mais que o clássico problema da alocação de tarefas, entre os quais destacam-se os seguintes:

- Número de produtos trocados na linha deve ser limitado por um valor estipulado;
- Os produtos, normalmente, já estão posicionados na linha e existe uma restrição relativa ao número de trocas permitidas.
- Alguns produtos não podem ser alocados a determinadas posições por questões físicas;
- Produtos podem ser incluídos ou excluídos da linha de separação.

Considerando uma linha de *picking* com as estações sendo similares entre si, pode-se modelar o problema do balanceamento da seguinte forma:

Sejam:

- $I = \{i_1, \dots, i_m\}$ representa as posições dentro de uma estação;
- $K = \{k_1, \dots, k_n\}$ representa as estações de trabalho;
- $J = \{j_1, \dots, j_p\}$ representa os produtos;
- b - carga de trabalho máxima que uma estação pode assumir (capacidade);
- n - número de estações;
- limt_1 – limite do número de trocas de produtos entre as estações;
- limt_2 – limite do número de trocas de produtos em uma mesma estação;
- a_j - número de acessos previstos ao produto j ;
- d_i - dificuldade (ou tempo) de acesso a posição i ;
- c_{ij} - carga de trabalho resultante da alocação do produto j ao endereço i na estação k ;
- x_{ijk} - é variável de decisão e assume 1 caso o produto j seja alocado ao endereço i da estação k e 0 caso contrário;
- p_{ijk} - representa os endereços iniciais dos produtos, antes do balanceamento (assume 1 caso o produto j estivesse localizado no endereço i da estação k e 0 caso contrário).

O problema pode então ser formulado como:

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in J \text{ e } k \in K; \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in I \text{ e } k \in K; \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_j x_{ijk} \leq b \quad \forall k \in K; \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \left| \sum_{i \in I} x_{ijk} - \sum_{i \in I} p_{ijk} \right| \leq \text{limt}_1 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} |x_{ijk} - p_{ijk}| \leq \text{limt}_2 \quad \forall k \in K; \quad (5)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \text{ e } j \in J \text{ e } k \in K; \quad (6)$$

As restrições (1) atribuem todo produto a algum endereço: as restrições (2) permitem a cada posição o recebimento de no máximo um produto; as restrições (3) são relativas ao balanceamento, impedindo que a carga de trabalho de alguma estação extrapole o limite de tolerância do balanceamento; a restrição (4) limita o número de trocas de posição entre as estações; as restrições (5) restringem o número de trocas de posição dentro das estações e finalmente as restrições (6) expressam a natureza binária das variáveis de decisão. O limite b relativo às restrições de balanceamento pode ser calculado usando:

$$b = (\text{carga teórica da linha} / n) \times (1 + \text{margem de tolerância});$$

onde a carga teórica da linha é o valor mínimo da carga de trabalho desprezando as restrições relativas ao balanceamento e às trocas de posição na linha; e a margem de tolerância indica em termos percentuais a discrepância máxima que pode ocorrer entre a carga de trabalho de uma estação e a carga média das estações. A carga teórica da linha é resultado da soma do produto dos elementos de duas listas ordenadas. Uma lista com o número de acessos previstos a todos os produtos ordenados de maneira decrescente e a outra com a dificuldade de acesso de todos os

endereços ordenados de forma crescente. Este resultado representa a solução ótima do modelo ao desprezar-se as restrições de número de trocas e de balanceamento. Isto acontece, porque o produto de maior número de acessos ficaria localizado no endereço de menor dificuldade de acesso e este processo seria repetido em uma série de iterações, considerando a cada iteração os produtos ainda não alocados e as posições ainda não ocupadas. Assim a carga de trabalho seria minimizada, mas algumas restrições violadas.

A prova de que a carga é minimizada de forma ótima é análoga a prova do modelo de Herago (1997), dito anteriormente. Como este modelo desconsidera algumas restrições, pode-se considerar o seu resultado muito otimista, sendo praticamente impossível de ser atingido. Desta maneira, a margem de tolerância sempre terá que ser maior do que um D para garantir a existência de uma solução ótima. Como na prática um desvio no balanceamento de 5% em relação à carga média pode ser considerado desprezível, um valor desta magnitude pode ser utilizado como uma margem de tolerância para aplicação do modelo. Caso a margem de tolerância seja diminuída o modelo se torna mais rígido com relação ao balanceamento e em um caso limite pode não encontrar uma solução viável. Além do ajuste deste parâmetro, a determinação dos limites do número de trocas entre as estações e dentro das estações muito pequenos também podem impedir que o modelo encontre uma solução viável.

A viabilidade da solução dependerá não só da entrada de dados no que se refere ao limite do número de trocas e da margem de tolerância, mas também do endereçamento inicial da linha, caso a linha à priori esteja muito desbalanceada, com grandes distorções, muitas trocas podem se fazer necessárias para se atingir o balanceamento. Caso não seja encontrada uma solução viável, deve-se dar mais liberdade ao sistema, aumentando o número permitido de trocas, ou diminuindo o rigor com o balanceamento, o que pode ser feito aumentando-se a margem de segurança.

7.1.6 Busca Local Dirigida

A metaheurística de Busca Local Dirigida (BLD) foi introduzida por Voudouris (1997). Trata-se de uma técnica conceitualmente simples e pode ser aplicada para uma série de problemas de otimização combinatorial. BLD é, essencialmente, um método baseado na busca local, que explora a informação do próprio problema, usando-a para guiar o procedimento de Busca Local. Isto é possível aumentando a função de custo do problema, incluindo um conjunto de termos de penalidade. A busca local é limitada pelos termos de penalidade e foca atenção em regiões promissoras do espaço de busca. Cada vez que se alcança um mínimo local, as penalidades são aumentadas e o procedimento de Busca Local é chamado novamente para minimizar a função de custo modificada.

Elementos da Busca Local Dirigida

Busca Local

Busca local é a base de muitos métodos heurísticos para problemas de otimização combinatorial. Com o propósito de descrever BLD no caso geral, busca local é considerada um procedimento da seguinte forma:

$$s_2 = \text{procedimentoBuscaLocal}(s_1, g) \quad (7.1)$$

onde s_1 é a solução inicial, s_2 a solução final (mínimo local) e g a função custo a ser minimizada.

BLD não modifica os mecanismos internos da busca local. Ao invés disto, faz chamadas iterativas para o procedimento de busca local, que modifica a função de custo entre chamadas sucessivas. A função de custo do problema é aumentada incluindo um conjunto de termos de penalidade que permitem restringir dinamicamente as soluções.

Características da Solução

Uma característica da solução pode ser qualquer propriedade da solução que satisfaz uma restrição simples e que não seja trivial. Características da solução são dependentes do problema e servem como interface entre o algoritmo e uma aplicação particular, são denotadas por f_i .

Uma característica f_i é representada por uma função indicadora do seguinte modo:

$$l_i(s) = \begin{cases} 1 & \text{se a solução } s \text{ tem a propriedade } f_i; \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (7.1)$$

A cada característica f_i está associado um custo, que representa o impacto da correspondente propriedade da solução, sobre o custo da solução.

Função de Custo Aumentada

Restrições sobre as características tornam-se possíveis pelo aumento da função de custo g do problema, através da inclusão de um conjunto de termos de penalidade. A nova função custo formada é chamada de função de custo aumentada e está definida como segue:

$$h(s) = g(s) + \lambda \cdot \sum_{i=1}^M p_i \cdot l_i(s) \quad (7.3)$$

onde M é o número de características definidas sobre as soluções, e p_i é o parâmetro de penalidade correspondente às características f_i e λ é o parâmetro regularizador.

O parâmetro λ controla a intensidade das restrições com respeito ao custo da solução e é de grande importância, pois provê meios para controlar a influência da informação no processo de busca.

O parâmetro de penalidade p_i define o grau de restrição da característica f_i . BLD iterativamente faz chamadas ao procedimento Busca Local e modifica o vetor de penalidade p , dado por:

$$p = p_1, \dots, p_m \quad (7.4)$$

cada vez que um mínimo local é encontrado. Inicialmente, todos os parâmetros de penalidade são fixados em 0, isto é, nenhuma característica é penalizada. Uma chamada ao procedimento Busca Local é feita para encontrar um mínimo local da função de custo aumentada (h). Depois do primeiro mínimo local e sempre que um novo mínimo local é alcançado, o algoritmo executa uma ação de modificação na função de custo aumentada e reaplica a busca local, a partir do mínimo local encontrado. A ação de modificação é simplesmente incrementar um ao parâmetro de penalidade de uma ou mais características presentes no mínimo local.

Para cada característica f_i definida sobre as soluções está associado um custo c_i . Este pode ser constante ou variável. É considerado constante para simplificar e dado pelo vetor de custo c :

$$c = c_1, \dots, c_m \quad (7.5)$$

que contém elementos positivos ou zero.

Modificações de Penalidade

Uma solução de mínimo local particular s^* exibe um certo número de características, para as quais os indicadores das características assumem o valor 1, isto é $L_i(s^*) = 1$.

Quando um mínimo local é alcançado, os parâmetros de penalidade são incrementados em 1 para todas as características f_i que maximizam a função de utilidade, dada por:

$$Util(s^*, f_i) = I_i(s^*) * \frac{c_i}{1 + p_i} \quad (7.6)$$

O parâmetro de penalidade p_i é incorporado na eq.(7.6) para impedir que o esquema seja totalmente viciado, com respeito à penalização de características de custo alto. O papel do parâmetro de penalidade na eq.(7.6f) é de um contador, para contar quantas vezes uma característica foi penalizada. Se uma característica f_i é penalizada muitas vezes, então o termo $\frac{c_i}{1 + p_i}$ decresce, diversificando escolhas e dando chance de outras características também serem penalizadas. A política implementada é que características são penalizadas com frequência proporcional ao seu custo. Assim, características de custo alto são penalizadas mais freqüentemente que as de baixo custo.

Parâmetro Regularizador

O parâmetro regularizador determina o grau de intensificação na busca por soluções. Dependendo do valor de λ na eq.(7.3), uma ou mais iterações de modificação de penalidades são necessárias para sair do mínimo local.

Valores altos para λ fazem com que o algoritmo seja mais agressivo, escapando rapidamente de um mínimo local encontrado, enquanto que baixos valores para λ resultam em uma busca mais intensiva, fazendo o algoritmo mais cauteloso, requerendo que mais penalidades sejam incrementadas antes da fuga de um mínimo local.

Algoritmo Busca Local Dirigida

O algoritmo BLD básico é mostrado a seguir.

Procedimento BLD (S, g, λ , [$l_1, \dots, l_m$], [$c_1, \dots, c_m$], M)

Início

$k \leftarrow 0$;

$s_0 \leftarrow$ solução inicial gerada por alguma heurística ou aleatoriamente em S;

para $i \leftarrow 1$ **até** M **faça**

$p_i \leftarrow 0$;

enquanto Critério de Parada **faça**

$h \leftarrow g + \lambda \cdot \sum_i p_i \cdot I_i$

$s_{k+1} \leftarrow \text{BuscaLocal}(s_k, h)$;

para $i \leftarrow 1$ **até** M **faça**

$Util_i \leftarrow I_i(s_{k+1}) * \frac{c_i}{1 + p_i}$;

para cada i tal que $Util_i$ é máxima **faça**

$p_i \leftarrow p_i + 1$;

$k \leftarrow k + 1$;

fim enquanto

$s^* \leftarrow$ a melhor solução encontrada com respeito à função custo g;

retorne s^* ;

fim

onde S: espaço de busca, g: função de custo, h: função de custo aumentada, λ : parâmetro regularizador, I_i : função indicadora da característica f_i , c_i : custo da característica f_i , M: número de características e p_i : penalidade da característica f_i .

Este algoritmo pode ser aplicado com modificações simples para uma variedade de problemas de otimização. Para aplicar o algoritmo para um problema qualquer é necessário: definir as características a serem utilizadas e substituir o procedimento BuscaLocal na BLD, por um algoritmo específico para o problema em questão.

Problema de Atribuição Quadrática

Em Mills e Tsang (2000) foi apresentado um estudo empírico de BLD Estendida no Problema de Atribuição Quadrática QAP (Quadratic Assignment Problem), aplicando várias versões. É mostrado que as extensões podem melhorar a gama de parâmetros dentro da BLD.

O QAP é um dos problemas mais difíceis em otimização combinatorial, com muitas aplicações reais e foi foco de muita pesquisa em métodos de busca heurística. O problema pode ser declarado formalmente como segue:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} b_{\pi_i \pi_j} \quad (7.7)$$

onde:

n = tamanho do problema (número de recursos ou locais);

π = permutação, onde π_i é o i -ésimo elemento na permutação π ;

a e b = $n * n$ matrizes de distância e fluxo.

O problema é encontrar uma permutação π (que representa quais recursos são colocados em quais locais), que minimiza a soma das distâncias, multiplicado pelo fluxo entre recursos diferentes. O elemento a_{ij} da matriz A , representa a distância entre local i e o local j . O elemento $b_{\pi_i \pi_j}$ representa o fluxo entre o recurso π_i e π_j . Quando a_{ij} é multiplicado por $b_{\pi_i \pi_j}$, o custo de colocar o recurso π_i no local i e o recurso π_j no local j é obtido. Assim, somando todos os termos, o custo total de toda permutação de atribuições de locais - recursos é obtida.

O QAP pode ser formulado como um algoritmo de busca local, usando a função objetivo vista anteriormente, e buscando o espaço de possíveis permutações. A vizinhança de busca local é simplesmente o conjunto de possíveis permutações, resultantes da permutação atual com qualquer dois elementos trocados.

