UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – PPGA

MESTRADO UFRGS/UNIVATES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UMA HEURÍSTICA APLICADA A UM PROBLEMA DE ESCALONAMENTO NA INDÚSTRIA CALÇADISTA

MÁRCIA JUSSARA HEPP REHFELDT

Orientadores: Prof. Dr. Denis Borenstein e Prof. Dr. João Luiz Becker

Porto Alegre, novembro de 2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – PPGA

MESTRADO UFRGS/UNIVATES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UMA HEURÍSTICA APLICADA A UM PROBLEMA DE ESCALONAMENTO NA INDÚSTRIA CALÇADISTA

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração.

MÁRCIA JUSSARA HEPP REHFELDT

Orientadores: Prof. Dr. Denis Borenstein e Prof. Dr. João Luiz Becker

Porto Alegre, novembro de 2001

“Nunca ande por caminhos traçados, pois eles conduzem apenas até onde alguém já foi.” Anônimo

AGRADECIMENTOS

O incentivo dado pela família, colegas e amigos, aliado à força de vontade foi indispensável nesta caminhada. Por tudo devo e desejo agradecer:

- a Deus que iluminou o caminho diante de tantos obstáculos encontrados;

- aos professores da UFRGS, em especial aos professores Dr. João Luiz Becker e Dr. Denis Borenstein, que não mediram esforços no trabalho de orientação;

- à Empresa de Calçados X, pelo espaço concedido para que esta dissertação pudesse ser realizada;

- aos colegas professores da ECEG e UNIVATES que de uma ou outra forma, auxiliaram na execução desta dissertação;

- ao marido Paul e à filha Stephanie que souberam compreender minha ausência inúmeras vezes;

- às famílias Hepp e Rehfeldt pelo apoio em todos os momentos desta jornada;

- a todos os amigos que sempre incentivaram meu crescimento profissional e pessoal.

SUMÁRIO

Lista de tabelas

Lista de figuras

Lista de quadros

RESUMO

Problemas de escalonamento ocorrem com freqüência, principalmente em empresas de manufatura. Entretanto, na maioria das vezes, ferramentas matemáticas de apoio à decisão são pouco utilizadas, pois requerem profissionais capacitados, *softwares* caros e computadores muito potentes.

Esta dissertação tem como objetivo mostrar uma heurística capaz de reduzir a quantidade de fôrmas na indústria calçadista. Inicialmente, foram comparadas as soluções fornecidas pela heurística com as soluções obtidas a partir do modelo matemático de programação linear, com a finalidade de verificar o quão próximas estão ambas as respostas. Em seguida, foram comparadas a solução fornecida pela heurística e a solução presentemente adotada por uma empresa de calçados denominada de Empresa de Calçados X.

Os principais resultados obtidos foram:

a) o resultado fornecido pela heurística apresenta menos de 10% de acréscimo no número de pares de fôrmas em relação ao resultado fornecido pelo modelo matemático de programação linear inteira tipo 0/1;

b) a solução fornecida pela heurística reduz, em média, 23,4% a quantidade de fôrmas necessárias, podendo chegar próximo a 40%. Isto pode trazer uma estimativa de redução anual na ordem de R$ 288.100,00;

c) o percentual de redução na quantidade de pares de fôrmas é variável, dependendo de cada caso.

ABSTRACT

Scheduling problems occur frequently, mainly in manufacturing plants. Nevertheless, most of the times, mathematical tools that support a decision making are seldom used in Brazilian context because they require qualified professionals, expensive softwares and very powerful computers.

The purpose of this dissertation is to present a heuristic model aimed at reducing the quantity of shoe lasts used in the shoe manufacturing. First, the resolutions proceeded from the heuristic model were compared to the resolutions resulted from a binary integer linear programming model. Next, the heuristic model was compared with the solutions given by human schedulers from a shoe factory. The main results found are as follow:

a) comparing the heuristic model with the human schedulers, the heuristic has reduced the number of the shoe lasts in average 23,4% with maximum of 40%;

b) the results obtained using the heutistic model reduced less than 10% the number of pairs of shoe lasts in comparison to the results obtained from the linear programming model;

c) the reduction percentage of the quantity of shoe lasts is variable, depending on each case.

INTRODUÇÃO

A indústria calçadista tem contribuído de forma significativa com as atividades de manufatura do país. De acordo com MTE/FAT/RAISESTABEB/preliminar – 1999[1] e MTE/FAT/CAGED/MODII/2000[2], há, no Brasil, mais de 6.000 empresas calçadistas gerando em torno de 290.000 empregos diretos. O Rio Grande do Sul ocupa uma posição de destaque no setor calçadista nacional. Sua indústria tem mais de 30% dos estabelecimentos do país e emprega mais de 150.000 pessoas, o que representa mais de 50% dos empregos gerados na indústria calçadista nacional. Verifica-se, também, que a indústria calçadista do Rio Grande do Sul gera em torno de 28% dos empregos do setor industrial e mais de 3% dos empregos disponíveis no mercado de trabalho, levando-se em conta apenas a economia formal, o que dá a dimensão da sua importância sócio-econômica.

As vendas externas do setor calçadista, segundo o IBGE, responderam, em 1999, por US$ 1.342 milhões, sendo dirigidas principalmente aos Estados Unidos (65,5%), Reino Unido (8,4%), Argentina (7,2%), Alemanha (2,7%) e Canadá (1,9%). De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Calçados (Abicalçados), o faturamento com as exportações, no ano de 2000, foi de US$ 1,54 bilhões, sendo que o mercado internacional comprou 162,5 milhões de pares de calçados nesse período. O preço médio, por par, no mês de dezembro, foi de US$ 9,52. FENSTERSEIFER (1995) menciona que as tendências apontam para uma intensificação da concorrência na faixa de preço (e de qualidade) do calçado brasileiro: de um lado os países europeus estimulando este setor industrial e reduzindo custos; por outro lado, a China, a Tailândia e a Indonésia melhorando a qualidade de seus calçados sem aumentar os custos de forma significativa.

Para enfrentar esse cenário competitivo, segundo FENSTERSEIFER (1995), as empresas necessitam de mudanças tecnológicas, comunicação rápida, abertura econômica e competição global, sendo forçadas a rever seus modelos de competição e mercados.

---

[1] Ministério do Trabalho/Amparo ao Trabalhador/Relação Anual de Informações Sociais – preliminar 1999
[2] Ministério do Trabalho/Amparo ao trabalhador/Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - 2000

De acordo com BECKER e FENSTERSEIFER (1989), ferramentas matemáticas de apoio à decisão, principalmente para problemas gerenciais do setor de produção de umaempresa, estão disponíveis há várias décadas. Os benefícios oriundos de tais técnicas são redução de custos, aumento da produtividade, melhoria da qualidade de seus produtos e, conseqüentemente, aumento da competitividade. No Brasil, apenas grandes empresas têm se beneficiado dessas técnicas. As decisões em empresas do setor curtumeiro são tomadas com extrema informalidade. Mesmo detalhes técnicos e econômicos de fácil estruturação e quantificação se apresentam pouco formalizados. Neste setor, em todos os aspectos, há boas possibilidades de obtenção de vantagem competitiva.

De acordo com CONWAY (1967), problemas de seqüenciamento são comuns. Eles existem quando envolvem possibilidades de mudança de ordem nas tarefas a serem executadas. Esse tipo de problema pode envolver *jobs* numa fábrica de manufatura, espera de aviões para aterrissagem, clientes na fila de um caixa de banco, programas para rodar num centro computacional ou apenas tarefas domésticas num sábado à tarde. PINEDO (1995) também menciona que, em empresas do setor de manufatura, o escalonamento tem fornecido bons resultados, sendo considerado um processo de tomada de decisões cuja meta é a otimização de um ou mais objetivos.

A dissertação tem como objetivo mostrar uma heurística aplicada ao problema de escalonamento na indústria calçadista e está estruturada em oito capítulos além da introdução, das considerações finais e das referências bibliográficas. A parte introdutória discorre sobre a relevância da indústria calçadista no estado e no país. O capítulo um apresenta a justificativa da dissertação enfatizando o custo da forma na fabricação do calçado. O capítulo dois mostra os objetivos. No capítulo três, aparece a metodologia. O capítulo quatro apresenta a caracterização do problema, conceituando forma e mostrando o processo produtivo do calçado. Os capítulos cinco e seis são, por sua vez, totalmente teóricos e discorrem sobre escalonamento e heurística, respectivamente. Já no capítulo oito é feita a análise dos dados obtidos, estabelecendo comparações entre a heurística e o modelo matemático e a heurística com as soluções presentemente adotadas pela Empresa de Calçados X (empresa onde foi validada a heurística).

1 Justificativa

Por fôrma entende-se, segundo a revista do Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins, v. 17, nº 4 de julho/96, uma réplica do pé que tem a função de proporcionar a conformação e o alinhamento adequado dos materiais e das peças que compõem o calçado. A função da fôrma é, portanto, substituir o pé no momento da fabricação do calçado. Possui vários tamanhos e larguras diferentes.

Otimizar fôrmas tem sido uma prática pouca usada nas empresas calçadistas do Rio Grande do Sul. Isso pôde ser comprovado numa pesquisa feita via *e-mail* em algumas das grandes empresas gaúchas, conforme quadro 1, abaixo.

Quadro 1: As grandes empresas gaúchas e o uso da modelagem matemática

Empresa	Produção diária	Usa modelagem matemática para determinar a quantidade de fôrmas	Responsável pela informação
Schmitd Irmãos – Campo Bom 598-3030	18.000 pares	Não usa.	Sérgio Paulo, em 01/11/00
Paquetá Calçados – Sapiranga 599-4500	45.000 pares	Usava um *software* que não atendia às suas necessidades. Atualmente o cálculo é manual.	Daniel (Baiano), em 01/11/00
Blip Calçados – Teutônia 3762-7022	25.000 pares	Não usa.	Luciano, em 01/11/00
Musa Calçados – Rolante 547-1212	23.000 pares	Não usa	Carlos, em 01/11/00

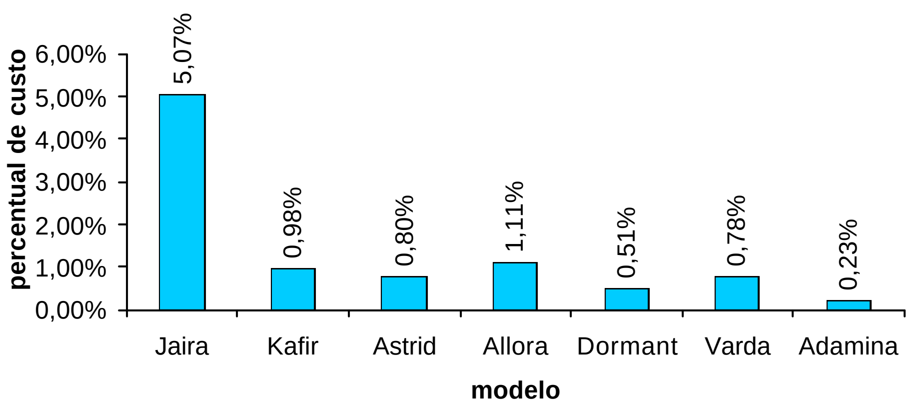
Fonte: empresas citadas acima

Para a fabricação de calçados, as linhas de produção utilizam cerca de 150 fôrmas/dia, cujo custo gira em torno de R$ 30,00 o par, dependendo do modelo a ser fabricado. As fôrmas são utilizadas por alguns dias, dependendo da quantidade de pares do pedido. O percentual do custo com as fôrmas em relação ao custo total do modelo depende da quantidade total de pares deste pedido, pois, quanto maior a quantidade de pares referentes ao pedido, maior a possibilidade de distribuição deste custo via rateio. Para termos uma idéia desse custo, é necessário analisar a tabela 1 ou a figura 1.