O conjunto de características para QAP são as atribuições recurso - local. Estas podem ser penalizados e todas as penalidades podem ser mantidas em uma matriz $N \times N$. O custo de uma atribuição em particular de recurso – local é a soma das partes constituintes da função objetivo que a atribuição está envolvida, como segue:

$$C(i, \pi_i) = \sum_{j=0}^n a_{ij} b_{\pi_i, \pi_j} \quad (7.8)$$

Como extensão da BLD foi utilizado o critério de aspiração. Este se verifica quando um movimento é permitido, até mesmo quando normalmente seria proibido, geralmente devido a isto a solução atual é melhorada. Em BLD, se tem penalidades em lugar de uma lista de proibições, assim o critério de aspiração significa ignorar as penalidades, se há um movimento que pode produzir uma nova solução melhor. Critério de aspiração melhora o desempenho da BLD em termos da solução de melhor custo, particularmente quando valores grandes de λ são usados, e também em termos de quantas iterações foram exigidas para encontrar uma solução de um determinado custo.

O critério de aspiração permite focalizar na minimização da função objetivo original a pontos críticos durante a busca e também permite encontrar melhores soluções que poderiam ser ignoradas, caso contrário.

A razão pela qual o critério de aspiração produz resultados melhores não foi imparcial, porque ele permitiu que a BLD ignorasse o termo de penalidade na função custo aumentada. Durante as execuções da BLD, com e sem critérios de aspiração, foi registrado também o custo médio de cada uma das melhores soluções encontradas, em cada execução da BLD. Quando o critério de aspiração era utilizado

este valor era muito abaixo se comparado quando não era utilizado. As estatísticas sobre a qualidade de soluções durante a busca variaram entre BLD com e sem aspiração. Definir precisamente quando e qual aspiração utilizar é o ponto crítico.

No algoritmo de BLD para QAP foi definido o coeficiente $\lambda = 0,6$ e permitiu fazer movimentos de aspiração. Nos resultados, BLD demonstrou um desempenho comparável a outros métodos de resolução; em alguns grupos de problemas, BLD obteve melhor solução. Além disso, deve ser levado em conta que BLD é uma metaheurística geral.

7.2 Definição do tipo de linguagem a ser utilizada

O presente projeto irá utilizar partes de todos os modelos apresentados anteriormente. Segundo Petersen (1999) e Tompkins (1998), quanto maior o número de movimentações de um produto, maior deverá ser a sua proximidade à expedição, minimizando a distância percorrida na coleta ou, no caso de sistema de picking por zona, mais próximo ao colaborador responsável pela coleta, minimizando o seu deslocamento durante a separação. Este será um dos objetivos do modelo de otimização.

Heragu (1997) utiliza a programação inteira para a resolução desse tipo de problema. A maior dificuldade para aplicação prática deste modelo está no elevado número de variáveis de decisão. A linha de separação da Natura apresenta, em média 6 estações picking by light, 72 posições por estação e 1200 produtos e ao ser modelada desta maneira geraria mais de meio milhão de variáveis inteiras só para o PBL (exatos 518.400 resultado do produto $6 \times 72 \times 1200$). Devido à natureza combinatorial e a grande complexidade do problema o mesmo só pode ser resolvido de maneira ótima em instâncias de pequeno porte, uma vez que atualmente, nenhum algoritmo exato genérico é capaz de resolver um problema de programação inteira desta magnitude.

Uma primeira alternativa de resolução seria simplificar este modelo de programação inteira e particioná-lo em problemas menores, mas isto poderia tornar a modelagem menos aderente ao problema, ou mesmo, não resolver a questão do tempo necessário para processamento. Outra alternativa é o desenvolvimento de métodos heurísticos para resolução deste problema, como a *Busca Tabu* e *Busca Local Dirigida*, descritas anteriormente.

Portanto, para a otimização das linhas de separação de pedidos serão utilizadas partes da BLD (Busca Local Dirigida) estendida no Problema de Atribuição Quadrática e, especialmente, a Busca Tabu.

A linguagem de programação escolhida para a modelagem do problema foi a *Linguagem de Programação C* e o ambiente de desenvolvimento utilizado foi o Microsoft Visual C 5.0.

8 Elaboração da definição funcional do software

8.1 Mecanismos de entrada e saída de dados do software a ser desenvolvido

8.1.1 Linha – Canal

O primeiro dado de entrada corresponde a informações físicas da linha, como, por exemplo, a descrição de todos os canais existentes (número e tipo de canal) associados à estação e dificuldade de acesso.

A tabela abaixo exemplifica uma parte do dado de entrada Linha – Canal. O tipo de canal corresponde ao nome dado pelo próprio equipamento de separação da Natura, os canais são enumerados em ordem crescente e a estação compreende uma determinada quantidade de canais que varia de acordo com o tipo de canal. A dificuldade de acesso foi calculada nos capítulos anteriores.

Tipo de Canal	Canal	Estação	Dif Acesso
2-PEMAT (K/L/S)	30001	K1	2
2-PEMAT (K/L/S)	30002	K1	2
2-PEMAT (K/L/S)	30003	K1	2
2-PEMAT (K/L/S)	30004	K1	1
2-PEMAT (K/L/S)	30005	K1	1
2-PEMAT (K/L/S)	30006	K1	1

Tabela 8.1 – Canais e Estações associados às Dificuldades de Acesso

Esse dado de entrada é fornecido uma única vez, já que a linha não muda fisicamente. Essas informações serão utilizadas posteriormente para o cálculo da carga de trabalho por estação. Apenas lembrando que a carga de trabalho corresponde à separação multiplicada pela dificuldade de acesso.

Consolidando todos as informações, chegamos à tabela a seguir, que indica a estação e os canais correspondentes.

Tipo de Canal	Estação	Canais
KPEMAT	K1	30001 a 30020
KPEMAT	K2	30041 a 30060
KPEMAT	K3	30081 a 30100
KPEMAT	K4	30121 a 30140
SPEMAT - LADO ESQUERDO	E1	30161 a 30220
SPEMAT - LADO ESQUERDO	E2	30221 a 30280
SPEMAT - LADO ESQUERDO	E3	30281 a 30340
SPEMAT - LADO ESQUERDO	E4	30341 a 30400
SPEMAT - LADO ESQUERDO	E5	30401 a 30480
PEMAT ANGULAR	A1	40001 a 40040
PEMAT ANGULAR	A2	40041 a 40080
PEMAT ANGULAR	A3	40081 a 40120
SPEMAT - LADO DIREITO	D1	40161 a 40220
SPEMAT - LADO DIREITO	D2	40221 a 40280
SPEMAT - LADO DIREITO	D3	40281 a 40340
SPEMAT - LADO DIREITO	D4	40341 a 40400
SPEMAT - LADO DIREITO	D5	40401 a 40480
PBL FRONTAL	PBL 1	50001 a 50036
PBL TRASEIRO	PBL 1	60025 a 60048
PBL FRONTAL	PBL 2	70001 a 70036
PBL TRASEIRO	PBL 2	70025 a 70048
PBL FRONTAL	PBL 3	90001 a 90036
PBL TRASEIRO	PBL 3	100025 a 100048
PBL FRONTAL	PBL 4	110001 a 110036
PBL TRASEIRO	PBL 4	120025 a 120048
PBL FRONTAL	PBL 5	130001 a 130036
PBL TRASEIRO	PBL 5	140025 a 140048
PBL FRONTAL	PBL 11	150001 a 150036

Tabela 8.2 – Canais por Estação

8.1.2 Canal – Produto

O sistema de Faturamento da Natura fornece um relatório que indica o produto (código de material e descrição) e o canal em que este está alocado. Esse relatório será o nosso próximo dado de entrada.

Código	Descrição	Canal	Tipo de Canal
50020769	SINTONIA TOTAL MASC-DESOD COLONIA	30001	2-PEMAT (K/L/S)
50020769	SINTONIA TOTAL MASC-DESOD COLONIA	30002	2-PEMAT (K/L/S)
50020769	SINTONIA TOTAL MASC-DESOD COLONIA	30003	2-PEMAT (K/L/S)
10727000	KAIK-DESOD COLONIA	30004	2-PEMAT (K/L/S)
10727000	KAIK-DESOD COLONIA	30005	2-PEMAT (K/L/S)
10727000	KAIK-DESOD COLONIA	30006	2-PEMAT (K/L/S)

Tabela 8.3 – Canal Correspondente ao Produto Alocado

Podemos observar na tabela acima que um produto pode estar alocado em mais de um canal. O sistema fornecerá todos os canais e os respectivos produtos alocados.

O sistema de Faturamento é composto por diversas funções. Esta em especial é denominada Posição de Produtos. Podemos fazer diversas consultas por estação, produto e linha de separação.

No caso de novos produtos (lançamentos e repacking de embalagens) ou produtos que estavam descontinuados e que voltam a serem comercializados, é necessário fazer a atualização no sistema, alocando-os em algum canal. Essa tarefa é de responsabilidade do Planejamento Operacional do Picking.

Para tal, seria necessária uma análise da quantidade de canais necessários para os produtos e suas respectivas localizações. Um dos objetivos do software a ser desenvolvido é facilitar essa alocação baseando-se em otimização matemática.

Esse dado de entrada deve ser atualizado sempre que houver modificações na linha.

8.1.3 Produto – Vendas

Uma outra funcionalidade do sistema de Faturamento da Natura é o Histórico de Separação. Para o software, escolhemos o período de análise de cinco dias, ou seja, semanal. O relatório de análise informa o código de material e a descrição do produto associado à quantidade de itens separados durante esse período.

Faremos também uma atualização diária da quantidade separada no dia anterior para um monitoramento da linha de separação.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	SEPARAÇÃO
50025894	AGUAS DE NATURA-POMAR DE LIMAS	17904
50024495	NATURA GEN-DEMO FLACONETE FEM	12838
50023577	NATURA EKOS-DES C/OL TRIF MARA	7403
50020356	KAIK AVENTURA-DESOD COLONIA	7090
12393009	BIOGRAFIA-DESOD BACT SPRAY RF	6973

Tabela 8.4 – Separação Por Produto

Esse relatório é de extrema importância para as análises de balanceamento. O histórico de separação indica tendências importantes para previsões, dados para cálculo da quantidade de canais necessários e ainda, é utilizado na carga de trabalho. Portanto, a atualização deve ser feita diariamente.

8.1.4 Produto – Previsão

A previsão de vendas na Natura é realizada pela área de Planejamento e Controle Logístico. O Picking recebe um relatório que é atualizado periodicamente denominado SOP. Esse relatório indica o produto (código de material e descrição) e a previsão de vendas por semana.

Codigo	Descrição	200401	200402	200403	200404	200405
8825002	ESSENCIAL-EAU TOIL FEMME 100M	50	50	50	50	353
8868001	INTUICAO-DESOD COLONIA	95	95	95	95	95
9621003	TAROT-DESOD COLONIA	0	0	0	0	1057
9646000	NATURA HOMEIM-DESOD COLONIA	101	99	99	99	3148
9652000	SEVE-DESOD CORP C/OL CALEND	22	20	20	20	203

Tabela 8.5 – Previsão de Venda Semanal por Produto

Temos a previsão até o final do ano. As previsões de curto período apresentam uma maior acuracidade, portanto são feitas atualizações das previsões em longo prazo. A tabela acima apresenta parcialmente essa previsão, no caso até a semana cinco de 2004.

As previsões são muito utilizadas para lançamento de produtos devido à inexistência de um histórico de vendas. Sempre anteriormente ao ciclo de vendas, esses dados são analisados para alocação dos produtos nas linhas de separação.

8.2 Funcionalidades

8.2.1 Produtos Existentes

Uma das primeiras funcionalidades do software é a criação de uma base de dados de todos os produtos cadastrados na linha. O dado de entrada Produto – Canal não nos fornece informações sobre os produtos e sim sobre os canais. Além disso, o histórico de separação não indica os produtos que tiveram separação nula nos últimos cinco dias. Isso quer dizer que apesar dos produtos estarem cadastrados nas linhas, eles não aparecem no dado Produto – Vendas.

Surge, então, a necessidade de uma tabela auxiliar de análise. A estrutura dessa tabela será:

- Código de Material e Descrição do Produto: todos os produtos cadastrados nas linhas de separação serão listados uma única vez. Assim, diferentemente da tabela Produto – Canal, teremos aqui apenas uma linha por produto. Utilizaremos como base a tabela Produto – Canal;
- Canais: uma próxima etapa é associar o produto aos canais (endereços) alocados. Cada produto pode ser alocado em, no máximo, oito canais. Temos, portanto, um vetor canais de oito posições. Tabela base: Produto – Canal;
- Quantidade de Canais: somatória da quantidade de canais utilizados por produto;
- Separação: cruzamento de dados das tabelas Produto – Canal e Produto – Vendas. Através do código de material, uma busca é feita na tabela Produto – Vendas e o valor de Separação é retornado. Quando não for encontrado o código de material, o valor nulo é retornado.

Posteriormente, essa tabela auxiliar irá apresentar mais colunas. Essas serão criadas de acordo com a necessidade de otimização e análise matemática.

8.2.2 Separação Zero

Essa primeira função tem como objetivo a criação de um arquivo texto que contenha todos os produtos que apresentem separação (vendas) nula nos últimos cinco dias. O arquivo contém o código de material e a descrição do produto associado aos canais alocados.