Tabela 1 - Incidência do custo com fôrmas em relação ao custo total do modelo na empresa de Calçados X, 2000

Nome modelo	Quantidade de pares do pedido	% sobre o custo total
Jaira	3.718	5,07%
Kafir	6.318	0,98%
Astrid	8.112	0,80%
Allora	11.154	1,11%
Dormant	36.378	0,51%
Varda	48.854	0,78%
Adamina	84.718	0,23%

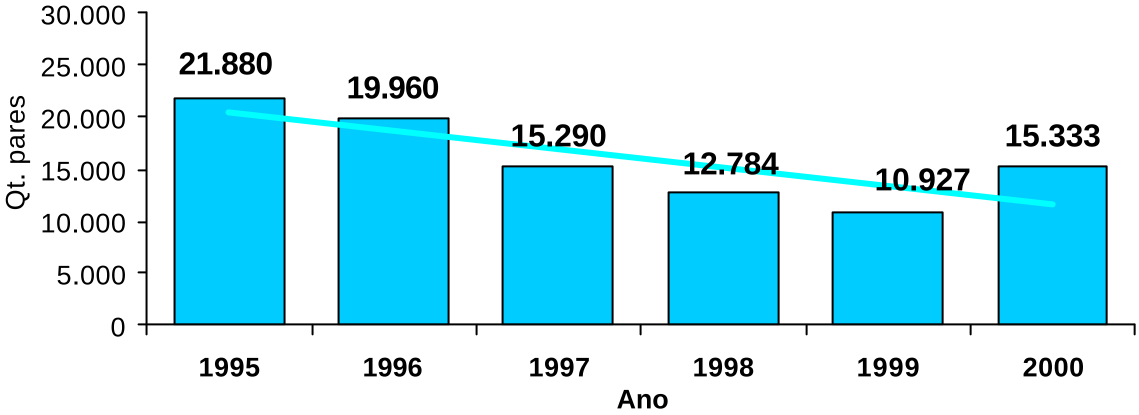
Fonte: Departamento de Custos da Empresa de Calçados X, 2000



Fonte: Departamento de Custos da Empresa de Calçados X, 2000

Figura 1: Incidência do custo com fôrmas em relação ao custo total do modelo na Empresa de Calçados X, 2000

Segundo o gerente de produção da Empresa de Calçados X, a tendência, nas empresas brasileiras exportadoras de calçados, é diminuir a quantidade de pares do pedido, mantendo, porém, a variabilidade de modelos, o que implica um percentual mais significativo do custo das fôrmas no custo total do calçado, conforme tabela 2 ou figura 2, a seguir. Essa tendência justifica-se pelo fato de o calçado brasileiro, bem como o italiano e o espanhol, destinado à exportação, apresentar um calçado com um diferencial que encarece o produto. Os pedidos de grande quantidade de pares de calçados, atualmente, estão sendo solicitados à China, que fabrica calçados populares a um preço menor.



Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

Figura 2: Quantidade média de pares e tendência do pedido na Empresa de Calçados X, nos anos 1995, 1996, 1997, 1998, 1999 e 2000.

Tabela 2 – Quantidade média de pares do pedido na Empresa de Calçados X, nos anos 1995, 1996, 1997, 1998, 1999 e 2000.

Ano	Total produzido	Quantidade média de pares
1995	2.713.218	21.880
1996	3.233.543	19.960
1997	3.012.343	15.290
1998	2.850.874	12.784
1999	2.589.712	10.927
2000	3.618.704	15.333

Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

É importante lembrar também que, para cada modelo, é necessária uma nova coleção de fôrmas. A quantidade varia em função da quantidade de pares produzidos por dia e da largura do pé. As fôrmas, após o uso, são vendidas como resíduos a uma empresa de plásticos por um valor insignificante.

Diante desse fato, percebe-se que as empresas calçadistas estão interessadas em minimizar a quantidade de fôrmas por linha de produção, reduzindo, assim, o custo de produção do calçado e obtendo um lucro maior.

2 Objetivos

A dissertação tem como objetivo desenvolver um modelo heurístico para resolver o problema de escalonamento das fôrmas na linha de produção das empresas calçadistas, reduzindo a quantidade de fôrmas. Os objetivos específicos são:

- desenvolver uma heurística para resolver o modelo matemático;

- comparar as soluções geradas pela heurística com as soluções do modelo matemático de programação linear inteira tipo 0/1;

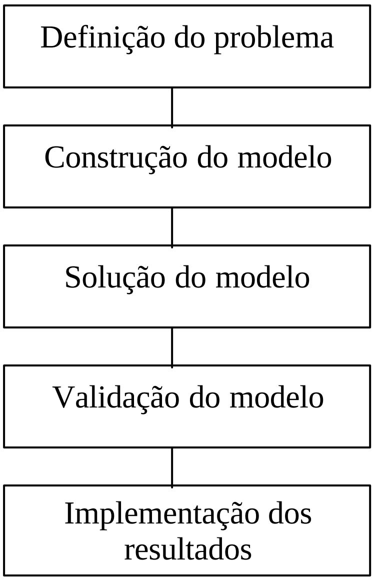
- comparar as soluções obtidas através da heurística com as soluções presentemente adotadas pela empresa estudada e validar a heurística desenvolvida com o apoio de uma empresa do ramo industrial calçadista, chamada Empresa de Calçados X Ltda.

2 METODOLOGIA

Para desenvolver o projeto, foram utilizadas a pesquisa operacional, como metodologia, e a Empresa de Calçados X, para validar o modelo matemático. De acordo com PRADO (1999), a pesquisa operacional é uma ciência que objetiva fornecer ferramentas quantitativas ao processo de tomada de decisões. De forma similar, SILVA (1998) descreve a pesquisa operacional como sendo um método científico de tomada de decisões, ou seja, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo e, através da experimentação do modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema.

Segundo WAGNER (1986), a análise quantitativa deverá ser precedida de uma análise qualitativa. Nesta fase inicial de diagnóstico, procura-se identificar quais parecem ser os fatores críticos, embora, numa etapa seguinte, possam não ser tão significativos quanto pareciam inicialmente.

Na análise quantitativa, observaram-se os seguintes estágios:



Fonte: WAGNER, 1996

Figura 3: Passos para a utilização do método de pesquisa operacional

2.1 Definição do problema

Nesta fase houve identificação dos elementos do problema. Estes incluíram as variáveis controladas, as variáveis não-controladas, as restrições sobre as variáveis e os objetivos para definir uma boa solução. No problema proposto inicialmente, as variáveis e as restrições foram observadas dentro da empresa, na linha de produção, com o auxílio de especialistas no assunto, mais especificamente, a gerência da produção. Os documentos necessários para comparar as soluções do modelo heurístico com as soluções presentemente adotadas pela empresa foram fornecidos pela Empresa de Calçados X para observação. Como variáveis controladas podem-se destacar a velocidade das esteiras superior e inferior e o *layout* da linha de produção. Já as variáveis não-controladas incluem a máquina desregulada que racha o bico da fôrma e as costuras que abrem.

2.2 Construção do modelo

Nesta fase foram identificados os dados de entrada. Projetaram-se as saídas apropriadas de informações. Identificaram-se os elementos estruturais estáticos e dinâmicos e passou-se a idear fórmulas matemáticas para representar a inter-relação entre esses elementos.

2.3 Execução das análises

Com o modelo inicial e os parâmetros especificados por dados históricos, tecnológicos e de juízo pessoal, foi possível calcular uma solução matemática.

Para isso foram utilizados:

- o *software* LINDO (*Linear, Interactive and Discrete Optimizer*), um *software* desenvolvido pela Lindo Systems Inc. de Chicago, Illinois, EUA, para a resolução do modelo de programação linear;

- um programa computacional escrito em linguagem Delphi para a resolução da heurística e que consta no anexo 1.

2.4 Validação do modelo e implementação dos resultados

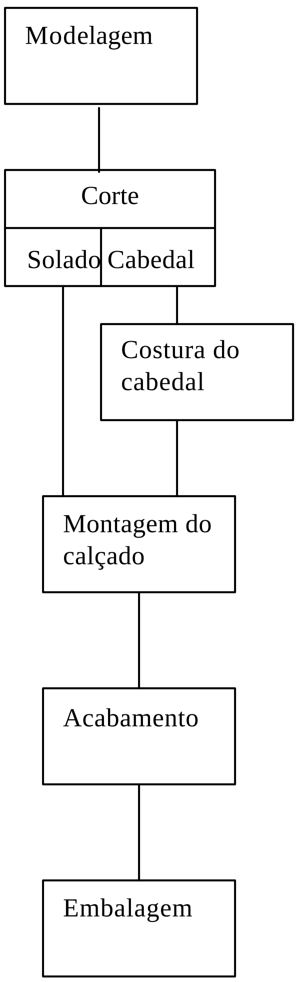
Para verificar os resultados e implantar a heurística proposta, uma linha de produção na Empresa de Calçados X Ltda foi adaptada durante dois dias.

A validação foi baseada na comparação dos resultados obtidos antes da utilização da heurística e depois da sua implantação. A análise desses resultados consta no capítulo 6.

3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

3.1 O processo produtivo

Segundo FENSTERSEIFER (1995), as etapas do processo produtivo de um calçado fabricado numa linha de montagem são as seguintes:



Fonte: FENSTERSEIFER, 1995

Figura 4: Etapas do processo produtivo

3.1.1 Modelagem

É nesta fase que o calçado é definido. Inicialmente, determina-se o *design* do calçado, ou seja, estilo, combinações de cores, detalhes, modelo do salto, entre outros.

A estrutura técnica de modelagem é responsável pela definição do projeto da fôrma, que especifica as dimensões do calçado, o material a ser utilizado e o custo. Ainda são definidos os padrões que serão utilizados na fabricação do calçado (desenho do cabedal, palmilha, solados, saltos e detalhes), bem como as ferramentas necessárias (navalhas, matrizes) e a preparação de máquinas.

3.1.2 Corte

É responsável pelo corte da matéria-prima que comporá o cabedal e o solado do calçado, conforme definido pela modelagem.

3.1.3 Costura do cabedal

Inicialmente, devem ser executados os detalhes (chanfros, enfeites, picotes, dobramentos). Em seguida, são costuradas as partes que compõem o cabedal do calçado. Normalmente, as operações são realizadas através de máquinas de costura industriais, cada vez mais modernas.

3.1.4 Solados

A produção ou compra do solado é concomitante ao corte e à costura do cabedal. Nesta fase, ocorre o corte das palmilhas e dos solados que comporão, na etapa posterior, o calçado. Os materiais utilizados como matéria-prima para o solado podem ser as resinas, as borrachas, o plástico, a madeira e o couro.

3.1.5 Montagem

Nesta etapa, ocorre a montagem do calçado, a partir da montagem do cabedal e da sola na fôrma. As principais etapas, segundo FENSTERSEIFER APUD ALVES FILHO (1990), são:

- preparação – colocação dos aviamentos no cabedal, montagem do contraforte, montagem da biqueira e assentamento da palmilha na fôrma;

- montagem de bico – fixação do cabedal na parte dianteira da fôrma;
- montagem dos lados – fixação das laterais do cabedal na fôrma;
- montagem da base - fixação da parte traseira do calçado na fôrma.

3.1.6 Acabamento

Na seção de acabamento, fixa-se o solado ao cabedal (colagem ou costura ou ambas), realizam-se as operações de acabamento necessárias (frisar, lixar, pintar, secar), retira-se a fôrma do calçado, faz-se a inspeção final e embala-se o calçado.

3.2 A importância da fôrma

De acordo com o artigo traduzido e adaptado da revista Schuh-Tecknik + abc 11/81, páginas 883-884, por F. W. Bredemeier Filho, do Centro Tecnológico do Couro Calçados e Afins, a fabricação moderna de calçados exige uma sincronização de formas, palmilhas e saltos, sendo a fôrma o ponto de partida dessa sincronização. Ela é o instrumento fundamental para a produção de calçados, pois é através dela que se consegue o calce do calçado e é ela que influencia o exato desenvolvimento técnico da fabricação do calçado.

Conforme a tabela 1 apresentada no capítulo 1, a incidência do custo da fôrma na fabricação do calçado é variável, podendo chegar a 5% do custo de fabricação. Assim, para pedidos pequenos, o custo torna-se bastante elevado. Por outro lado, percebe-se uma tendência de redução de quantidade em cada pedido conforme tabela 2. Conseqüentemente, uma tendência da fôrma transformar-se numa fração maior do custo total do calçado.

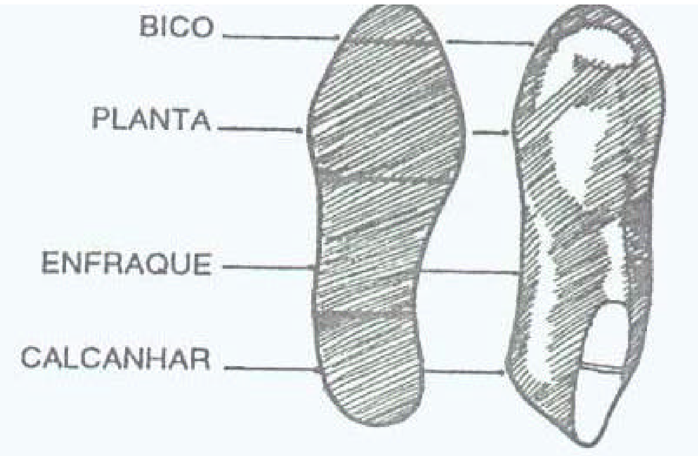
A revista do Centro Tecnológico do Couro, Calçados e Afins, v. 17, nº 4 de julho/96 também apresenta um estudo sobre a fôrma, partes da fôrma, sistema de numeração e largura, que será apresentado no capítulo seguinte. Na próxima página aparece, ilustrado, um par de fôrmas.

Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

Figura 5: Um par de fôrmas

3.3 As partes da fôrma

Quando a fôrma é vista pelo lado inferior, é dividida em quatro partes: o bico, a planta, o enfraque e o calcanhar, conforme figura 6, abaixo.



Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

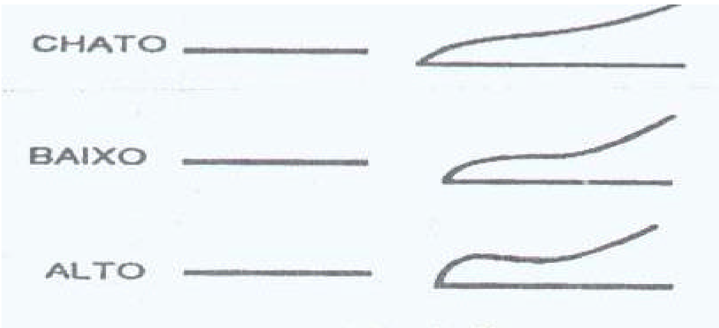
Figura 6: Vista inferior da fôrma

Olhando a parte superior, são identificadas outras partes, como mostra a figura 7.

Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

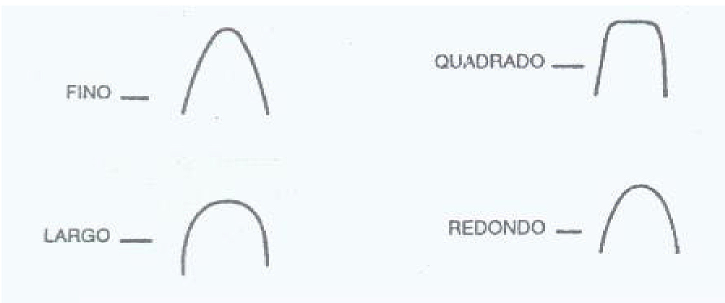
Figura 7: Vista superior da fôrma

A maior modificação que a fôrma sofre é no bico, devido à moda e a determinação de estilos de calçados. As alterações mais comuns ocorrem: quanto à espessura e quanto ao formato, conforme pode ser visto abaixo.



Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

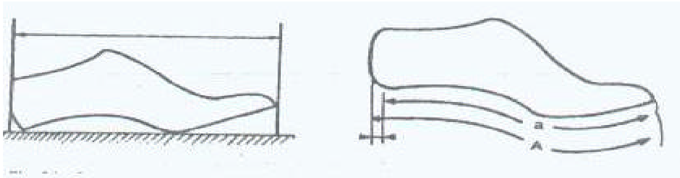
Figura 8: Espessura de bico de fôrmas



Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

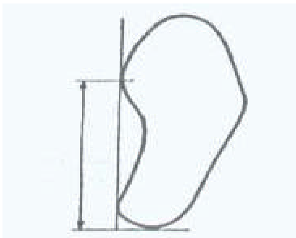
Figura 9: Formatos de bico de fôrmas

As medidas das fôrmas caracterizam-se de uma forma geral (pelos eixos, pelas proporções, pela altura do salto e pela elevação do bico), pelo comprimento, pelo perímetro, pela largura, além de outras medidas importantes, como pode ser visto a seguir.



Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

Figura 10: O comprimento total e o comprimento do calce

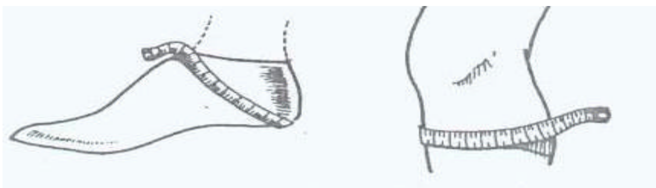


Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

Figura 11: Comprimento do calcanhar-saliência dos dedos

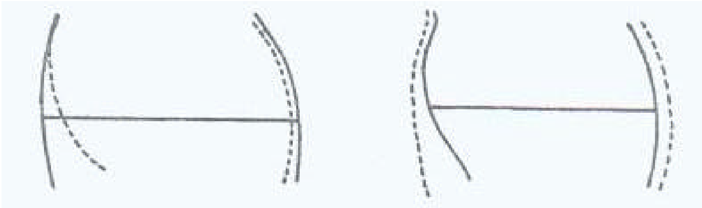
Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

Figura 12: O perímetro dos dedos e o perímetro do peito dos pés



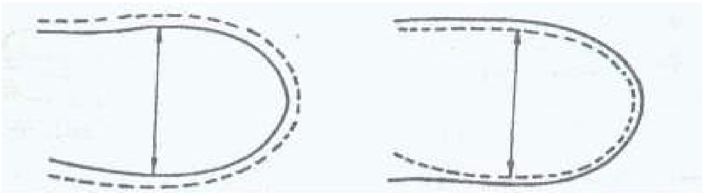
Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

Figura 13: O perímetro de entrada e o perímetro da barriga da perna



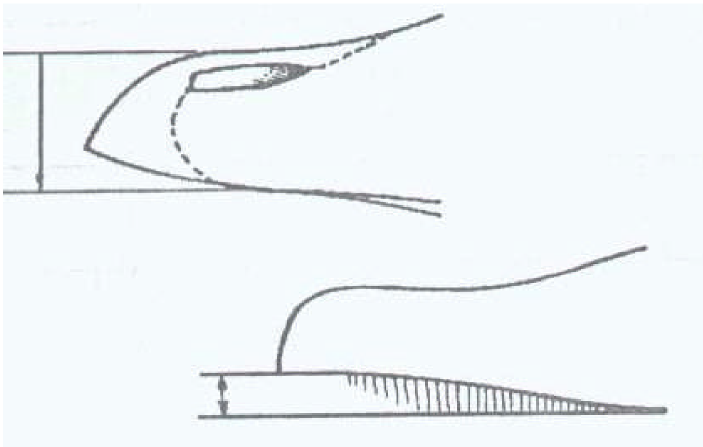
Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

Figura 14: Largura metatarso-falangiana



Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

Figura 15: Largura total da fôrma e largura da superfície plantar



Fonte: Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996

Figura 16: Espessura do bico e a elevação do bico

3.4 Sistemas de numeração e largura

A definição de numeração e largura, segundo o autor, é comprimento do pé mais o suplemento para permitir o seu alongamento durante a marcha.

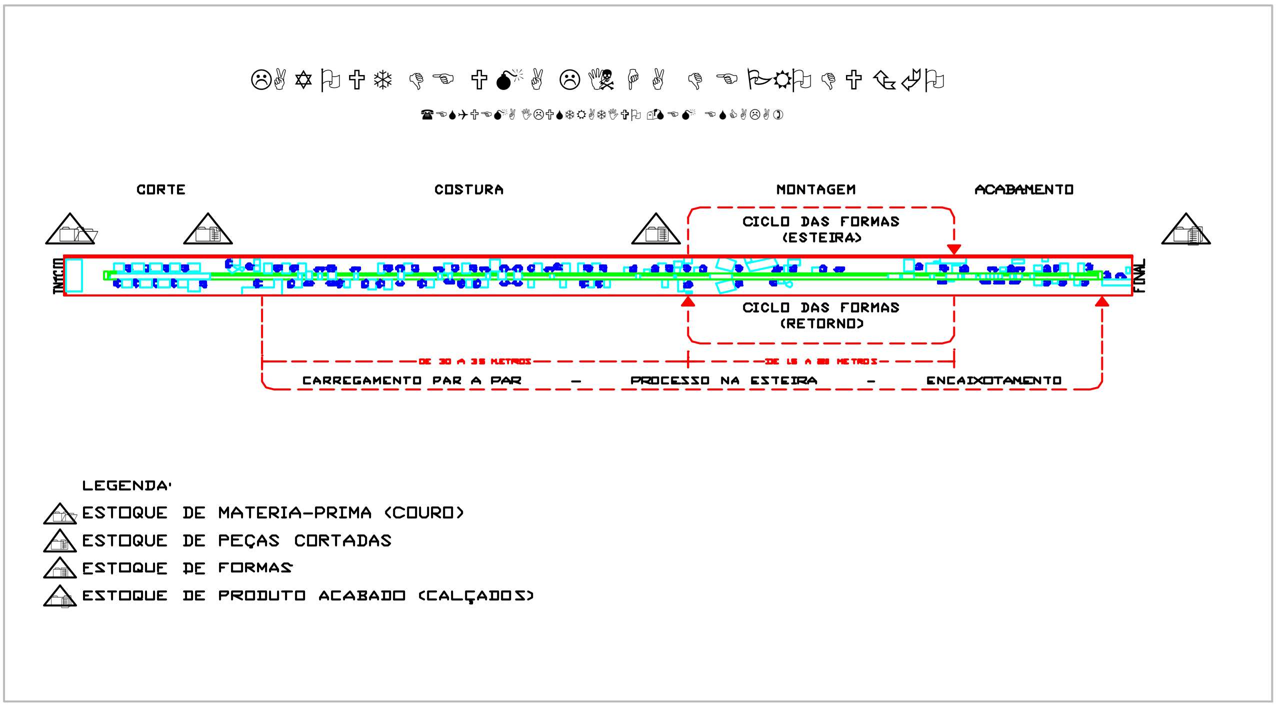
Há vários sistemas de numeração, cuja unidade de medida é o número ou ponto:

- o ponto francês;
- o ponto Paris;
- o ponto Inglês;
- o ponto americano;
- a “contremarque”;
- o ponto “Brannoc”.