A “Separação Zero” é a primeira etapa do Balanceamento das Linhas de Separação. Todos os produtos descontinuados ou virtuais (apenas à venda como brinde ou amostra) devem ser retirados da linha e liberar, assim, canais para as próximas promoções ou lançamentos. A lógica utilizada para a criação do arquivo é a seguinte:

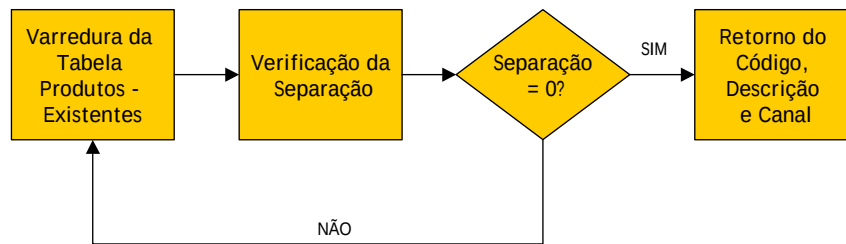


Figura 8.1 – Fluxograma da Separação Zero

Normalmente, essa etapa é feita após a primeira semana do ciclo. Com isso, todos os lançamentos já começaram a serem vendidos e retiraremos da linha apenas os descontinuados e virtuais. Com essa retirada, inicia-se o planejamento para o próximo ciclo, que entra em vigência três semanas após o ciclo anterior.

8.2.3 Canais Teóricos

Como dito anteriormente, todos os produtos alocados no Picking Automático (A-Frame) podem ter no máximo oito posições nas linhas de separação. A saída máxima por canal por dia é de 1260 itens, conforme demonstrado em testes.

O próximo passo é o cálculo da quantidade de canais teóricos por produto. Utilizando a coluna de separação de cinco dias, chegamos à separação diária se dividirmos esse valor por cinco. A separação diária dividida pela saída máxima por canal por dia é igual à quantidade de canais teóricos por produto:

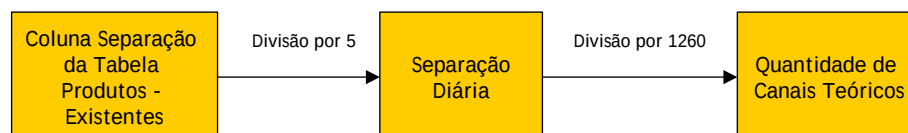


Figura 8.2 – Fluxograma do Cálculo de Canais Teóricos

A quantidade de canais teóricos será a próxima coluna da tabela Produtos Existentes. Quando confrontamos esse valor com a quantidade de canais atuais, podemos verificar se o valor está coerente ou se devemos optar por ações como aumento ou redução de canais.

8.2.4 *Previsão de Vendas*

Antes de optarmos por ações de aumento e redução de canais, devemos lembrar que a análise foi baseada em histórico de separação (vendas), ou seja, no passado. Através da Previsão de Vendas, podemos visualizar o comportamento nas próximas semanas de todos os produtos vendidos.

O período utilizado para a previsão de vendas é de duas semanas a partir do dia da análise. Acrescentamos, portanto, a previsão na estrutura da tabela Produtos Existentes.

8.2.5 *Canais Futuros*

Mais uma vez, é feito o cálculo da quantidade de canais futura utilizando o valor da previsão de duas semanas, dividida pela saída máxima por produto por canal por duas semanas. Esse dado também será acrescentado à tabela Produtos Existentes.

8.2.6 *Redução de Canais*

Essa função é utilizada posteriormente à Separação Zero. O software cria um arquivo texto que retorna os produtos (código e descrição), os canais alocados e a quantidade de canais que pode ser reduzida (corresponde à diferença entre a quantidade de canal atual e a futura).

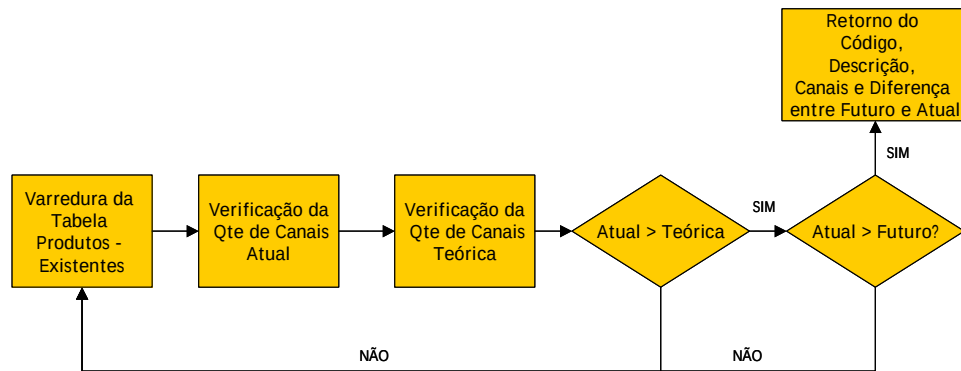


Figura 8.3 – Fluxograma da Redução de Canais

8.2.7 Aumento de Canais

A função Aumento de Canais é realizada após a redução de canais. O software cria um arquivo texto que retorna os produtos (código e descrição), os canais alocados e a quantidade de canais que deve ser acrescentada (corresponde à diferença entre a quantidade de canal futura e a atual).

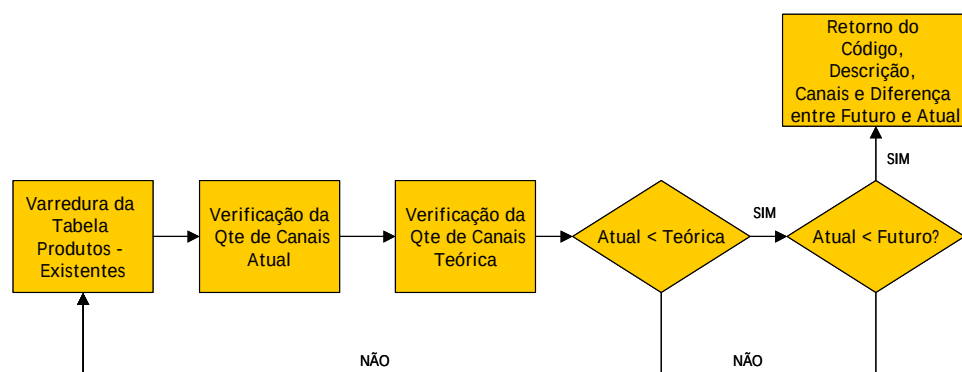


Figura 8.4 – Fluxograma do Aumento de Canais

8.2.8 Carga de Trabalho

A carga de trabalho é definida como uma estimativa do tempo de trabalho consumido por um operador frente a uma demanda, que conjuga o número de acessos com suas respectivas dificuldades de acesso.

Para sabermos a carga de trabalho por estação, é necessária a construção de uma matriz que terá como estrutura:

- Estação: a primeira coluna abrange todas as estações picking;
- Separação: corresponde à quantidade total de separação de cada estação;
- Carga de Trabalho: carga total por estação.

Os fluxogramas abaixo explicam o cálculo feito para a carga de trabalho por estação.

Busca de Dados na Tabela Produtos Existentes

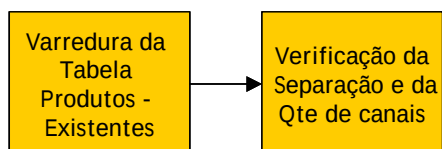


Figura 8.5 – Fluxograma de Busca de dados para o cálculo da carga de trabalho

Preenchimento da Matriz Canal – Produto

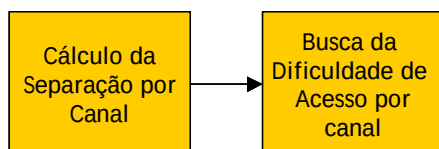
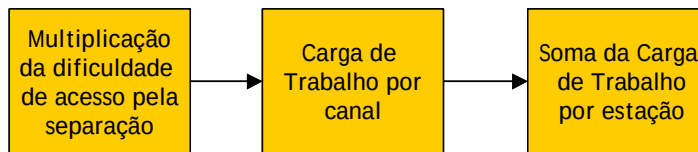


Figura 8.6 – Fluxograma de Preenchimento da Matriz Canal – Produto

Cálculo da carga de Trabalho por Canal e Estação**Figura 8.7** – Fluxograma da Carga de Trabalho por Estação

O software cria um arquivo texto que contém a carga de trabalho e a separação por estação. Esse relatório será utilizado na otimização do balanceamento, já que a eficiência da separação de pedidos depende da carga de trabalho total da linha e de cada estação.

8.3 Desenvolvimento do método de balanceamento capaz de maximizar a capacidade de processamento dos pedidos

O balanceamento das estações de trabalho pode ser realizado de duas maneiras: movimentação interna à estação e entre estações. O modelo de programação matemática difere para esses dois tipos de otimização. Para um melhor entendimento, estes serão tratados separadamente.

8.3.1 Otimização Interna à Estação

O primeiro passo para começarmos a otimização da linha de separação é a criação de uma tabela que contenha todos os dados necessários para as trocas de endereços. Utilizaremos a tabela Linha – Canal, uma das entradas do software, para agrupar todas as informações. Além da estrutura de entrada (Tipo de Canal, Canal, Estação e Dificuldade de Acesso), outras colunas são criadas durante a programação:

- Código: identificação do produto que está alocado no canal;
- Separação: quantidade separada nos últimos cinco dias por produto por canal;
- Canal Anterior: coluna que guardará o canal em que o produto estava alocado antes da otimização;
- Usado: indicará se o canal foi utilizado ou não durante a troca de endereços.

A tabela abaixo exemplifica uma parte da matriz Linha – Canal.

Tipo de Canal	Canal	Estação	Dif Acesso	Código	Descrição	Separação	Usado	Canal Anterior
2-PEMAT (K/L/S)	30001	K1	2	50020769	SINTONIA TOTAL MASC-DESOD COLONIA	5000	1	30009
2-PEMAT (K/L/S)	30002	K1	2	50020769	SINTONIA TOTAL MASC-DESOD COLONIA	5000	0	30002
2-PEMAT (K/L/S)	30003	K1	2	50020769	SINTONIA TOTAL MASC-DESOD COLONIA	5000	0	30003
2-PEMAT (K/L/S)	30004	K1	1	10727000	KAIK-DESOD COLONIA	3230	0	30004
2-PEMAT (K/L/S)	30005	K1	1	10727000	KAIK-DESOD COLONIA	3230	1	30015
2-PEMAT (K/L/S)	30006	K1	1	10727000	KAIK-DESOD COLONIA	3230	0	30006
2-PEMAT (K/L/S)	30007	K1	1	10727000	KAIK-DESOD COLONIA	3230	0	30007
2-PEMAT (K/L/S)	30008	K1	2	10727000	KAIK-DESOD COLONIA	3230	0	30008
2-PEMAT (K/L/S)	30009	K1	2	50017835	KRISKA-DESOD COLONIA	1560	1	30001
2-PEMAT (K/L/S)	30010	K1	2	50008378	KAIK FEMININO-DESOD COLONIA	10200	0	30010

Tabela 8.6 – Tabela auxiliar para a otimização interna

Como a linha é composta por canais que se diferenciam fisicamente, a lógica de otimização é feita por tipo de estação: PBL, KPEMAT, ANGULAR e PEMAT. A rotina recebe como parâmetro o tipo de estação e as trocas de endereços só são realizadas para a estação escolhida.

O segundo parâmetro, este fixado pelo usuário, corresponde ao número de movimentações por estação. Como as trocas demandam tempo de ajuste de canal, movimentação de materiais e auxílio da equipe de manutenção e do estoque, o usuário pode definir quantas trocas ele gostaria de realizar no momento, baseando-se na disponibilidade temporal.

As próximas etapas da lógica de otimização são:

- (1) Busca, dentro da estação, do produto que apresenta a maior quantidade de itens separados nos últimos cinco dias. Se existirem dois produtos com a mesma quantidade de separação, é escolhido aquele que estiver alocado no canal de maior dificuldade de acesso (consequentemente, maior carga de trabalho);
- (2) Busca, dentro da estação, do canal que apresenta a menor dificuldade de acesso. Caso existam canais com a mesma dificuldade de acesso, é escolhido aquele em que esteja alocado o produto com a menor saída (consequentemente, menor carga de trabalho);
- (3) Se a dificuldade de acesso do canal do produto da etapa (1) for igual à dificuldade de acesso do canal do produto da etapa (2), não ocorre troca de endereços. Caso exista diferença, a troca de endereços é realizada e o canal em que o produto da etapa (1) estiver alocado é marcado como usado.
- (4) As etapas (1), (2) e (3) são realizadas novamente até o momento em que as restrições são alcançadas: o número de trocas não pode exceder ao parâmetro definido pelo usuário ou, se não houver restrição do número de trocas, todos os canais foram marcados como usados.
- Após as trocas de endereços, a carga de trabalho é calculada para verificação da função objetivo: minimizar a troca de trabalho dentro das estações.

A rotina otimização interna é a mesma para todas as diferentes estações da linha de separação de pedidos. As diferenças se concentram na distribuição ABC dos produtos na estação, nas dificuldades de acesso dos canais e no tipo de produto que é alocado em cada estação.

O programa gera um arquivo texto que apresenta o código do produto, o canal em que este está alocado, o canal futuro (que otimiza a carga de trabalho) e a estação correspondente. Além disso, são fornecidas também a carga de trabalho atual e a carga otimizada por estação.