Para obter-se mais informações a respeito do sistema de numeração, pode-se consultar a Revista do Centro de Tecnologia do Couro, Calçados e Afins, v.17, n. 4, julho de 1996.

3.5 As fôrmas na linha de produção

No croqui acima, aparece o esquema de uma linha de produção.



Fonte: Empresa de Calçados X, 2000

Figura 17: *Layout* de uma linha de produção

A figura 17 apresenta as etapas do processo produtivo numa linha de montagem: corte, costura, montagem e acabamento, que já foram apresentadas na figura 4 do capítulo 3 os estoques: couro, peças cortadas, fôrmas e produto acabado da indústria calçadista, além de destacar o ciclo das fôrmas.

O carregamento da linha de produção inicia-se com a colocação das peças que compõem o cabedal (parte superior do calçado destinada a cobrir e proteger a parte de cima do pé) na bandeja. Em seguida, essas peças são costuradas. Depois da costura, seguem, na esteira, até chegar ao estoque das fôrmas, quando estas são colocadas junto à bandeja para, em seguida, ser montado o calçado: a montagem do cabedal e da sola na fôrma. A fôrma permanece ocupada até que seja desenformada, voltando por uma esteira de retorno. Ela gira várias vezes, ou seja, a fôrma entra várias vezes na linha de produção, é inserida no calçado, no início do ciclo das fôrmas, conforme figura acima, passando por cima da esteira até o fim do ciclo, quando é desenformada e retorna pela esteira de retorno até o início do ciclo.

A quantidade de fôrmas em processo varia de acordo com o *layout,* em particular o comprimento usado para montagem do calçado e depende da quantidade de fôrmas por metro. A quantidade de fôrmas no retorno depende da velocidade da esteira.

4 ESCALONAMENTO

4.1 Definição

Segundo COSTA (1998), o escalonamento consiste em atribuir tarefas a processadores e determinar em que ordem essas tarefas serão executadas. TANENBAUM (1992) menciona que, quando dois ou mais processos estão prontos para rodar, o sistema operacional deve decidir qual deles vai rodar primeiro, cabendo ao escalonador tomar essa decisão. O algoritmo utilizado em sua programação é chamado de algoritmo de escalonamento.

Um bom algoritmo de escalonamento deve ter as seguintes características:

- justiça: garantir que todos os processos do sistema terão chances iguais de uso do processador;
- eficiência: manter o processador ocupado cem por cento do tempo;
- tempo de resposta: minimizar o tempo de resposta para usuários interativos;
- *turnaround*: minimizar o tempo que os usuários *batch* devem esperar pela saída;
- *throughput*: maximizar o número de *jobs* processados na unidade de tempo.

Segundo o autor anteriormente citado, alguns desses objetivos são contraditórios: para minimizar o tempo de resposta dos usuários interativos, o escalonador não deve rodar nenhum *job batch*, a não ser às três ou às seis horas da madrugada, quando os outros estiveram na cama. Os usuários *batch* provavelmente vão detestar essa regra, pois viola a quarta regra anteriormente citada.

Outro fator complicado que os escalonadores enfrentam é o fato de o comportamento de cada um dos processos ser único e imprevisível. Assim, alguns gastam grande quantidade de tempo fazendo a entrada/saída, enquanto outros ocupam o processador por horas a fio, se tiverem oportunidade. Quando o escalonador coloca um processo para rodar, não tem certeza do seu tempo de execução até ser bloqueado por alguma razão.

A estratégia que permite a suspensão temporária de processos que poderiam continuar executando é chamada de escalonamento preemptivo, enquanto que a estratégia de rodar até o fim é conhecida como escalonamento não-preemptivo. A vantagem de um escalonamento preemptivo é ele permitir que um processo ocupe um processador sem nenhum prejuízo a nenhum dos outros processos envolvidos no esquema. Por outro lado, a política do rodar até o fim, embora mais simples de implantar, pode levar muito tempo, fazendo com que o serviço dos demais usuários do sistema seja adiado indefinidamente.

Para PINEDO (1995), escalonamento é um processo de tomada de decisão que existe em muitas fábricas e sistemas de produção, bem como em muitos ambientes de processamento de informações. Ele também existe no transporte, em cenários de distribuição e em outros tipos de serviço.

BRÜCKER (1998) cita que se *m* máquinas devem processar *n jobs*, escalonamento é, para cada *job*, a alocação de um ou mais intervalos de tempo para uma ou mais máquinas. Um *job Ji* consiste num número *ni* de operações *Oi*.

As características dos *jobs*, segundo BRÜCKER (1998), são especificadas numa série *b* que contém, no máximo, seis elementos:

- b_1 – indica se a preempção é permitida. Por preempção, entende-se que um *job* em processamento pode ser interrompido;

- b_2 - indica se há relações de precedência entre os *jobs*;

- b_3 - indica se há tempo definido para iniciar o processamento de um determinado *job*;

- b_4 – especifica as restrições no tempo de processamento ou no número de operações;

- b_5 – indica se há tempo de término especificado para cada *job;*

- b_6 – indica se o problema é do tipo *batch.*

O ambiente de máquina é caracterizado, segundo BRÜCKER (1998), pela série $a = a_1 a_2$ de dois parâmetros. Os possíveis valores para a_1 são, *o, P, Q, R, PMPM, QMPM, G, X, O, J, F*. Se $a_1 \in \{o, P, Q, R, PMPM, QMPM\}$, onde *o* denota o símbolo vazio (assim, $a = a_2$, se $a_1 = o$), então cada *job* J_i consiste numa operação simples.

Se $a_1 = o$, cada *job* necessita ser processado numa determinada máquina.

Se $a_1 \in \{P, Q, R\}$ então há máquinas em paralelo. Cada *job* pode ser processado em cada uma das máquinas. Se $a_1 = P$, há máquinas idênticas em paralelo. Se $a_1 = Q$, então há máquinas paralelas uniformes. Se $a_1 = R$, há máquinas paralelas não relacionadas.

Se $a_1 = PMPM$ e $a_1 = QMPM$, então há máquinas com multi-finalidade, com velocidades idênticas e uniformes, respectivamente.

Se $a_1 \in \{G,X,O,J,F\}$, há modelos de multi-operações, isto é, associado a cada *job* há uma série de operações.

Se $a_1 = G$ há um *shop* geral. *Job shops, flow shops, open shops* e *mixed shops* são casos especiais do *shop* geral.

Se $a_1 = J$, há um caso de *job shop* no qual há relações de precedência.

Se $a_1 = F$, há um caso de *flow shop*.

Se $a_1 = O$, há um caso de *open shop*. É definido como um *flow shop*, mas não há relações de precedência entre as operações.

Se $a_1 = X$, há um *mixed shop*, há uma combinação de um *job shop* e um *open shop*.

Se a_2 é igual a um número positivo inteiro 1,2,..., então a_2 denota o número de máquinas. Se $a_2 = k$, então *k* é um número arbitrário mas fixo de máquinas. Se o número de máquinas é arbitrário, fixa-se $a_2 = o$.

Quanto aos critérios de otimalidade, BRÜCKER (1998) afirma que há, essencialmente, dois tipos de funções de custo total chamados objetivos gargalo e objetivos de soma. O problema de escalonamento é encontrar uma escala viável que minimiza a função custo total. As funções objetivo mais comuns são *makespan*, *total flow time* e *weighted (total) flow time*. Outras funções dependem de data prometida que estão associadas aos *jobs*.

4.2 Tipos de problemas

CONWAY (1967) menciona que um problema específico de escalonamento é descrito por quatro tipos de informações:

1. os *jobs* e as operações a serem processados;
2. o número e tipos de máquinas que estão no *shop*;
3. as restrições;
4. critérios de avaliação.

O primeiro tipo de informação determina se o problema é estático ou dinâmico. A diferença, segundo CONWAY (1967), é o caráter de chegada dos *jobs*. Num problema estático, um certo número de *jobs* chega simultaneamente num *shop* que está ocioso e imediatamente disponível para trabalhar. No problema dinâmico, ao contrário, o *shop* é um processo contínuo. *Jobs* chegam intermitentemente, em tempos previsíveis somente estatisticamente, e as chegadas continuarão indefinidamente.

O segundo tipo de informação descreve o número e tipo de máquinas que estão no *shop*. O *shop* pode ser *flow-shop* ou *job-shop*. A diferença está no fluxo dos *jobs*. Se o *job* passar pelas máquinas numa certa ordem (tipo disciplina FIFO – *first in first out*) uma única vez, o *shop* é do tipo *flow-shop*; no caso do *job-shop*, cada *job* tem uma rotina a seguir.

O terceiro tipo de informação descreve o padrão de fluxo no *shop*.

O quarto tipo de informação descreve o critério pelo qual o escalonamento vai ser avaliado.

PINEDO (1995) cita que problemas de escalonamento são descritos de acordo com a tripla $a|b|g$. O campo a descreve o tipo de ambiente de máquina e contém uma só entrada. O campo b provê detalhes das características do processamento e das restrições e pode conter nenhuma, uma só entrada ou múltiplas entradas. O campo g contém a função objetivo a ser minimizada e, geralmente, uma só entrada.

No campo *a*, podemos ter máquinas simples (1); máquinas idênticas em paralelo (*Pm*); máquinas em paralelo com diferentes velocidades (*Qm*); máquinas não-relacionadas em paralelo (*Rm*); *flow shop* (*Fm*); *flow shop* flexível (*FFs*); *open shop* (*Om*) e *job shop* (*Jm*).

No campo *b*, as possíveis entradas são: data da liberação (r_j) (*release dates*), tempo de *setup* dependente de seqüência(s_{jk}) (*sequence dependent setup times*), preempções (*preemptions)* (*prmp*), restrições de procedência (*prec*) (*precedence constrains*), quebras (*brkdwn*) (*breakdowns*), restrições de elegibilidade de máquinas (M_j) (*machine eligibility restrictions*), permutação (*prmu*) (*permutation*), bloqueio (*block*) *(blocking*), não-espera (*nwt*) (*no-wait*), recirculação (*recrc*) (*recirculation*).

Para o campo *g*, são possíveis as seguintes funções-objetivo a serem minimizadas: tempo em que o produto fica em ambiente de máquina ($C\ max$) (*makespan*); atraso máximo ($Lmax$) (*maximum lateness*); somas ponderadas dos tempos de fluxo ($S\ w_jC_j$) (*total weighted completion time*); tempo ponderado de fluxo descontado ($S\ w_j\ (1 - e^{-rCj}$) (*discounted total weighted completion time*); (atraso ponderado total) (Sw_jT_j) (*total weighted tardiness*) e quantidade ponderada de trabalhos atrasados (Sw_jU_j) (*weighted number of tardy jobs*).

A seção 6 escreve de que maneira a heurística abordou os campos no problema de escalonamento das formas na indústria calçadista.

5 HEURÍSTICA

De acordo com GOLDBARG (2000), programação matemática deve ser entendida como programação computacional, visto que o número de variáveis de decisão e restrições é muito grande. O campo da programação matemática é enorme e suas técnicas têm grande utilidade na solução de problemas de otimização. Em virtude dessas peculiaridades pertinentes aos diversos contextos da programação (planejamento), os métodos sofreram especializações e particularidades, embora o processo de modelagem varie pouco. As técnicas de solução estão agrupadas em subáreas como:

- programação linear – as variáveis contínuas apresentam comportamento linear, tanto nas restrições como na função objetivo.

- programação não-linear – um modelo de otimização é dito não-linear se exibir qualquer tipo de não-linearidade, seja na função objetivo seja nas restrições.