Exemplo de Otimização Interna à Estação

CANAL	50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017
CÓDIGO	50025088	50024066	50028313	50022118	50025088	50024066	50028313	50022118	50025088	50024066	50028313	50022118
DESCRIÇÃO	DESOD	LAMINA	CREME	PERF	DESOD	LAMINA	CREME	PERF	DESOD	LAMINA	CREME	PERF
SAÍDA 5 DIAS	795	859	837	840	795	859	837	840	795	859	837	840
DIF ACESSO	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4
CANAL	50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005
CÓDIGO	50020870	50025084	50025925	50025346	50020870	50025084	50025925	50025346	50020870	50025084	50025346	50025925
DESCRIÇÃO	SHAMPOO	COND	BATOM	BASE	SHAMPOO	COND	BATOM	BASE	SHAMPOO	COND	BASE	BATOM
SAÍDA 5 DIAS	200	7803	2341	10477	200	7803	2341	10477	200	7803	10477	2341
DIF ACESSO	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2

50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017
50025088	50024066	50028313	50022118	50025088	50024066	50028313	50022118	50025088	50024066	50028313	50022118
DESOD	LAMINA	CREME	PERF	DESOD	LAMINA	CREME	PERF	DESOD	LAMINA	CREME	PERF
795	859	837	840	795	859	837	840	795	859	837	840
4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4
50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005
50020870	50025084	50025346	50025925	50020870	50025084	50025346	50025925	50020870	50025084	50025346	50025925
SHAMPOO	COND	BASE	BATOM	SHAMPOO	COND	BASE	BATOM	SHAMPOO	COND	BASE	BATOM
200	7803	10477	2341	200	7803	10477	2341	200	7803	10477	2341
2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2

50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017
50025088	50024066	50028313	50022118	50025088	50024066	50028313	50022118	50025088	50024066	50028313	50022118
DESOD	LAMINA	CREME	PERF	DESOD	LAMINA	CREME	PERF	DESOD	LAMINA	CREME	PERF
795	859	837	840	795	859	837	840	795	200	837	840
4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4
50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005
50020870	50025084	50025346	50025925	50020870	50025084	50025346	50025925	50024066	50025084	50025346	50025925
SHAMPOO	COND	BASE	BATOM	SHAMPOO	COND	BASE	BATOM	LAMINA	COND	BASE	BATOM
200	7803	10477	2341	200	7803	10477	2341	859	7803	10477	2341
2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2

50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017
50025088	50020870	50028313	50022118	50025088	50022118	50028313	50020870	50025088	50022118	50028313	50020870
DESOD	SHAMPOO	CREME	PERF	DESOD	PERF	CREME	SHAMPOO	DESOD	PERF	CREME	SHAMPOO
795	200	837	840	795	840	837	200	795	840	837	200
4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4
50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005
50024066	50025084	50025346	50025925	50024066	50025084	50025346	50025925	50024066	50025084	50025346	50025925
LAMINA	COND	BASE	BATOM	LAMINA	COND	BASE	BATOM	LAMINA	COND	BASE	BATOM
859	7803	10477	2341	859	7803	10477	2341	859	7803	10477	2341
2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2

50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017	50020	50019	50018	50017
50025088	50022118	50028313	50020870	50025088	50022118	50028313	50020870	50025088	50022118	50028313	50020870
DESOD	PERF	CREME	SHAMPOO	DESOD	PERF	CREME	SHAMPOO	DESOD	PERF	CREME	SHAMPOO
795	840	837	200	795	840	837	200	795	840	837	200
4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4
50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005	50008	50007	50006	50005
50024066	50025084	50025346	50025925	50024066	50025084	50025346	50025925	50024066	50025084	50025346	50025925
LAMINA	COND	BASE	BATOM	LAMINA	COND	BASE	BATOM	LAMINA	COND	BASE	BATOM
859	7803	10477	2341	859	7803	10477	2341	859	7803	10477	2341
2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2

Figura 8.8 – Exemplo de Otimização Interna a Estação

O exemplo ilustra trocas internas a uma estação composta por oito canais. Em cada canal existe um produto alocado, caracterizado pelo código de material, descrição e a saída nos últimos cinco dias. O canal apresenta uma dificuldade de acesso em segundos. Todos os canais em laranja representam os produtos de maior saída na estação e os em amarelo, os canais de menor dificuldade de acesso. As etapas da otimização são:

- Busca do produto que apresenta a maior saída nos últimos cinco dias – Base. Busca do canal de menor dificuldade de acesso – Canais 50006 e 50007. Dentre esses canais, busca do canal com produto de menor saída – Canal 50006.
- Movimentação DE PARA: 50006 – 500005
- Indicação de canal usado: 50006
- Próximo produto de maior saída: Condicionador. Canal com menor dificuldade de acesso – 50007. O produto já está alocado nesse canal. Não há movimentação. Indicação de canal usado.
- O mesmo ocorre com o próximo produto: Batom.

As demais trocas utilizam o mesmo mecanismo descrito anteriormente.

Carga de Trabalho Atual – 43.123 segundos = aproximadamente 12 horas.

Carga de Trabalho Futura – 33.688 segundos = aproximadamente 9,4 horas.

A otimização reduziu a carga de trabalho em 22%. Isso significa que a estação “otimizada” consegue realizar o trabalho de picking em duas horas e 36 minutos a menos do que a estação atual. Seriam necessárias, apenas, 3 movimentações DE PARA.

8.3.2 Otimização entre Estações

A otimização do processo de alocação de produtos entre as estações utilizará como base a tabela auxiliar gerada para a otimização interna. Como a linha é composta por canais que se diferenciam fisicamente, a lógica de otimização é feita por tipo de estação. A rotina recebe como parâmetro o tipo de estação e as trocas de endereços só são realizadas entre as estações escolhidas.

O segundo parâmetro, este fixado pelo usuário, corresponde ao número de movimentações por estação. O número de alterações máximo corresponderá à multiplicação da quantidade de estações pelo parâmetro definido anteriormente. Diz-se máximo porque o modelo prioriza a solução inicial caso a troca não apresente uma função objetivo menor.

Como explicado no capítulo 7, a solução ótima seria encontrada se realizássemos todas as combinações possíveis de produtos nas estações e entre estações. O grau de dificuldade computacional é elevado devido ao número de variáveis de decisão, tornando-se inviável para linhas de separação do porte da Natura. É necessário, portanto, uma busca direcionada ou critérios de aspiração para as trocas de endereços.

A primeira etapa do modelo é a busca dos produtos que são mais significativos no cálculo da carga de trabalho, ou seja, aqueles que apresentam a maior saída nos últimos cinco dias. Exemplo: Caso o usuário defina o máximo de três movimentações por estação, o modelo busca os três produtos de maior saída por estação. Esses produtos serão armazenados em uma lista de forma decrescente, caracterizando a vizinhança do problema.

A solução inicial e o valor da função objetivo a ela associado (minimizar a carga de trabalho total e equilibrar as estações) são colocados em uma memória que será utilizada ao longo da busca para registrar a melhor solução encontrada.

Inicialmente a lista tabu está vazia. Para uma dada solução inicial é utilizada a vizinhança que poderá ser atingida utilizando o tipo de movimento escolhido, ou seja, troca entre dois produtos pertencentes à lista acima. Dentre as soluções vizinhas, é escolhida a próxima solução que fará parte do caminho percorrido e que será a próxima solução corrente.

Os atributos inversos do movimento realizado para modificar a solução inicial na nova solução são armazenados na lista tabu. Se o valor da função objetivo associado à solução corrente for menor que o valor armazenado na memória que contém a melhor solução encontrada até o momento, esta é substituída por aquela nessa memória e assim por diante. O critério de parada utilizado é não ultrapassar o limite máximo de movimentações.

A próxima etapa é a função otimização interna. Após as trocas entre as estações, ainda é possível minimizar a carga total fazendo movimentações internas e equilibrando a carga entre as estações. Utiliza-se o modelo descrito na seção 8.3.1. O modelo é iterativo e guiado pelas necessidades do usuário.

Uma outra restrição do modelo é relativa ao balanceamento, impedindo que a carga de trabalho de alguma estação extrapole o limite de tolerância do balanceamento. A margem de tolerância indica em termos percentuais a discrepância máxima que pode ocorrer entre a carga de trabalho de uma estação e a carga média das estações.

Exemplo de Otimização entre as Estações

O exemplo da figura 8.9 é realizado para duas estações PBL, cada uma com 6 canais frontais. O usuário definiu o número máximo de 3 alterações por estação.

CANAL	50017	50016	50015	50021	50020	50019
CÓDIGO	50022118	50023205	50001312	9621003	50025088	50024066
DESCRIÇÃO	AGUAS N	NATURA	CREME D	TAROT-D	EKOS-DE	LAMINA
SAÍDA 5 DIAS	694	3543	672	1058	795	859
DIF ACESSO	3	2	3	3	2	3
CANAL	50005	50004	50003	50009	50008	50007
CÓDIGO	50025346	50023605	10415002	50023484	50020870	50025084
DESCRIÇÃO	ESSENCI	DEMO-FL	ERVA DO	NATURA	AGUAS N	CPV-EMB
SAÍDA 5 DIAS	10477	1644	268	1096	422	7803
DIF ACESSO	2	1	2	2	1	2

Carga

34314

Carga

25560

Figura 8.9 – Exemplo de duas Estações PBL

A primeira etapa é a busca dos produtos que apresentam a maior saída por estação, circulados na figura 8.10. Esses produtos são armazenados de forma decrescente em uma lista.

CANAL	50017	50016	50015	50021	50020	50019
CÓDIGO	50022118	50023205	50001312	9621003	50025088	50024066
DESCRIÇÃO	AGUAS N	NATURA	CREME D	TAROT-D	EKOS-DE	LAMINA
SAÍDA 5 DIAS	694	3543	672	1058	795	859
DIF ACESSO	3	2	3	3	2	3
CANAL	50005	50004	50003	50009	50008	50007
CÓDIGO	50025346	50023605	10415002	50023484	50020870	50025084
DESCRIÇÃO	ESSENCI	DEMO-FL	ERVA DO	NATURA	AGUAS N	CPV-EMB
SAÍDA 5 DIAS	10477	1644	268	1096	422	7803
DIF ACESSO	2	1	2	2	1	2

Figura 8.10 – Primeira Etapa de Otimização entre Estações

O valor da carga de trabalho e as posições iniciais são colocados na memória que é utilizada ao longo da busca. A vizinhança é definida pelos produtos da lista, ou seja, só poderão ser realizadas trocas entre eles.

A cada movimento, o modelo calcula a função objetivo e só realiza a troca caso o valor da função corrente seja menor do que o valor armazenado na memória. Essa troca também é orientada para a distribuição da carga entre as estações, por isso a lista em ordem decrescente. Além disso, os atributos inversos do movimento realizado para modificar a solução inicial na nova solução são armazenados na lista tabu.

Para o exemplo, temos a seguinte solução:

CANAL	50017	50016	50015	50021	50020	50019
CÓDIGO	50022118	50023484	50001312	9621003	50025088	50024066
DESCRIÇÃO	AGUAS N	NATURA	CREME D	TAROT-D	EKOS-DE	LAMINA
SAÍDA 5 DIAS	694	1096	672	1058	795	859
DIF ACESSO	3	2	3	3	2	3
CANAL	50005	50004	50003	50009	50008	50007
CÓDIGO	50023605	50025346	10415002	50023205	50020870	50025084
DESCRIÇÃO	DEMO-FL	ESSENCI	ERVA DO	NATURA	AGUAS N	CPV-EMB
SAÍDA 5 DIAS	1644	10477	268	3543	422	7803
DIF ACESSO	2	1	2	2	1	2

Carga 20588 Carga 30453

Figura 8.11 – Solução após as trocas entre estações

Foram realizadas 5 trocas no total para a minimização da carga total (redução de 15%). Entretanto, ainda não há um equilíbrio entre as estações. Essa etapa somente fez a distribuição dos produtos mais significativos entre as estações. Não necessariamente estes estão alocados nas posições mais indicadas, por isso a necessidade da otimização interna.

A otimização interna resultou em mais 6 movimentações.

CANAL	50017	50016	50015	50021	50020	50019
CÓDIGO	10415002	50023484	50001312	50020870	50024066	50025088
DESCRIÇÃO	ERVA DO	NATURA	CREME D	AGUAS N	LAMINA	EKOS-DE
SAÍDA 5 DIAS	268	1096	672	422	859	795
DIF ACESSO	3	2	3	3	2	3
CANAL	50005	50004	50003	50009	50008	50007
CÓDIGO	50023605	50025346	50022118	50023205	50025084	9621003
DESCRIÇÃO	DEMO-FL	ESSENCI	AGUAS N	NATURA	CPV-EMB	TAROT-D
SAÍDA 5 DIAS	1644	10477	694	3543	7803	1058
DIF ACESSO	2	1	2	2	1	2
	Carga	20163		Carga	22370	

Figura 8.12 – Solução Otimizada

Verifica-se a homogeneidade da carga entre as estações de trabalho. Para o exemplo, foi utilizado um limite de tolerância de 7%, isto é, a carga de trabalho das estações não pode variar mais que 7% em relação à carga média das estações. Esse valor corresponde à 5% após o uso do modelo. Além disso, a carga total reduziu em 14% sobre o valor da etapa anterior.

O modelo é iterativo e guiado pelas restrições impostas pelo usuário de limite de alterações e tolerância do balanceamento.

9 Monitoramento do software

9.1 Implementação do sistema na empresa, treinamento dos usuários e acompanhamento;

As primeiras funcionalidades do software de balanceamento – Separação Nula, Redução / Aumento de Canais e Ferramenta Visual – foram introduzidas na empresa no primeiro semestre de 2004. A equipe de Planejamento Operacional atuou em conjunto durante o treinamento dos usuários e acompanhamento desse sistema na empresa. O uso da automatização para essas atividades rotineiras e da ferramenta visual do processo modificaram o trabalho exercido por esse departamento.

A lógica de programação foi detalhada para os responsáveis do Picking com o objetivo de, ao mesmo tempo, ensinar os usuários e aumentar a confiabilidade do software de otimização.

As etapas do treinamento estão descritas a seguir:

- Detalhamento da lógica de programação utilizada e objetivos do projeto;
- Descrição das funcionalidades do software;
- Atualização do banco de dados utilizado pelo aplicativo;
- Explicação dos arquivos gerados;
- Conscientização da necessidade de automação e otimização do processo.

O uso das funções de otimização foi realizado somente no segundo semestre de 2004, após o aprendizado do software e da familiarização dos usuários. Os resultados obtidos com o uso desse aplicativo serão detalhados no próximo capítulo.

9.2 Resultados Obtidos

9.2.1 Ferramenta Visual do Processo

A ferramenta visual, desenvolvida em Excel, possibilita um monitoramento diário de todos os produtos alocados nas linhas de separação. Através do histórico de separação do dia anterior e de cinco dias passados, são analisadas tendências de vendas e comportamentos não usuais.

Conforme descrito anteriormente, os produtos que estão localizados em posições não adequadas são sinalizados. Isso facilita a visualização de trocas de endereços entre os produtos. Além disso, a carga de trabalho por estação é calculada e quando esta ultrapassa a média de todas as estações, um sinal de alerta informa o usuário.

A ferramenta é bastante utilizada para a busca de espaços vazios na linha. Não existe mais a necessidade de estar presente fisicamente na linha para confirmar a existência de canais vazios. O operador pode facilmente usar a ferramenta para tais buscas, reduzindo, assim, o tempo operacional de análise.

Finalizando, um banco de dados de todos os SKUs existentes na empresa auxilia em análises por produto e não por estação. São encontradas informações sobre os canais em que este está alocado, previsão de vendas, histórico de separação e necessidade futura e atual de endereços nas linhas de separação.

9.2.2 Atividades Rotineiras

As atividades de preparação da linha para o próximo ciclo foram automatizadas através da geração de arquivos que ilustram a necessidade de retirada ou inclusão de produtos na linha, conforme descrito em capítulos anteriores.

Atualmente, com o uso do software de balanceamento, não é mais necessária nenhuma análise de inclusão / exclusão de produtos nas linhas. Essa funcionalidade é extremamente importante para o Planejamento Operacional, pois o tempo de parada das linhas é reduzido e não previsível. Quando há a possibilidade de se fazer o balanceamento, deve-se imprimir o relatório e passar as movimentações para as equipes de estoque e manutenção. Isso pode ser feito a qualquer hora utilizando-se as funções do software em questão.

A figura 5.4 mostra claramente o aumento de alterações nas linhas após o uso dessa ferramenta, resultado de melhor análise da necessidade real de canais por produto e da redução do tempo necessário para tais alterações (automatização do processo).

9.2.3 Otimização do Processo de Alocação de Produtos

Para analisar os resultados obtidos após o uso do software de balanceamento serão apresentados os indicadores de produtividade descritos no capítulo 6. O período de captação de dados corresponde ao mês de julho a outubro.

Produtividade

A produtividade das linhas de separação de pedidos é medida através de três indicadores:

- Caixas separadas por hora (velocidade da linha);
- Eficiência da linha (percentual produtivo do tempo de separação, descontando as paradas);
- Quantidade de caixas e itens separados por dia.

A velocidade da linha depende de diversas variáveis, dentre elas:

- Perfil do Pedido, mais precisamente da quantidade de linhas de pedido por volume: quanto maior a quantidade de produtos diferentes, maior a quantidade de coletas no PBL e dispensamentos no A-Frame.
- Captação de Pedidos: a separação depende da quantidade de pedidos diários. Caso esta exceda a capacidade, os turnos fazem horas extras para atingir o nível de serviço desejado (entrega). Caso contrário, a linha fica ociosa;
- Paradas na Linha: paradas por erro de separação ou por falta de pedidos;
- Balanceamento.

Como a função velocidade da linha depende de diversas variáveis, esta não apresenta uma linearidade temporal, conforme a figura 9.1. Isso dificulta uma avaliação do software de otimização, já que o balanceamento é somente uma dessas variáveis. Entretanto, pode-se afirmar que existe uma tendência de aumento da velocidade nesses quatro meses de medição e uso do aplicativo desenvolvido. Quando é feita uma comparação dos dias em que o balanceamento foi realizado, o gráfico indica que no dia seguinte, a velocidade foi maior, como por exemplo, o dia em destaque.

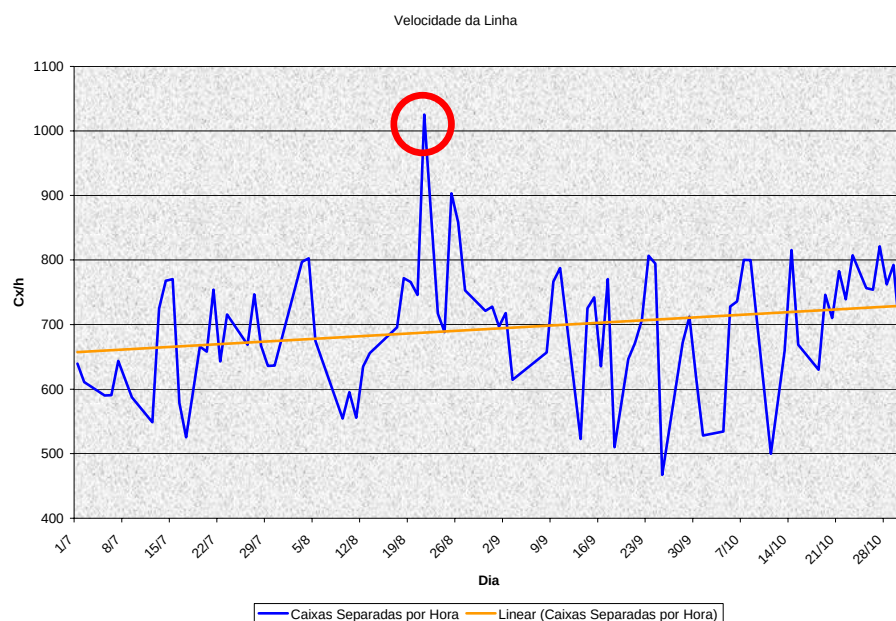


Figura 9.1 – Gráfico de Velocidade da Linha (Caixas/hora)

O mesmo ocorre com a eficiência da linha (% de tempo produtivo das linhas), que apresenta como variáveis as paradas por erros de separação, problemas mecânicos, ajustes de canal e inclusão de produtos (balanceamento) e gargalos no PBL / PEMAT.

Verificamos, mais uma vez, o crescimento da eficiência após o uso do software de balanceamento. A otimização auxilia na diminuição da carga total de trabalho e também reduz os gargalos e erros de separação, diminuindo o tempo improdutivo das linhas de separação.

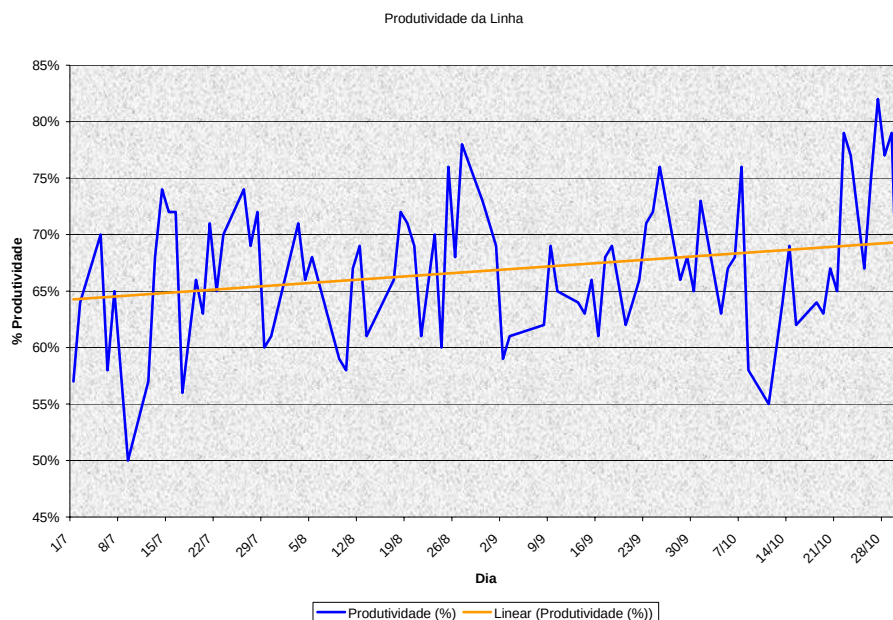


Figura 9.2 – Gráfico da Produtividade Diária da Linha

Finalizando o indicador de produtividade, a quantidade de itens e caixas separadas por dia aumentou significativamente, conforme gráfico e linhas de tendência abaixo. Isso é resultado da redução do tempo improdutivo (deslocamento) dos colaboradores do picking. A carga de trabalho, isto é, o tempo de separação, diminui para uma mesma quantidade de itens separados.

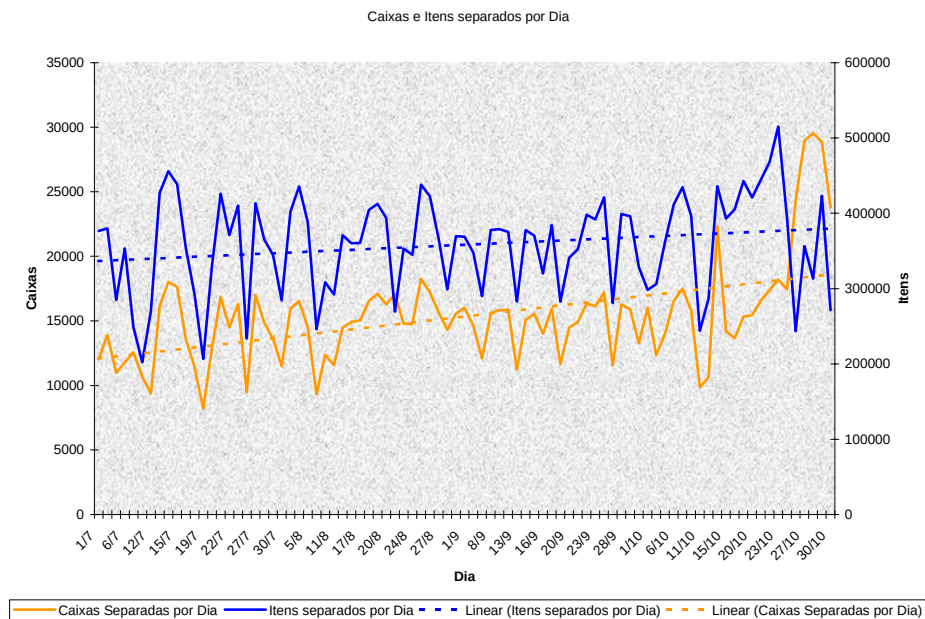


Figura 9.3 – Quantidade de Itens e Caixas Separadas por Dia

Recirculação

Um dos principais objetivos da otimização da eficiência de separação das linhas é a diminuição de gargalos nas estações PBL, ou seja, de caixas recirculadas. Quando o balanceamento é otimizado, o tempo de separação diminui, liberando espaço para que as caixas sejam desviadas nas estações.

O uso do software garantiu a diminuição da recirculação nas estações PBL e indica uma tendência temporal de redução abaixo do valor permitido no Picking, correspondente a 10%. Conforme a equipe de separação, a recirculação abaixo de 10% não acarreta em grandes perdas de eficiência.

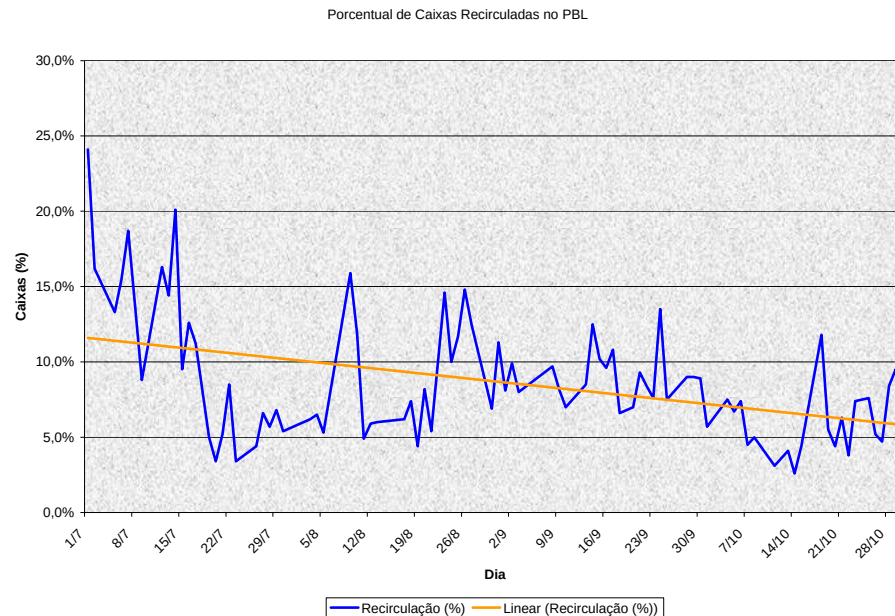


Figura 9.4 – Recirculação (%) no PBL

Erros de Separação

Os erros de separação acompanhados pelo Planejamento Operacional são erros de canal vazio e canal encravado. As causas desses tipos de erros estão relacionadas à primeira fase do balanceamento, verificação da quantidade de canais necessários por produto, e à otimização.

Ao diminuir a carga de trabalho total e equilibrando a carga entre as estações, diminui-se o tempo de deslocamento do colaborador durante a coleta ou reabastecimento. A proximidade dos produtos de alta saída junto ao funcionário auxilia na redução de canais vazios, já que uma pessoa é responsável pelo reabastecimento de diversos canais.

A definição da quantidade de canais por produto reduz erros de canal encravado, pois o cálculo considera a capacidade mecânica do dispensamento e capacidade humana de coleta e reabastecimento.