- programação inteira – um modelo de otimização constitui um problema de programação linear inteira se qualquer variável não puder assumir valores contínuos, ficando condicionada a assumir valores discretos. Normalmente, isso implica maior complexidade computacional do que a oriunda de situações de não-linearidade de funções.

De acordo com MURTY (1976), os problemas de programação linear inteira podem ser divididos em duas classes: programas inteiros puros, nos quais todas as variáveis de decisão no problema estão restritas a assumir somente valores inteiros, e programas inteiros mixados, nos quais há algumas variáveis de decisão contínua e algumas variáveis de decisão inteira. Em cada uma dessas classes, há duas subclasses:

- programas inteiros, nos quais todas as variáveis de decisão inteira estão restritas a serem 0 ou 1;

- problemas gerais de variáveis de decisão inteira não-negativa.

A versatilidade do modelo de programação inteira em aplicações origina-se no fato de muitos problemas práticos, atividades e recursos, como máquinas, navios e operadores serem indivisíveis. Muitos problemas requerem a determinação das decisões sim-não, que podem ser consideradas como os valores 0-1 de variáveis inteiras assim restritas. Além disso, a maioria dos problemas de otimização de natureza combinatorial podem ser formulados como programas inteiros.

Essa complexidade fez emergir um conjunto de técnicas e algoritmos computacionais muito eficientes, mas que não garantem uma solução ótima do problema de programação linear inteira. Esses algoritmos são chamados de heurísticos.

A palavra heurística, derivada do grego, significa descobrir, achar. Assim, heurística pode ser melhor definido como uma técnica que busca alcançar uma boa solução, utilizando um esforço computacional considerado razoável, sendo capaz de garantir a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada ou, ainda, em muitos casos, ambas, especialmente nas ocasiões em que a busca partir de uma solução viável, próxima ao ótimo.

PIDD (1999) pensa de forma similar e diz que o termo heurística significa abordagens que não garantem que chegaremos à melhor solução para o problema. No entanto, o intuito é chegar o mais próximo possível de alguma solução ótima.

Justifica-se o uso de heurísticas, segundo PIDD (1999), por dois motivos:

- a programação linear exige que a função objetivo e as restrições se comportem como funções lineares simples. Isso, às vezes, distorce o modelo, gerando soluções distantes da realidade.

- a demanda computacional relativa a muitos algoritmos de otimização é grande. Embora haja um bom potencial computacional disponível, o tempo para solução do problema é tão grande que inviabiliza a utilização de métodos de otimização.

Quanto à complexidade dos algoritmos, GOLBARG APUD COERMEN (2000) menciona que um algoritmo é uma seqüência bem-definida de procedimentos computacionais (passos) que levam uma entrada a ser transformada em saída.

De acordo com CAMPELLO & MACULAN (1994), quando temos mais de um algoritmo capaz de resolver um determinado problema, é necessário observar que o algoritmo deverá ser simples, fácil de codificar e depurar, eficiente e robusto. Conforme CAMPELLO & MACULAN (1994) e GOLBARG (2000), um estudo de COOK (1971) classifica os algoritmos da seguinte maneira:

- P – compreende a classe dos problemas de decisão que admitem um algoritmo polinomial de decisão;

- NP – compreende todos os problemas que podem ser resolvidos por algoritmos enumerativos, cuja busca no espaço de soluções é feita em árvore, com profundidade limitada por funções polinomiais no tamanho de entrada do problema e com largura eventualmente exponencial.

Um algoritmo NP pode ser:

- NP – completo – consome excessivo espaço de memória e elevado tempo de processamento.

- NP-árduo ou NP-*hard* – um problema é NP-*hard* se todo problema em NP é transformado nele, e um problema é NP-completo se ele está em ambas as classes NP-hard e NP.

De acordo com PIDD (1999), problemas lineares contínuos possuem no simplex um algoritmo muito eficiente para a solução exata. Porém, problemas lineares discretos normalmente são do tipo NP-árduos e a grande dificuldade está na explosão cominatória dos métodos enumerativos.

Assim, conforme o modelo matemático construído, é possível utilizar-se alguma abordagem heurística, dependendo da complexidade do algoritmo para resolvê-lo. A avaliação será feita mediante o modelo matemático e o tempo que esse algoritmo levou para ser executado.

A seção 6 discorre sobre a heurística utilizada para redução de fôrmas na indústria calçadista.

6 DESENVOLVIMENTO DA HEURÍSTICA

6.1 O problema

Justifica-se o uso da heurística visto que o problema de escalonamento de fôrmas na indústria calçadista tem complexidade NP. Requer uma grande demanda computacional (há muitas variáveis) e o tempo necessário tanto para escrevê-lo (o que pode ser comprovado no anexo 2) como para calcular a solução do problema é tão grande que inviabiliza a utilização do método de otimização.

O objetivo desta heurística é escalonar *jobs* (fôrmas) numa linha de montagem, minimizando o tempo e, como conseqüência, reduzindo o número de fôrmas.

No caso dessa linha de montagem, que será considerada uma máquina simples, há um processador (esteira superior) e um transportador (esteira de retorno). Como *job*, entende-se a fôrma inserida no calçado em montagem.

A heurística é aplicável assumindo-se que o processo produtivo apresenta as seguintes características:

- todos os *jobs* têm uma única direção;
- todos os *jobs* são independentes, isto é, a montagem de um par não depende de outro;
- não são permitidas preempções, isto é, não será permitido introduzir um *job* diferente do programado na linha de montagem;
- não serão considerados *setups*;
- não serão consideradas quebras (máquinas ou ferramentas);
- a máquina não elege prioridades, isto é, todos os *jobs* têm a mesma probabilidade de serem realizados;

- não serão permitidas permutações, isto é, a ordem de carregamento deve ser a mesma até a montagem do calçado;

- não será permitido recirculação, isto é, não será permitido que um *job* seja reintroduzido na linha de montagem;

- não será permitido bloqueio, isto é, não será permitido bloquear a linha de montagem.

6.2 As variáveis do problema

Seja:

qes a quantidade de pares de fôrmas a ser escalonadas na esteira superior;

perc o percentual de erro na produção, ou seja, quebra de pares de fôrmas;

qe a quantidade de pares de fôrmas a ser escalonado na esteira superior adicionada da quantidade de pares na esteira inferior;

d a distância que a fôrma percorre na esteira superior;

carga-giro a soma da quantidade de pares de fôrmas em cada giro;

q(ti) a quantidade mínima de pares de fôrmas, por tipo, proporcionalmente calculada (gerando um número decimal);

qa(ti) a quantidade mínima de pares de fôrmas, por tipo, (valor arredondado);

i(*ti*) o índice gerador da lista ordenada para a produção de pares de calçados, por tipo;

n a quantidade de pares de fôrmas por metro;

n_1 a quantidade de pares de fôrmas escalonadas na esteira de retorno;

Vs a velocidade da esteira superior;

Vr a velocidade da esteira de retorno;

t o tempo de processamento da fôrma na esteira superior;

D(ti) a quantidade por tipo de fôrma;

qt a demanda total a ser atendida, isto é, a quantidade de pares de calçados a ser produzida;

g a quantidade de giros, onde $g = \frac{qt}{qes}$;

ti o tipo de fôrma;

$ti+1$ o tipo de par de fôrma posicionado (ordenado) na lista após ti;

ti-1 o tipo de par de fôrma posicionado (ordenado) na lista antes de ti;

forma-corrente aquela que será a próxima a ser usada;

O problema consiste em seqüenciar as fômas de tal forma que:

$qes = d \,.\, n,$

$n_1 = \frac{qes.\ Vs,}{Vr}$ onde $Vs = \frac{d.}{t}$

Há uma demanda qt a ser atendida.

6.3 O processo heurístico

Nesta seção, será descrita a heurística. O processo iniciou-se com uma visita a uma empresa do ramo calçadista cuja produção ocorre numa linha de montagem. Inicialmente, foram verificadas as variáveis envolvidas no escalonamento das fôrmas: velocidade da esteira superior, velocidade da esteira inferior, o layout da linha de montagem, a quantidade de pares de fôrmas por metro e os pedidos de compra oriundos da companhia exportadora. Em seguida, observou-se como estas variáveis se relacionam, para escrever os modelos matemáticos e o modelo computacional. Verificou-se que as variáveis observadas nesta empresa são iguais às variáveis de outras empresas cujo processo produtivo de calçados ocorre numa linha de montagem.

6.3.1 Descrição do modelo computacional

A heurística pode ser descrita como se segue:

1. $q(ti) = D\ (ti) * qe\ /\ qt * perc$ (calcula a quantidade de fôrmas por tipo. O valor gerado é decimal).

2. $qa(ti) = \lceil q(ti) \rceil$ (calcula o número de fôrmas por tipo arredondado, ou seja, é o menor inteiro maior que $q(ti)$)

3. $i(ti) = qa(ti)/q(ti)$ (calcula o índice que gera a ordem na qual os pares serão produzidos).

4. Insere $qa(ti)$ numa lista, em ordem crescente conforme o índice $i(ti)$ gerado.

5. $g = \lceil qt \rceil / qes$ (calcula o número de giros arredondado).

6. *carga-giro* = soma de $qa(ti)$ (soma a quantidade de pares calçados em cada giro).

7. Para $j = 1$ até g giros faça

Carga-giro = 0

Se a demanda da *fôrma-corrente* $\geq qa(t\ i+1)$ e *carga-giro* + $qa\ (ti) < qes$, então

Carga-giro = *carga-giro* + $qa\ (ti) + qa(t\ i+1)$

Se a demanda da *fôrma-corrente* $< qa(t\ i+1)$ e *carga-giro* + $qa\ (ti) < qes$, então

Carga-giro = *carga-giro* + $qa\ (ti) + (D(ti) – D(ti – 1))$

Tira $qa\ (ti)$ da lista pois a demanda $D(ti)$ (demanda por tipo) foi atendida.

Se a demanda da *fôrma-corrente* $\geq qa(t\ i)$ e *carga-giro* + $qa\ (ti) < qes$, então

Carga-giro = *carga-giro* + $qa\ (ti) + qa(t\ i\text{-}1) + (qes – ($*carga-giro* + $qa(t\ i\text{-}1)))$

Se a demanda da *fôrma-corrente* $< qa(t\ i)$ e *carga-giro* + $qa\ (ti) > qes$, então

Carga-giro = *carga-giro* + $qa(t\ i\text{-}1) + (D(ti) – D(ti – 1))$

Tira $qa(ti)$ da lista pois a demanda $D(ti)$ (demanda por tipo) foi atendida.

A seguir descreve-se a utilização da heurística para um problema simples, mas realístico, a fim de facilitar o entendimento da mesma.

6.3.2 Exemplo

Um exemplo dessa heurística pode ser visto na tabela a seguir. Ao final da tabela estão os comentários pertinentes a essa tabela.