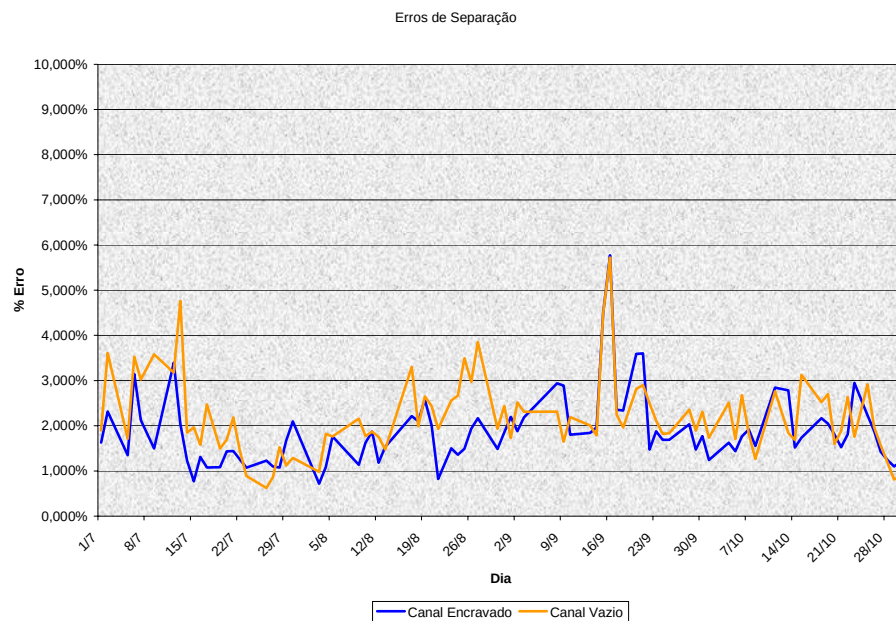


Figura 9.5 – Erros de Separação

Visualizando a figura 9.5, verifica-se que os erros de separação concentram-se na faixa de 1 a 4%, com poucos valores fora desses limites. Esse valor percentual indica a quantidade de erros por caixa separada no dia. Mesmo com o uso do aplicativo, não ocorreram mudanças no comportamento dos erros. Algumas causas foram analisadas:

- Capacitação das linhas de separação: atualmente, as linhas de separação estão operando na capacidade máxima. Isso significa que não existem canais vazios para alocação de novos produtos. Para que os lançamentos sejam alocados na linha, é necessária a redução de canais de produtos promocionados. Com a redução, a carga de trabalho aumenta por canal e por consequência, falhas no dispensamento.

- Necessidade real de canal por produto: o software calcula a necessidade real de canal atual e futura, entretanto, nem sempre essa quantidade física existe. Com a falta de endereços, essa necessidade é reduzida, sobrecarregando o equipamento e o colaborador.

Carga de Trabalho

Os gráficos 9.6 e 9.7 apresentam a separação total e carga de trabalho por estação - período de análise de 5 dias. O primeiro gráfico corresponde às estações PBL e o segundo às estações KPEMAT (K), PEMAT ANGULAR (A) e SPEMAT (E e D). O objetivo da visualização gráfica é o acompanhamento do equilíbrio da carga de trabalho entre as estações. Os dados utilizados são anteriores ao uso do software de balanceamento.

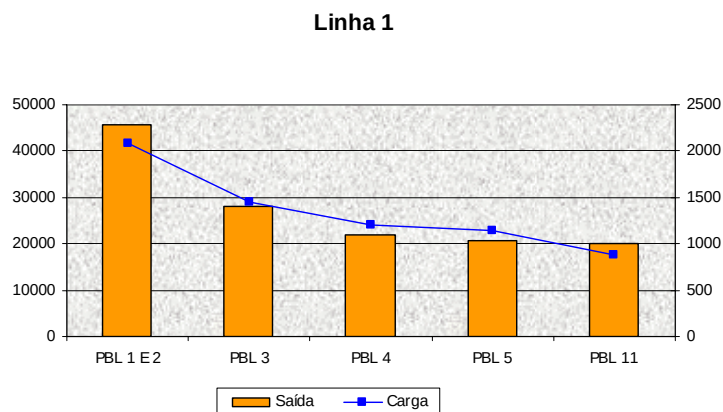


Figura 9.6 – Carga de Estações PBL antes do software

Podemos afirmar que existe um desequilíbrio em alguns tipos de estação, por exemplo, o PBL 1 e 2 tem uma carga e separação superior às outras estações PBL. Isso provavelmente acarreta em recirculação e gargalos na linha, já que as caixas ocupam espaço durante a coleta, evitando que as outras entrem para a realização do picking. Já as estações KPEMAT estão balanceadas entre si.

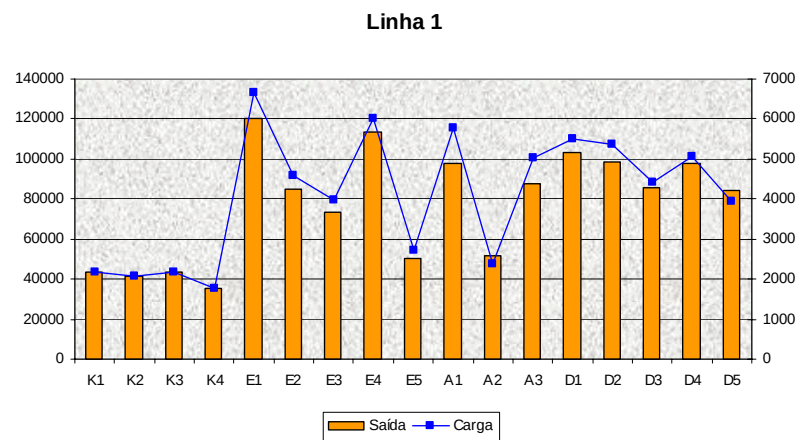


Figura 9.7 – Carga de Estações PEMAT antes do software

A função objetivo da programação matemática utilizada é minimizar a carga de trabalho total e equilibrá-la entre as estações de trabalho. Com o uso do aplicativo, temos os seguintes gráficos referentes à carga de trabalho por estação, média do período analisado.

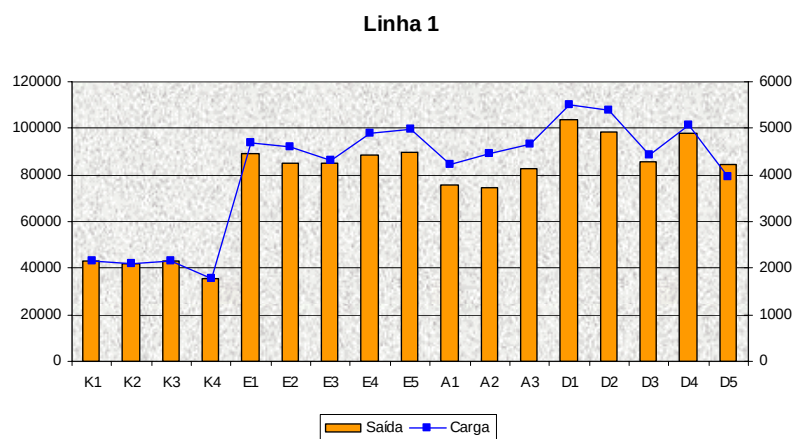


Figura 9.8 – Carga de Estações PEMAT após uso do software

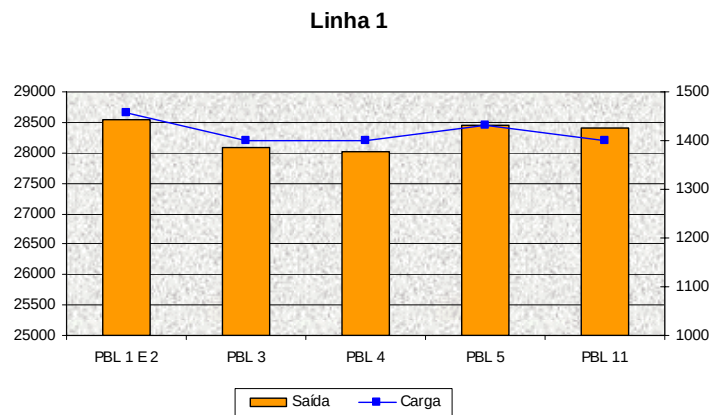


Figura 9.9 – **Carga de Estações PBL após uso do software**

Os resultados da otimização indicam que as estações estão homogêneas, apesar de uma pequena variação percentual, chamada de margem de tolerância, uma das variáveis da função objetivo. Além do equilíbrio entre as estações, são também realizadas trocas internas com o objetivo de reduzir a carga interna.

Concluindo, o objetivo inicial do projeto foi realizado, isto é, aumentar a eficiência das linhas através do balanceamento da carga de trabalho entre estações de picking.

10 Conclusões

Este capítulo apresenta um apanhado geral sobre o tema abordado no trabalho. Faz-se algumas considerações a respeito do modelo de programação matemática para o balanceamento de linhas de separação que não foram abordadas anteriormente. A seguir, apresenta-se a conclusão do trabalho.

10.1 Considerações Adicionais

A fim de serem utilizados na solução de problemas reais, modelos de programação da produção (separação de pedidos) devem ser implementados de modo a se tornarem softwares viáveis. Desta forma, as dificuldades de uso dos modelos de programação em problemas práticos nasce das dificuldades de projeto de um sistema (software) adequado às expectativas da empresa.

KING (1976) foi um dos primeiros a criticar a distância existente entre a teoria e a prática de programação da produção. Ele atribui o fato à grande quantidade de simplificações sobre a realidade complexa encontrada no ambiente de produção, simplificações estas efetuadas de modo a ser possível a criação de um modelo matemático do domínio da pesquisa operacional. King lembra que, desde o começo das publicações sobre scheduling, este foi concebido como um problema a ser tratado no domínio da pesquisa operacional. BUXEY et al (1989) revê o papel da pesquisa operacional na tentativa de solução dos problemas de scheduling,

Com frequência, é difícil aplicar algoritmos de otimização no balanceamento de linhas de separação devido à complexidade computacional, principalmente quando o ambiente de picking apresenta um número crescente de produtos (SKUs) e restrições físicas que devem ser programados em igual número de endereços nas linhas.

A versão de decisão de um problema de balanceamento, similar ao problema de alocação de tarefas generalizado (GAP), pertence à classe NP-Hard indicando que é

potencialmente passível de solução, entretanto, é pouco provável obtê-la utilizando algoritmos de tempo polinomial. Experimentos computacionais evidenciam que, dentre os problemas básicos de operações, o GAP é um dos que apresenta maior dificuldade para se obter soluções ótimas.

É natural questionar, também, de que modo e sob quais condições é possível reduzir o problema de programação inteira e particioná-lo em problemas menores ou o desenvolvimento de métodos heurísticos para resolução deste, como a *Busca Tabu* e *Busca Local Dirigida*. Esse questionamento assume maior importância nos casos de minimização, ou seja, até que ponto a obtenção de uma solução ótima local é efetiva na minimização da função objetivo da programação inteira.

Baseando-se nesses argumentos, foram listados alguns fatores de não aderência do modelo à realidade, causados pela dificuldade na compreensão do problema e dos aspectos relevantes à modelagem, dificuldade de tratamento de restrições complexas e preferência por modelagem utilizando abordagens otimizantes:

- Troca de produtos individualmente: normalmente, produtos que apresentam mais de um canal por estação são alocados em posições adjacentes, facilitando o trabalho do colaborador. O modelo não necessariamente faz esse tipo de alocação, já que a busca é feita por produto e não por conjunto de produtos. O modelo pode alocar o mesmo produto no início e no final da estação, provocando assim maior deslocamento do funcionário.
- Características físicas dos produtos: os cosméticos apresentam tamanhos, pesos e cores diferentes entre si. Quando a troca de endereços é sinalizada pelo software, essas características não são avaliadas. São considerados apenas a previsão e histórico de saída. Isso resulta na alocação de produtos com cores iguais perto um do outro, o que facilita a troca na reposição (erro de separação). Um outro problema é o tamanho do espaço físico (canal) para a alocação. Por exemplo, ao fazermos a troca de um xampu por um batom, os canais apresentam tamanhos distintos, e nem sempre é possível realizá-la.

Torna-se, portanto, necessária, uma validação física da otimização da carga de trabalho por estação.

- Lançamentos: os lançamentos devem ser alocados primeiramente a um canal e, posteriormente, o modelo faz a otimização e encontra a melhor posição na linha. Não é possível uma análise à priori, isto é, simplesmente indicar a previsão de vendas e o modelo retorna a melhor posição ou a troca necessária para a alocação.
- A viabilidade da solução dependerá não só da entrada de dados no que se refere ao limite do número de trocas e da margem de tolerância, mas também do endereçamento inicial da linha, caso a linha à priori esteja muito desbalanceada, com grandes distorções, muitas trocas podem se fazer necessárias para se atingir o balanceamento. Caso não seja encontrada uma solução viável, deve-se dar mais liberdade ao sistema, aumentando o número permitido de trocas, ou diminuindo o rigor com o balanceamento, o que pode ser feito aumentando-se a margem de segurança (diferença % da carga de trabalho entre as estações).
- Pedidos: a falta de flexibilidade de alterar a ordem dos pedidos durante a separação dificulta a otimização do processo de picking porque não é possível o balanceamento das linhas em função da região ou ciclo de vendas. O balanceamento usa como dado de entrada o histórico de separação e a previsão de vendas e não o lote real de pedidos. A otimização é baseada na média de saída e não nos valores pontuais.

10.2 Conclusões

O presente trabalho apresentou diversas técnicas para a melhoria da eficiência de separação de pedidos na área de Picking. Em um primeiro momento, foi desenvolvida uma ferramenta visual com o objetivo de auxiliar o usuário a entender fisicamente as linhas de separação e o processo como um todo.