Tabela 3 – Um exemplo da heurística

Ti	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	Total
D(ti)	45	50	67	75	67	55	40	399
q(ti)	7,58	8,42	11,28	12,63	11,28	9,26	6,73	
qa(ti)	8	9	12	13	12	10	7	71
i(ti)	1,056106	1,069307	1,063987	1,029703	1,063987	1,080108	1,039604	
Ordenação de acordo com *i(ti)*	5,5	7	4	5	6	4,5	6,5	
D(ti)	75	40	45	67	67	50	55	399
qa(ti)	13	7	8	12	12	9	10	71
Giro 1	13	7	8	12	12	8		60
Giro 2	13	7	8	12	9	1	10	60
Giro 3	13	7	8	10	3	9	10	60
Giro 4	13	7	7	2	12	9	10	60
Giro 5	13	3	1	12	12	9	10	60
Giro 6	5	4	8	12	12	9	10	60
Giro 7	5	5	5	7	7	5	5	39
Total	75	40	45	67	67	50	55	399

Nessa linha de montagem são fabricados 60 pares em cada giro, há 5 fôrmas no retorno, totalizando sempre 65 fôrmas em uso, uma demanda total de 399 pares de calçados e 1% de erro. A primeira coluna deve ser interpretada da seguinte maneira:

ti: os tipos de pares solicitados;

D(ti): a demanda de cada tipo;

q(ti) = a quantidade mínima de fôrmas necessárias por tipo, ou seja,

q(tipo 4) = (45*65)/399*1.01, ou seja *q*(tipo 4) = 7,58

q(tipo 4,5) = (50*65)/399*1.01, ou seja *q*(tipo 4,5) = 8,42

q(tipo 5) = (67*65)/399*1.01, ou seja *q*(tipo 5) = 11,28

q(tipo 5,5) = (75*65)/399*1.01, ou seja *q*(tipo 5,5) = 12,63

q(tipo 6) = (67*65)/399*1.01, ou seja *q*(tipo 6) = 11,28 *q(tipo 6,5*) = (55*65)/399*1.01, ou seja *q*(tipo 6,5) = 9,26

q(tipo 7) = (40*65)/399*1.01, ou seja *q*(tipo 7) = 6,73

qa(ti) = éq(ti) ù, calcula o número de fôrmas arredondado, visto que a quantidade de fôrmas é um número inteiro, ou seja,

qa(tipo 4) = 8

qa(tipo 4,5) = 9

qa(tipo 5) = 12

qa(tipo 5,5) = 13

qa(tipo 6) = 12

qa(tipo 6,5) = 10

qa(tipo 7) = 7. O somatório de qa*(ti)* fornece a quantidade mínima de pares a serem usados. Nesse exemplo, 71.

i(ti) = é qa(ti) ù / q(ti), calcula um índice que gera a ordem na qual os pares serão produzidos, ou seja,

i(tipo 4) = 1,056106

i(tipo 4,5) = 1,069307

i(tipo 5) = 1,069307

i(tipo 5,5) = 1,029703

i(tipo 6) = 1,063987

i(tipo 6,5) = 1,080108

i(tipo 7) = 1,039604

Os tipos de pares foram ordenados e colocados numa lista, em ordem crescente, conforme o índice *i(ti)* gerado.

$g = \lceil 399/60 \rceil$. Assim, o número de giros é, portanto 7.

Os giros iniciam no quadro pintado em azul e ficam completos até que a soma de *qa(ti)* seja 60. Assim, no primeiro giro são produzidos 13 pares do tipo 5,5; 7 pares do tipo 7; 8 pares do tipo 4; 12 pares do tipo 5; 12 pares do tipo 6 e 8 pares do tipo 4,5. No segundo giro são produzidos 1 par do tipo 4,5; 10 pares do tipo 6,5; 13 pares do tipo 5,5; 7 pares do tipo 7; 8 pares do tipo 4; 12 pares do tipo 5 e 9 do tipo 6. E assim por diante. Também é necessário controlar, em cada giro, o somatório das colunas para que elas não ultrapassem a demanda solicitada. Neste exemplo, no sétimo giro não foi usada a quantidade máxima de formas à disposição, visto que a demanda por tipo já estava atendida.

6.3.3 Implementação computacional

A heurística foi implementada em linguagem *Delphi* para *windows*. A fonte do programa é apresentada no anexo 1. A figura 18 apresenta o ambiente para interação entre o usuário e sistema para executar a heurística. Na primeira linha, aparecem os tipos de fôrmas, ou seja, do 4 ao 13; na segunda linha, digita-se a quantidade por tipo. À esquerda, foram parametrizados o percentual de erro, a quantidade de fôrmas em uso (na esteira superior mais esteira de retorno) e a quantidade de formas somente na esteira superior. Quanto à ordenação, aparecem as 6 ordens, sobre as quais discute-se no capítulo a seguir, sendo, no entanto, indicada a ordem 2. A linha em que se encontra o primeiro quadro pintado em azul apresenta a seqüência indicada para inserir na linha de montagem. A linha em seguida apresenta a quantidade mínima de pares de cada tipo que a empresa deverá comprar e as próximas linhas apenas confirmam a quantidade digitada de cada tipo inicialmente. A linha em que se encontra o segundo quadro pintado em azul mostra o primeiro giro, sendo, então, a quantidade de pares fabricada conforme indicado na parametrização. As linhas seguintes mostram os próximos giros. A última coluna mostra a quantidade de pares produzidos em cada giro. Ainda aparecem na tela a quantidade total de pares, o número de giros, a quantidade mínima de pares a ser comprada e o percentual de erro.

Como o usuário pode proceder?

Nesta tela, o usuário deve entrar com os seguintes dados (*inputs*):

- quantidade de pares por tipo;

- o percentual de erro, ou seja, o percentual de quebra de fôrmas (se a empresa possui);

- a quantidade de fôrmas a ser escalonada na esteira superior;

- a quantidade total de fôrmas em uso num giro, ou seja, a quantidade de fôrmas na esteira superior adicionada a quantidade de fôrmas na esteira de retorno.

Finalmente, clica no botão “calcular”, a heurística é executada e os resultados apresentados (vide figura 18).

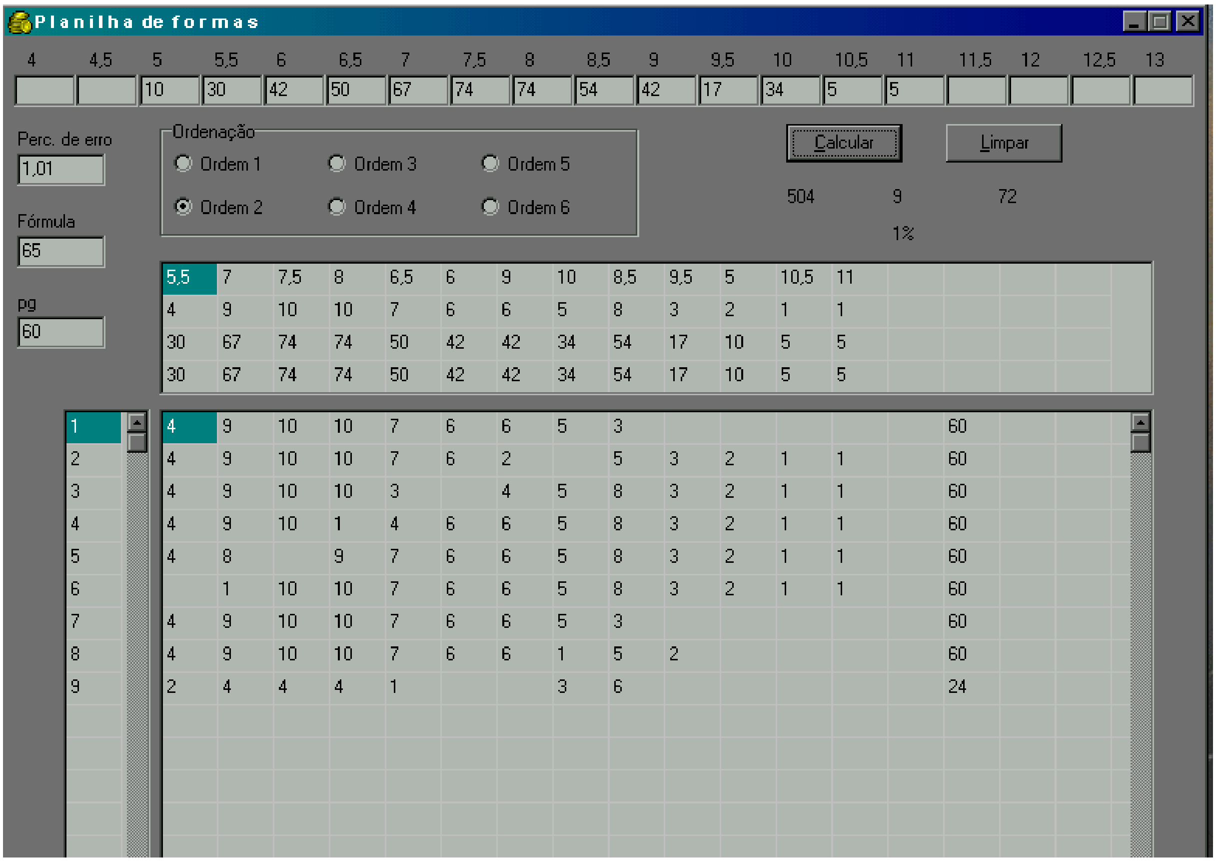


Figura 18: Tela de execução da heurística

Neste exemplo, o percentual de erro é 1%. A quantidade de pares a serem fabricados é 504. A quantidade pares de fôrmas a ser comprada é 72 e, para atender a essa demanda são necessários 9 giros, sendo 8 completos (com 60 pares e 1 incompleto com 24 pares). No anexo 1, consta a fonte do processo heurístico desenvolvido em linguagem *Delphi.*

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para verificar a potencialidade da heurística, serão comparados os resultados obtidos a partir da heurística com os resultados do modelo de programação linear inteira tipo 0/1. Para isso, foram utilizados 47 exemplos, cuja tabela aparece no quadro 2.

7.1 O modelo matemático

A seguir, o modelo matemático de programação linear inteira 0/1 utilizado:

Seja

x_{ij} a forma i colocada na posição j.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ se a forma for colocada na posição } j, \\ 0, \text{ caso contrário.} \end{cases}$$

O objetivo é minimizar o número de fôrmas. Então a função objetivo é:

$$\min \quad \sum_{x=1}^{n1+n3} \sum_{j=1}^{D} x_{ij}$$

As restrições são:

$\sum_{i=1}^{n1+n3} x_{ij} \leq 1,$ " j (a posição j só pode ser ocupada por uma única fôrma)

$\sum_{i \in t} \sum_{j=1}^{D} x_{ij} \geq D_t,$ " j (há uma partição no conjunto de fôrmas ou seja, determinadas fôrmas atendem a uma determinada demanda por tipo)

$\sum_{r=j+1}^{\min(j+(n1+n3))} x_{ir} \leq (1-x_{ij}).M,$ " i , " $j < D$ (é uma tautologia. É usada para que se tenha certeza de que a fôrma já retornou. Assim ela pode ser usada novamente.)

No anexo 2, consta um exemplo específico do modelo matemático de programação linear inteira tipo 0/1.

7.2. Comparação da heurística com os resultados obtidos do modelo matemático de programação linear tipo 0/1

Com a finalidade de comparar os resultados, foram simulados 47 exemplos, conforme quadro 2, a seguir. Os exemplos escolhidos apresentam um número muito reduzido de pares de calçados, o que torna possível a execução do modelo matemático de programação linear inteira com a utilização do *LINDO*. Nenhum exemplo escolhido mostra a realidade (mas uma redução proporcional) de um pedido de fabricação de empresas visto que o *software LINDO* não apresenta o número de variáveis necessárias para rodar o modelo matemático de programação linear inteira. Os exemplos são de pedidos de 10 ou 20 pares, com demandas por tipo uniformes ou não, a quantidade de pares de fôrmas na esteira superior variando de 2 a 8 e a quantidade de pares de fôrmas na esteira de retorno sendo 1 ou 2, completando dessa maneira 47 exemplos.

O significado de cada coluna deve ser entendido da seguinte maneira:

- coluna 1 – a quantidade de pares de fôrmas que estão na esteira superior e a quantidade de pares de fôrmas na esteira de retorno;

- coluna 2 – a quantidade de tipos de pares da demanda;

- coluna 3 – a quantidade total de pares da demanda;

- coluna 4 – se a distribuição da demanda é uniforme ou não, ou seja, se a quantidade por tipo é uniforme ou não;

- coluna 5 – os resultados fornecidos: a quantidade de pares de fôrmas necessárias resultante da aplicação do modelo matemático de programação linear inteira tipo 0/1, a quantidade de pares de formas necessárias resultante do processo heurístico e o percentual de acréscimo (heurística sobre modelo matemático);

- coluna 6 – o resultado fornecido pela CPU: a quantidade de interações, *branches* e o tempo que o modelo necessitou para rodar;

Os experimentos foram realizados em computador pessoal cujas características são Celerom 600, 6 giga HD e 64 de memória RAM. O tempo necessário para rodar o processo heurístico foi menor que 1 segundo.

Quadro 2: Os 47 exemplos comparativos entre o modelo matemático e a heurística

Quantidade de pares na esteira superior e na esteira de retorno	Quantidade de tipos de pares	Quantidade de pares	Distribuição	Solução				CPU	
				Ótima	Heurística	Percentual a mais que a heurística necessitou	Tempo do modelo matemático (em s)	Tempo da heurística (em s)	Interações/*branches*
2 + 1	3	10	uniforme	4	4	0	1	0,5	1345/22
2 + 1	3	10	não-uniforme	4	4	0	1	0,5	2146/70
2 + 1	3	20	uniforme	5	6	20	354	0,5	789069/23866
2 +1	3	20	não-uniforme	6	6	0	11	0,5	313333/775
2 + 1	6	10	uniforme	6	6	0	0,5	0,5	667/3
2 + 1	6	10	não-uniforme	6	8	33,33	2	0,5	5938/211
2 + 1	6	20	uniforme	6	6	0	1	0,5	3611/16
2 + 1	6	20	não-uniforme	8	8	0	2	0,5	3086/16
2 + 1	9	10	uniforme	9	9	0	0,5	0,5	139/3
2 + 1	9	20	uniforme	9	9	0	0,5	0,5	95/1
2 + 1	9	20	não-uniforme	10	11	10	3	0,5	8658/134
2 + 1	12	20	uniforme	12	12	0	0,5	0,5	76/0
2 + 1	12	20	não-uniforme	12	12	0	13	0,5	33282/563
4 + 1	3	10	uniforme	6	7	16,66	1	0,5	1583/31
4 + 1	3	10	não-uniforme	6	7	16,66	3	0,5	7621/298
4 + 1	3	20	uniforme	8	9	12,5	2	0,5	3573/34
4 + 1	3	20	não-uniforme	8	9	12,5	2	0,5	3987/60
4 + 1	6	10	uniforme	6	10	66,66	2	0,5	2170/53

4 + 1	6	10	não-uniforme	7	9	28,57	1	0,5	703/23
4 + 1	6	20	uniforme	7	7	0	72	0,5	181213/4231
4 + 1	6	20	não-uniforme	8	12	50	2	0,5	3771/18
4 + 1	9	10	uniforme	9	10	11,11	0,5	0,5	312/5
4 + 1	9	20	uniforme	9	9	0	3	0,5	4104/14
4 + 1	9	20	não-uniforme	10	10	0	0,5	0,5	50/0
4 + 1	12	20	uniforme	12	12	0	1	0,5	2932/13
4 + 1	12	20	não-uniforme	12	12	0	2	0,5	3935/16
6 + 1	3	10	uniforme	9	9	0	0,5	0,5	393/9
6+ 1	3	10	não-uniforme	9	9	0	0,5	0,5	1291/34
6 + 1	3	20	uniforme	11	13	18,18	1	0,5	3396/19
6 + 1	3	20	não-uniforme	11	12	9,09	2	0,5	3169/28
6 + 1	6	10	uniforme	9	10	11,11	0,5	0,5	94/0
6 + 1	6	10	não-uniforme	10	10	0	0,5	0,5	666/4
6 + 1	6	20	uniforme	12	12	0	2	0,5	4900/17
6 + 1	6	20	não-uniforme	11	11	0	2	0,5	4242/21
6 + 1	9	10	uniforme	10	10	0	0,5	0,5	103/4
6 + 1	9	20	uniforme	11	11	0	25	0,5	60373/1116
6 + 1	9	20	não-uniforme	12	12	0	3	0,5	4493/20
6 + 1	12	20	uniforme	12	12	0	1	0,5	6462/23
6 + 1	12	20	não-uniforme	14	14	0	2	0,5	4862/17
8 + 2	3	20	uniforme	17	18	5,88	3	0,5	4440/17
8 + 2	3	20	não-uniforme	16	18	12,5	3	0,5	3176/15
8 + 2	6	20	uniforme	15	18	20	3	0,5	5295/21
8 + 2	6	20	não-uniforme	16	16	0	3	0,5	6333/19

8 + 2	9	20	uniforme	16	18	12,5	2	0,5	5055/14
8 + 2	9	20	não-uniforme	16	16	0	52	0,5	89971/1897
8 + 2	12	20	uniforme	17	20	17,64	4	0,5	5724/14
8 + 2	12	20	não-uniforme	17	17	0	5	0,5	5230/11
Total				476	510	Média 7,14			

É possível constatar que a diferença entre a quantidade de pares de fôrmas resultante do processo heurístico e a quantidade de pares de fôrmas resultante do modelo matemático de programação linear inteira tipo 0/1 representa em torno de 7%, ou seja, utilizando-se o processo heurístico, é necessário em torno de 7% a mais de pares de fôrmas. No entanto, o tempo para rodar o processo, dependendo do caso, torna-se bastante significativo. É importante lembrar que o processo heurístico, independente do caso, roda num tempo inferior a um segundo, enquanto o modelo matemático, variável em cada caso, levou de meio segundo até mais de cinco minutos.

7.3 Comparação do modelo usando heurística com o modelo presentemente adotado pela Empresa de Calçados X

Neste subcapítulo, serão comparadas as quantidades de pares de fôrmas usadas atualmente pela Empresa de Calçados X e o resultado fornecido pela heurística. A comparação foi feita através de exemplos escolhidos aleatoriamente. A seguir, a caracterização da Empresa de Calçados X.

7.3.1 Caracterização da empresa

Razão Social: Empresa de Calçados X Ltda.

Ramo de atividade: indústria de calçados femininos e curtume.

Produtos: calçados femininos e couros.

Produção anual: 3.500.000 pares de sapatos (1995)

Dias trabalhados: de segundas a sextas-feiras

Expediente de trabalho: manhã – 7h às 11h36 min e

tarde – 13h às 17h12min .

Os principais materiais usados na industrialização de calçados: couros de diversas estampas e acabamentos, sola de couro, sola TR, sola PU, sola SBR, solado em madeira, alma de aço, forros sintéticos, forros para dublagem, tecidos, linhas de poliéster e *nylon*, contrafortes, couraças, saltos em madeira e injetados, tacos PU e sintéticos, produtos químicos em geral.

A área total construída é 40.622,76 m².

Sendo uma empresa exportadora, a Empresa de Calçados X Ltda destina hoje cerca de 100% de seus calçados produzidos no Brasil para o mercado norte-americano.

Essa relação com o mercado americano reflete a imagem dos clientes em relação ao produto produzido pela empresa, bem como sua aceitação e confiança, cativando e fidelizando uma fatia de consumidores potenciais dentro do mercado internacional.

O produto é reconhecido devido à utilização de couros com fino acabamento e qualidade, e por possuir um preço acessível, se comparado aos famosos calçados italianos e espanhóis, e concorre nas vitrinas das mais belas butiques e lojas de calçado americanas.

Atualmente, a Empresa de Calçados X Ltda tem 18 linhas de produção que fabricam cerca de 1.000 pares de calçados por dia, cada uma, totalizando uma produção de 18.000 pares/dia. Para a fabricação desses calçados, cada linha de produção utiliza cerca de 100, 130 ou 140 pares de fôrmas/dia, dependendo da quantidade de larguras, cujo custo gira em torno de R$ 30,00 o par, dependendo do modelo a ser fabricado. Um exemplo de linha de produção pode ser visto na figura 18, a seguir.

Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

Figura 19: Linha de produção da Empresa de Calçados X, 2001

As fôrmas são utilizadas por um período em torno de 15 dias, uma vez que o pedido médio é de 15.000 pares. Se o pedido for maior, o tempo de uso da fôrma será maior; caso contrário, será menor.

É importante lembrar, também, que, para cada modelo, é necessária uma nova coleção de pares de fôrmas. A quantidade de pares de fôrmas varia em função da quantidade de pares produzidos por dia e da largura do pé.

A linha de produção da Empresa de Calçados X está estruturada de tal maneira que a distância entre o carregamento da fôrma e o seu desenforme é de 20 metros. Em cada metro, cabem 3 pares de calçados. Assim, a quantidade de pares produzidos em cada giro é de 60.

A esteira de retorno está com uma velocidade de 0,13 m/s. Isso implica um total de 5 fôrmas no retorno. Dessa forma, em nenhum ciclo são usados menos de 65 pares de fôrmas, ou seja, 65 pares de fôrmas estão sempre ocupadas ao mesmo tempo, na esteira superior ou na esteira de retorno. Assim, nenhuma demanda é capaz de ser atendida com um número menor que 65 pares. Pelo fato dos índices *i(ti)* gerados dificilmente serem todos iguais a 1, o número mínimo de pares de fôrmas necessárias e usadas na prática, também não é 65. Por isso, nas simulações aparecem quantidades mínimas de pares de fôrmas como 72, 74 até 104.

7.3.2 Critério de escolha da ordem

Quanto à heurística utilizada, que consta no capítulo 6, foram testadas seis ordens diferentes. Para algumas não há justificativa; para outras há. Sabe-se que há muitas outras ordens, porém o foco do estudo desta dissertação não é a discussão de todas as ordens. Quanto às ordens:

- ordem 1 – ordem crescente de numeração dos pares de calçados. É a ordem que a Empresa de Calçados X adota;

- ordem 2 – ordem crescente da variável obtida no índice *i(ti)*. O número obtido é sempre superior a 1 e inferior a 2. Quanto mais próximo de 1 for o resultado, mais contínuo é o processo e, portanto o tipo de par cujo índice for próximo a 1 deverá ser o primeiro a ser fabricado;

- ordem 3 – ordem decrescente de pedido, ou seja, os tipos com maior demanda serão produzidos antes dos tipos com menor demanda;

- ordem 4 – tamanho crescente de pedido, ou seja, os tipos de menor demanda serão atendidos antes dos tipos com maior demanda;

- ordem 5 – ordem crescente $qa(ti) - q(ti)$. Não há justificativa para esta ordem. Foi apenas mais uma ordem a ser testada;

- ordem 6 – ordem crescente de $(qa(ti) - q(ti))^2$. Não há justificativa para esta ordem. Foi apenas mais uma ordem a ser testada.

Depois de realizar vários exemplos, o resultado pode ser visto na tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – As diversas ordens testadas

Exemplo	Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6
1	84	72	83	84	84	83
2	72	72	72	72	72	72
3	93	88	93	93	93	91
4	81	74	96	74	96	81
5	84	84	84	84	84	84
6	72	72	72	72	72	72
7	72	72	72	72	72	72
8	78	78	78	78	78	78
9	72	72	73	76	104	72
10	92	89	92	99	100	98
Total	800	773	815	804	855	803

Fonte: Empresa de Calçados X, 2000-2001

Analisando-se a tabela acima, é possível verificar que a ordem 2 foi a que forneceu o melhor resultado dentre as ordens testadas, ou seja, necessitou da menor quantidade de pares de fôrmas para produzir uma determinada demanda. Os 10 exemplos escolhidos retratam a realidade de demanda da Empresa de Calçados X e foram escolhidos de forma aleatória. As outras demandas atendidas pela Empresa são similares e, portanto, apresentam os mesmos resultados. Assim, a ordem proposta pela heurística baseia-se na ordem 2, em todos os exemplos a seguir.