Posteriormente, as atividades que definem a quantidade de canais por produto foram automatizadas através de funções de limpeza das linhas, aumento e redução de canais por produto. Essas funções são extremamente importantes para o planejamento do balanceamento, liberando endereços para os lançamentos do próximo ciclo.

A otimização do processo de alocação de produtos (definição do canal para cada produto) é iniciada internamente à estação. Utilizou-se a busca local orientada como método de resolução, cuja função objetivo é a minimização da carga de trabalho por estação, respeitando as restrições dos limites de troca e priorizando a matriz inicial de endereços.

Foi apresentada a metaheurística de Busca Tabu para a otimização entre estações. Esta técnica é genérica e pode ser aplicada para resolver vários problemas de otimização combinatorial. Porém, não há registros da aplicação desta técnica para o problema em questão, razão pela qual foi testada neste trabalho. Os resultados foram excelentes, equilibrando a carga de trabalho entre as estações e minimizando a carga de trabalho total.

Os indicadores de produtividade indicam que os métodos utilizados trouxeram resultados positivos para o aumento da velocidade de separação de itens e caixas e diminuição da recirculação nos PBLs. Os erros de separação não apresentaram mudanças.

O pequeno tempo computacional encoraja os funcionários das empresas a realizar análises para diferentes cenários: inclusão de lançamentos, alterações da quantidade de canais por produtos, exclusão de descontinuados, entre outras. Desta forma obtém-se rapidamente o impacto destas alterações nos custos operacionais, permitindo ao colaborador a aplicação de diversas estratégias em seu planejamento, o que contribui para a obtenção de economias indiretas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RODRIGUES, A. M. Estratégias de Picking na Armazenagem. Artigos CEL. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <<http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-busca.htm?fr-picking.htm>>. Acesso em 19 out. 2004.

LIMA, M. Armazenagem: Considerações sobre a Atividade de Picking. Artigos CEL. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <<http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-busca.htm?fr-armazenagem.htm>>. Acesso em 19 out. 2004.

LIMA, M.; FILHO, V.J.M.F. Um Modelo de Programação Matemática para o problema de Balanceamento de linha de Picking By-Light. Artigos CEL. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <<http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fs-busca.htm?fr-modelo.htm>>. Acesso em 19 out. 2004.

TRAMONTIN, M.P. Resolução do Problema de Alocação de Veículos – Comparação de Algumas Técnicas Heurísticas. 2001. 96p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

HERAGU, S.S. Facilities Design, PWS Publishing Company, Boston, 1997.

TOMPKINS, J.A. Facilities Planning, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1996.

ADAMS, N.D. Warehouse and Distribution Automation Handbook, McGraw-Hill, New York, 1996.

LAMBERT, D.M. Strategic Logistics Management, Third Edition, Richard D. Irwin Inc., Boston, 1993.

VOUDOURIS, C. Guided local search for combinatorial optimization problems. 1997. 166p. Tese (Doutorado em Ciências da Computação)- Departamento de Ciências da Computação, Universidade de Essex.

RODRIGUES, M. A. P. Problema do caixeiro viajante: um algoritmo para resolução de problemas de grande porte baseado em busca local dirigida. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2000.

WINSTON, W.L. Introduction to Mathematical Programming – Applications and Algorithms, Second Edition, Duxbury Press, California 1995.

ATKINSON, P.A. Estudo de técnicas para minimização do makespan no job shop clássico com base no modelo em grafo disjuntivo. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PACHECO, R. F. A Adoção de Modelos de Programação da Produção nas Empresas: Um Estudo do Processo de Decisão. 181p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

DUARTE, J. D. Modelo de Programação Robusta para Sistemas de Produção Job Shop. 117p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

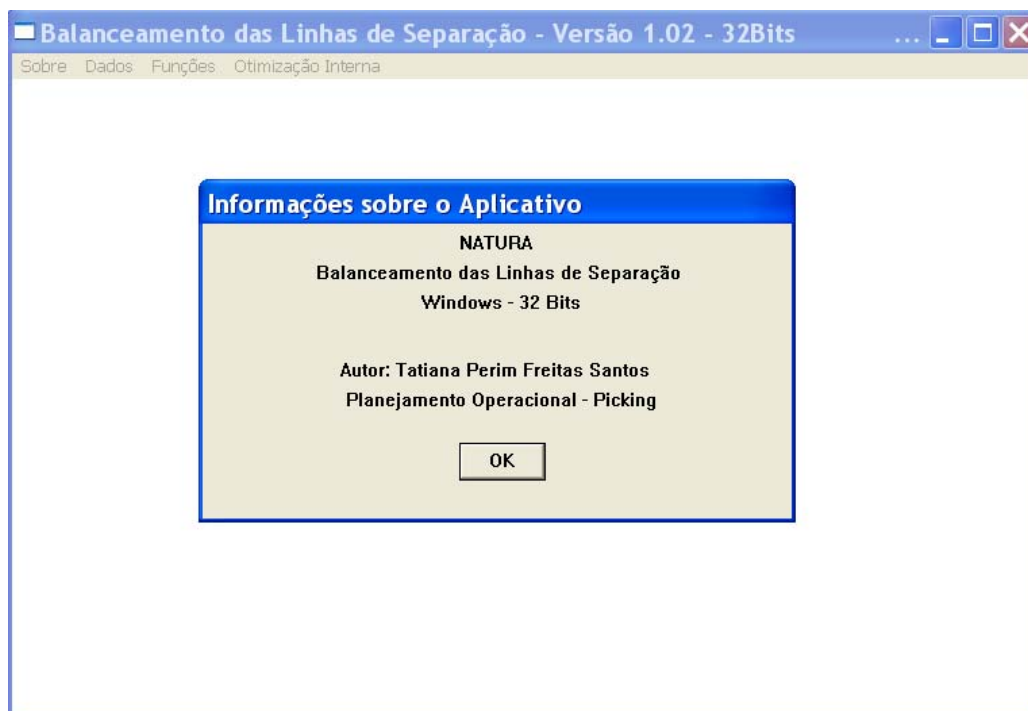
NATURA. Relatório Anual Natura 2003, 2004. Documento Interno.

APÊNDICE I – TELAS DO SOFTWARE BALANCEAMENTO

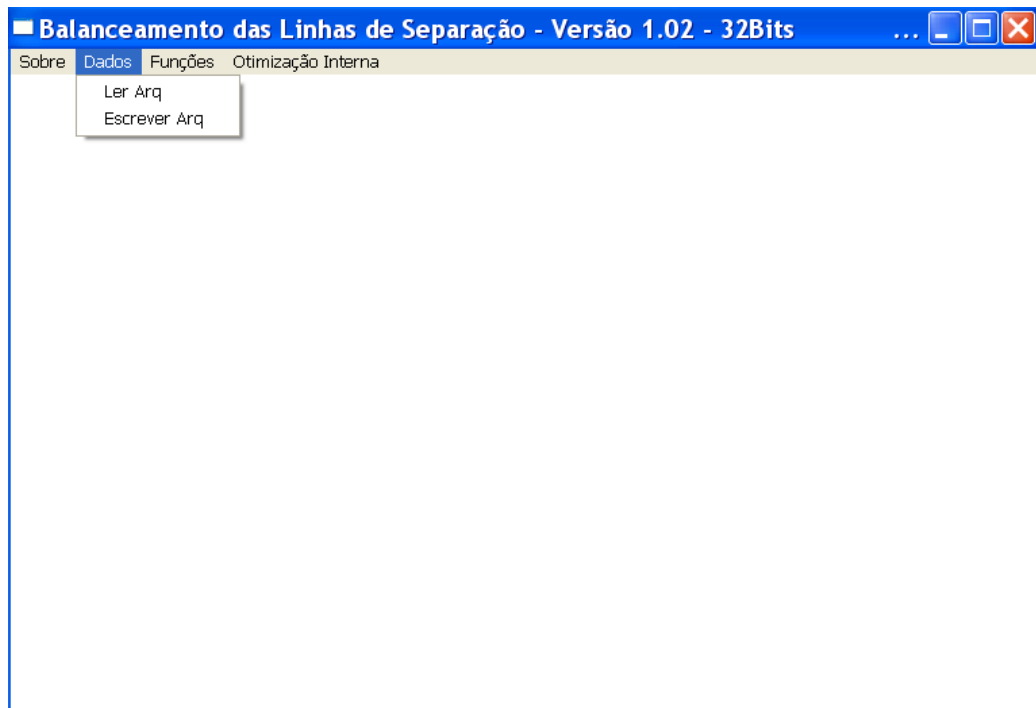
Tela de Abertura



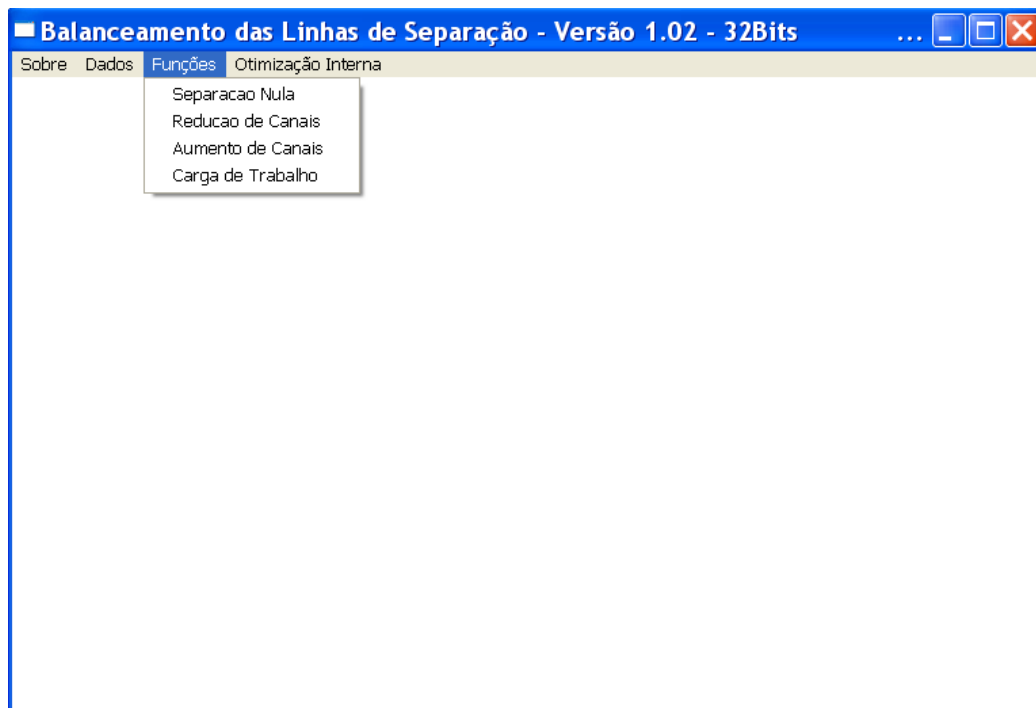
Tela de Informações sobre o Aplicativo



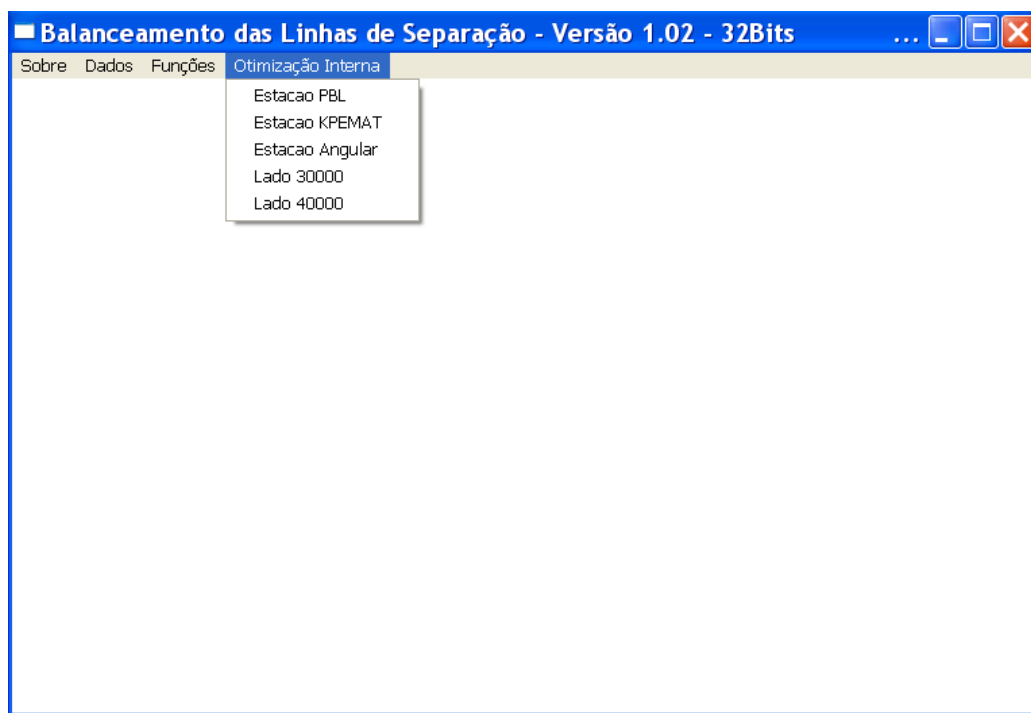
Tela dos Dados de Entrada



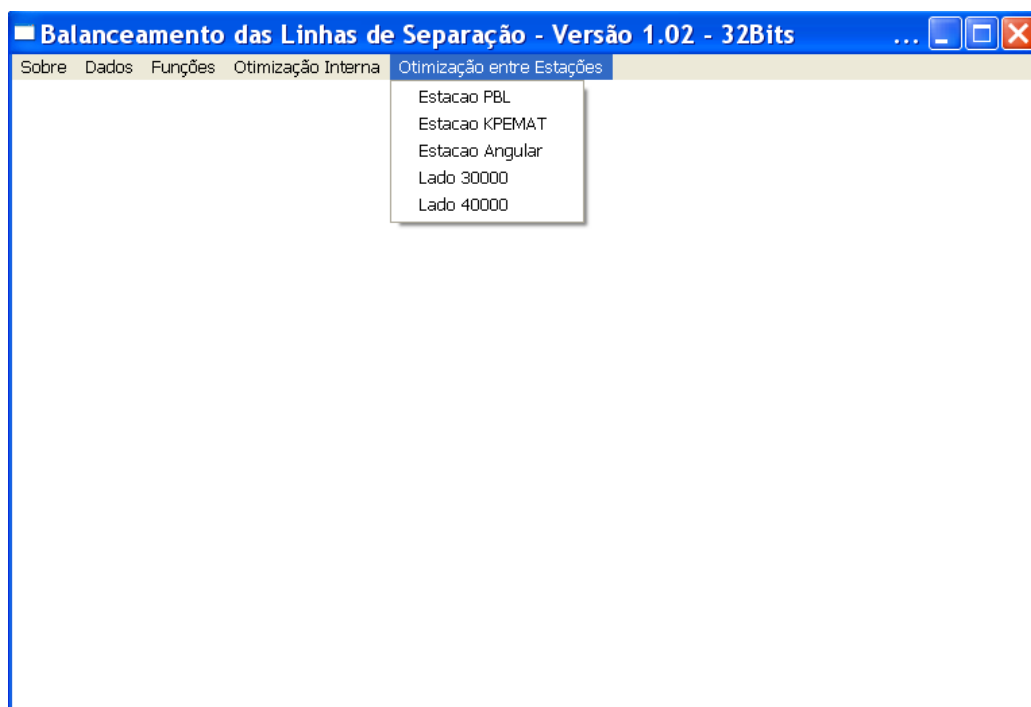
Tela das Funções



Tela da Otimização Interna

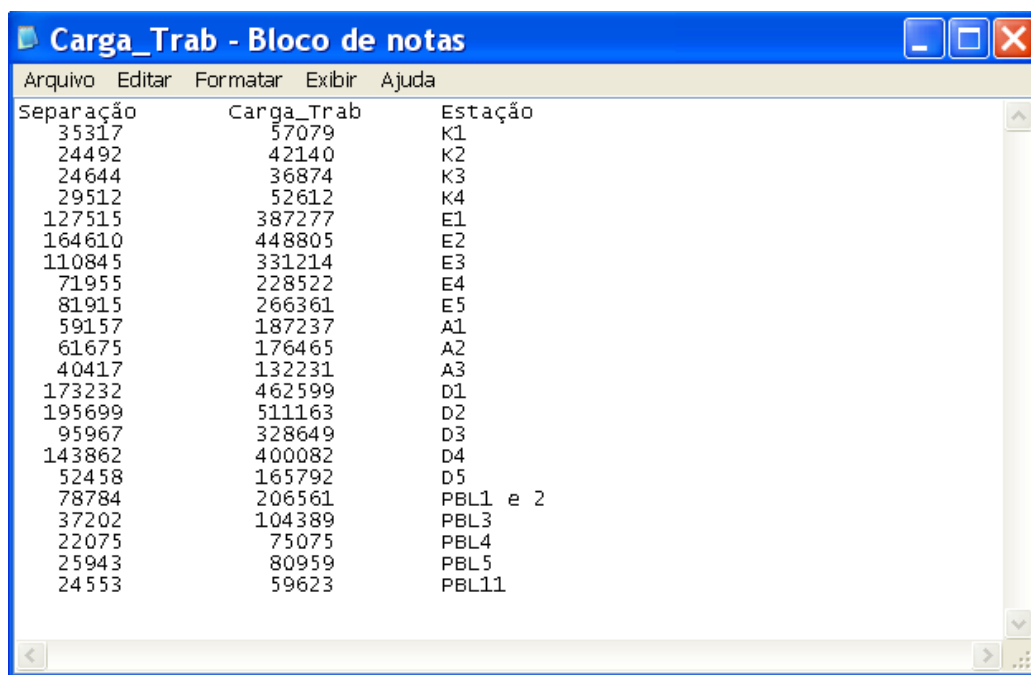


Tela de Otimização entre Estações



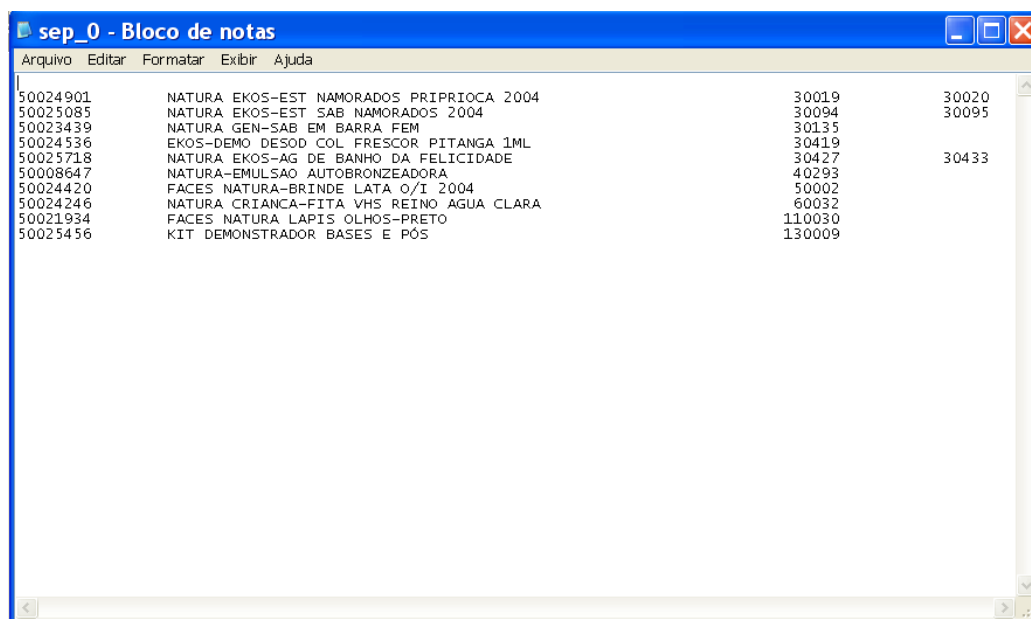
APÊNDICE II – ARQUIVOS TEXTO GERADOS

Arquivo de Carga de Trabalho Atual por Estação



Separação	Carga_Trab	Estação
35317	57079	K1
24492	42140	K2
24644	36874	K3
29512	52612	K4
127515	387277	E1
164610	448805	E2
110845	331214	E3
71955	228522	E4
81915	266361	E5
59157	187237	A1
61675	176465	A2
40417	132231	A3
173232	462599	D1
195699	511163	D2
95967	328649	D3
143862	400082	D4
52458	165792	D5
78784	206561	PBL1 e 2
37202	104389	PBL3
22075	75075	PBL4
25943	80959	PBL5
24553	59623	PBL11

Arquivo de Produtos com Separação Nula



Product ID	Description	Value 1	Value 2
50024901	NATURA EKOS-EST NAMORADOS PRIPRIOCA 2004	30019	30020
50025085	NATURA EKOS-EST SAB NAMORADOS 2004	30094	30095
50023439	NATURA GEN-SAB EM BARRA FEM	30135	
50024536	EKOS-DEMO DESOD COL FRESCOR PITANGA 1ML	30419	
50025718	NATURA EKOS-AG DE BANHO DA FELICIDADE	30427	30433
50008647	NATURA-EMULSAO AUTOBRONZEADORA	40293	
50024420	FACES NATURA-BRINDE LATA O/I 2004	50002	
50024246	NATURA CRIANCA-FITA VHS REINO AGUA CLARA	60032	
50021934	FACES NATURA LAPIS OLHOS-PRETO	110030	
50025456	KIT DEMONSTRADOR BASES E PÓS	130009	

Arquivo de Redução de Canais

Red_Canais - Bloco de notas				
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda				
50000971	SINTONIA FEMININO DESOD COLONIA	1	30003	30004
10727000	KAIK-DESOD COLONIA	3	30005	30006
50025391	NATURA EKOS-EST MATE VERDE PAIS 2004	1	30043	30044
50024068	ESSENCIAL-CJ BARBA HOMME	3	30046	30047
50023470	NATURA GEN-SAB BARRA 120 G	1	30051	30052
50024847	KIT VIAGEM	1	30059	30060
50000972	SINTONIA MASCULINO DESOD COLONIA	1	30121	30122
50020764	SINTONIA TOTAL FEM-DESOD COLONIA	2	30124	30125
50020356	KAIK AVENTURA-DESOD COLONIA	3	30127	30128
50015030	NATURA EKOS-AGUA BANHO MINI PRIPRIOCA	3	30173	30174
50020475	KAIK AVENTURA-DESOD SPRAY	5	30190	30191
50004988	SINTONIA DESOD SPRAY FEMININO	2	30197	30198
50025894	AGUAS DE NATURA-POMAR DE LIMAS 75ML	7	30204	30205
50025527	CHRONOS-CR HAS NOTURNO ELASTINOL+ R30+	1	30238	30239
9646000	NATURA HOMEM-DESOD COLONIA	2	30242	30243
50023348	SEVE-DESOD CORP C/OL AVELA AMBAR	1	30258	30259
50024061	ESSENCIAL-PARIS FEMININO 100 ml	3	30264	30265
11453000	SR N-DESOD	1	30272	30273
50024210	POLIPLANT-SH RF 400ML	1	30286	30287
50025522	CHRONOS-CR HAS DIURNO ELASTINOL+R 45+	1	30300	30301
50024994	NATURA EKOS-AGUA DE BANHO FELICIDADE	1	30302	30303
50020910	MIXPLANT-COND CAB MISTOS 400ML	3	30313	30314
50025513	CHRONOS-CR HAS DIURNO ELASTINOL+R 30+	1	30364	30365
50005027	HOJE FEMININO-DESOD SPRAY	2	30373	30374
50024023	NUTRIPLANT-SH RF 400 ML	1	30395	30396
50020909	MIXPLANT-SH CAB MISTOS 400ML	3	40009	40011
50020847	POLIPLANT-SH CAB NORMAIS 400ML	1	40021	40023
50020921	CRISTALPLANT-SH CAB OLEOSOS 400ML	3	40047	40049
50020922	CRISTALPLANT-COND CAB OLEOSOS 400ML	3	40093	40095
50020848	POLIPLANT-COND CAB NORMAIS 400ML	2	40107	40109
50026696	NATURA EKOS-SAB PURO VEG GUARANA-ED ESP	1	40169	40170
9675000	BIOGRAFIA-DESOD COLONIA	1	40172	40173
50020880	NUTRIPLANT-COND CAB SECOS 400ML	2	40178	40179
12075000	KAIK-DESOD RF C/02 UNS	1	40184	40185
50020906	TODO DIA-HIDR MACADAMIA CR NUTRITIVO	4	40204	40205
50023999	NUTRIPLANT-COND RF 400ML	1	40220	40221
50025524	CHRONOS-CR HAS DIURNO ELASTINOL+R 60+	1	40243	40244

Arquivo de Aumento de Canais

Aum_Canais - Bloco de notas				
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda				
50024373	NATURA EKOS-SAB ESFOLIANTE MARACUJA	1	30207	30208
50024371	NATURA EKOS-SAB ESFOLIANTE ANDIROBA 150G	1	30233	30234
50020908	TODO DIA-SAB BARRA MANT KARITE	1	40086	
50008699	TODO DIA-HIDR MACADAMIA CR NUTRITIVO	1	40176	40177
50019399	M&B-AGUA DE COLONIA PP COEX	4	40261	40262
50008701	TODO DIA-HIDR PESSGO CREME NUTRITIVO	1	40265	40266
11519009	M&B-SAB	2	40385	

Arquivo de Otimização Interna – Exemplo PBL

Optimizacao_PBL - Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir Ajuda
Código	Atual	Futuro	Estação
50023605	50004	50020	PBL1 e 2
50022118	50017	60028	PBL1 e 2
50025088	50020	50004	PBL1 e 2
50024264	60028	50017	PBL1 e 2
50019022	90004	90006	PBL3
50023539	90005	90009	PBL3
50024065	90006	90004	PBL3
50019027	90009	90005	PBL3
50025072	110006	110009	PBL4
50024067	110009	110006	PBL4
50006699	110015	110020	PBL4
50021970	110020	110015	PBL4
50001314	130003	130018	PBL5
50020856	130018	130003	PBL5
50021976	140039	130008	PBL5
50023843	150005	150009	PBL11
50023351	150009	150005	PBL11
50002885	150018	150030	PBL11
50024416	150030	150018	PBL11
Separação	Carga_Trab	Carga_Fut	Estação
78784	206561	194429	PBL1 e 2
37202	104389	101956	PBL3
22075	75075	69155	PBL4
25943	80959	71467	PBL5
24553	59623	54416	PBL11

Arquivo de Otimização entre Estações

Trocas_KPEMAT - Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir Ajuda
Código	Atual	Futuro	
50024068	30047	30005	
50025069	30085	30009	
50025069	30086	30041	
50017835	30009	30045	
50005076	30041	30046	
50020356	30129	30047	
50008378	30010	30085	
50020356	30128	30086	
10727000	30005	30087	
50025069	30087	30089	
50024068	30046	30128	
Separação	Carga_Trab	Carga_Fut	Estação
35317	57079	44759	K1
24492	42140	44832	K2
24644	36874	46849	K3
29512	52612	43106	K4

APÊNDICE III – Programação do Aplicativo