7.3.3 Exemplos de demandas da Empresa de Calçados X, procedimento da empresa e o resultado fornecido pela heurística.

A Empresa de Calçados X procede da seguinte maneira: nunca trabalha na linha de produção com menos de 90 a 100 fôrmas, considerando-se apenas uma largura. Em caso de duas larguras do tipo M e N, ela trabalha com 120 a 130 pares de fôrmas e, em caso de 3 larguras (M, N e W), adota 130 a 140 pares de fôrmas. Ao comprar as fôrmas, faz o cálculo do número de fôrmas da seguinte maneira: cada par é considerado capaz de girar 10 vezes, ou seja, para produzir 40 pares do mesmo tipo são necessárias 4 fôrmas. A Empresa estima que depois de girar 10 vezes a fôrma não tenha mais condições de ser utilizada, estará gasta, deformada ou estragada. Porém, isso nem sempre é verdadeiro.

Exemplo 1

Há uma demanda de 1008 pares de 11 tipos e 1 largura, distribuídos conforme a tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	Total
Demanda	60	60	84	144	144	168	108	84	108	24	24	1008

Fonte: Empresa de Calçados X, 2000

Exemplo 2

Há uma demanda de 1056 pares de 9 tipos e 1 largura, distribuídos conforme a tabela 6, a seguir.

Tabela 6 - Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	Total
Demanda	88	88	88	176	176	176	88	88	88	1056

Fonte: Empresa de Calçados X, 2000

Exemplo 3

Há uma demanda de 900 pares de 11 tipos e 1 largura, distrib uídos conforme a tabela 7, abaixo.

Tabela 7 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	Total
Demanda	50	50	75	125	125	150	100	75	100	25	25	900

Fonte: Empresa de Calçados X, 2000

Exemplo 4

Há uma demanda de 1104 pares de 11 tipos e 1 largura, distribuídos conforme a tabela 8, abaixo.

Tabela 8 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	Total
Demanda	59	59	92	151	151	184	125	92	125	33	33	1104

Fonte: Empresa de Calçados X, 2000

Exemplo 5

Há uma demanda de 480 pares de 9 tipos e 1 largura, distribuídos conforme a tabela 9, a seguir.

Tabela 9 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	Total
Demanda	40	40	40	80	80	80	40	40	40	480

Fonte: Empresa de Calçados X, 2000

Exemplo 6

Há uma demanda de 504 pares de 13 tipos e 1 largura, distribuídos conforme a tabela 10, abaixo.

Tabela 10 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	Total
Demanda	10	30	42	50	67	74	74	54	42	17	34	5	5	504

Fonte: Empresa de Calçados X, 2000

Exemplo 7

Há uma demanda de 774 pares de 6 tipos e 1 largura, distribuídos conforme a tabela 11, abaixo.

Tabela 11 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipo	6,5	7	7,5	8	8,5	9	Total
Demanda	86	86	172	172	172	86	774

Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

Exemplo 8

Há uma demanda de 378 pares de 10 tipos e 2 larguras, distribuídos conforme a tabela 12, a seguir.

Tabela 12 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipo	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	Total
Demanda N			23	23	23	23	23	23			138
Demanda M	20	20	20	40	40	40	20	20		20	240

Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

Exemplo 9

Há uma demanda de 774 pares de 6 tipos e 1 largura, distribuídos conforme a tabela 13, abaixo.

Tabela 13 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	6,5	7	7,5	8	8,5	9	Total
Demanda	86	86	172	172	172	86	774

Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

Exemplo 10

Há uma demanda de 489 pares de 17 tipos e 3 larguras, distribuídos conforme a tabela 14, a seguir.

Tabela 14 – Quantidade de pares de calçados e tipos de pares a serem fabricados

Tipos	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	Total
Demanda M	31	56	60	64	49	39	20	319
Demanda N	19	19	19	19	19			95
Demanda W	15	15	15	15	15			75

Fonte: Empresa de Calçados X, 2001

A seguir, aparece uma tabela que resume a quantidade de pares de fôrmas resultante da solução heurística, da solução da Empresa e informa o percentual de redução, ou seja, qual o percentual possível de ser economizado.

Tabela 15 – Resumo dos 10 exemplos.

Exemplo	Solução heurística	Solução da Empresa de Calçados X	Percentual de redução
1	72	95	24%
2	72	95	24%
3	88	95	7%
4	74	95	22%
5	84	95	12%
6	72	95	24%
7	72	95	24%
8	78	125	38%
9	72	95	24%
10	89	135	35%
Total	773	1020	Média: 23,4% Desvio padrão: 5,5%

É possível perceber que a diferença entre o resultado fornecido pela heurística e a solução presentemente adotada pela empresa, representa uma redução significativa, em média, 23,4 %, podendo chegar próximo a 40%, dependendo do caso. Apresenta um desvio padrão também significativo (5,5%), confirmado por coeficiente de variação de 23,5%. Isso mostra, mais uma vez, que o percentual de redução é variável a cada caso.

Considerando que o tamanho do pedido médio, em 2000, foi 15.333 pares de calçados, cada fôrma tem um custo médio de R$ 30,00. Como a empresa possui 18 linhas de produção e costuma comprar 95 pares de fôrmas para cada linha de produção, o custo total mensal com as fôrmas pode ser calculado da seguinte maneira:

95 pares por linha x 18 linhas x 30,00 por fôrma x 2 trocas por mês = R$ 102.600,00

O custo anual fica estimado em 12 x 102.600,00 = R$ 1.231.200,00.

Nesse cálculo, foi suposto que a empresa compra 95 pares, mas sabe-se que, em alguns casos, esse número passa a 125 ou 135, dependo da quantidade de larguras solicitadas. Sendo assim, ao utilizar a heurística, que proporciona uma redução de 23,4%, a empresa teria uma redução anual de custos correspondente a R$ 288.100,00, o que significa uma economia de mais de dois meses de fôrmas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Conclusões

A dissertação teve como propósito validar uma heurística capaz de reduzir a quantidade de fôrmas na indústria calçadista. Inicialmente, foi desenvolvido um modelo matemático de programação linear tipo 0/1 e uma heurística. O resultado foi comparado com o objetivo de verificar o quão próximas estavam as soluções. Em seguida, a heurística foi comparada com a solução presentemente adotada pela Empresa de Calçados X para verificar a possibilidade de redução de fôrmas.

Após a análise de dados, é possível verificar que, em algumas simulações realizadas (com exemplos aquém do número real de pares a serem fabricados), o modelo matemático de programação linear inteira tipo 0/1 demorou mais de 5 minutos para fornecer a solução, enquanto a solução fornecida pela heurística, em nenhum caso, levou mais de 1 segundo para fornecer o resultado. Por outro lado, não foi possível desenvolver nenhum modelo matemático de programação linear inteira real visto que o *software LINDO* usado tem capacidade limitada de variáveis e um exemplo real extrapola esse número de variáveis.

A heurística forneceu uma boa solução, se comparada à solução dada pelo modelo matemático de programação linear inteira e, possui uma interface amigável para o usuário. Mostrou que é possível reduzir a quantidade de pares de fôrmas na Empresa de Calçados X. O percentual de redução de pares de fôrmas foi na ordem de 23,4%, o que representa uma redução anual em torno de R$ 288.100,00. A Empresa de Calçados X mostrou interesse em implantar a heurística, desde que alguns aspectos fossem incorporados.

2. Recomendações

Um ponto a ser considerado é a política de compra de pares de fôrmas que a Empresa de Calçados X adota: cada par de fôrma é capaz de girar apenas 10 vezes. Depois disso a fôrma estraga (é o que Empresa de Calçados X adota baseado em experiências e observações anteriores, embora isso nem sempre acontece). Outro ponto é que a Empresa de Calçados X também possui um sistema de informações capaz de levar os dados referentes às danificações das fôrmas ao encarregado das compras sempre que elas ocorrerem. No entanto a atualização dessas informações ocorre, às vezes, apenas uma vez ao dia. Verificou-se também que a Empresa de Calçados X não possui estudos sobre a quantidade de fôrmas danificadas durante o processo. Todos esses pontos levantados implicam numa compra desnecessária de pares de fôrmas. Sugere-se ainda à Empresa de Calçados X um estudo que viabilize subdividir os grandes pedidos de tal maneira que possa ser reduzido o número de fôrmas. Também seria necessário negociar, junto à Companhia distribuidora dos pedidos, um prazo um pouco maior, a fim de que a Empresa de Calçados X possa estudar a subdivisão. Essas são questões para posteriores estudos, pois esta dissertação não se propôs a discuti-las.

A heurística também possui limitações por não levar em consideração os seguintes aspectos: o processo contínuo entre um plano e outro; o não-dimensionamento do percentual de quebra de pares de fôrmas durante o processo; as permutações de ordens de fabricação de pares de calçados resultante de alguma quebra; uma eventual parada, que na literatura é chamada de preempção, para atender a uma demanda urgente e a recirculação dos pares devido a problemas em alguma etapa. Sendo assim, sugere-se a continuidade do estudo a fim de redimensionar a heurística e atender às limitações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, João Luiz; FENSTERSEIFER, Jaime Evaldo. Tecnologia gerencial para curtumes. **Tecnicouro**. jan/fev. 89,11(1):38-42.

BORENSTEIN, Denis; BECKER, J. L. **Validating decision support systems**. In: Kent and Williams (Eds.), Encyclopedia of Microcomputers, v. 26.

BRÜCKER, Peter**. Scheduling algorithms**. Berlin: Sringer-Verlag, 1998.

CAMPELO, R.; MACULAN, N**. Algoritmos e Heurísticas**. Rio de Janeiro: UFF, 1994.

CONWAY, Richard W. Et al. **Theory of Scheduling**. USA: Addison-Wesley Publisching Company, 1967.

COSTA, Cristiano André da. **Uma proposta de escalonamento distribuído para exploração do paralelismo na programação em lógica**. Porto Alegre: CPGCC-UFRGS, 1998.

FENSTERSEIFER, Jaime Evaldo. O **complexo calçadista em perspectiva: tecnologia e competitividade.** Porto Alegre: Ortiz, 1995.

GOLDBARG, Marco Cesar. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos.** Rio de Janeiro: Campus, 2000.

MURTY, Katta. **Linear and combinatorial programming**. EUA: John Wiley & Sons, Inc, 1976.

PIDD, M. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

PINEDO, Michael. **Scheduling: algorithms, and systems**. EUA: Prentice-Hall, 1995.

PRADO, Darci Santos do. **Programação linear**. Minas Gerais: Editora de Desenvolvimento Regional, 1999.

TANENBAUM, Andrew. **Sistemas Operacionais Modernos**. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1992.

TECNOCOURO. REVISTA DO CENTRO TECNOLÓGICO DO COURO, CALÇADOS E AFINS**. Construção**. v. 17, n. 4, jul, 1996.

TECNOCOURO. REVISTA DO CENTRO TECNOLÓGICO DO COURO, CALÇADOS E AFINS. **A coordenação de formas, palmilhas e saltos**. v. 4, n. 2, mar/abr, 1982.

WAGNER, Harvey. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: PHB, 1986.

ANEXO 1

A FONTE DO PROCESSO HEURÍSTICO

```
unit Unit1;
interface
Uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Grids, Db, DBTables, DBGrids, ExtCtrls, ClipBrd;
type
TForm1 = class(TForm)
StringGrid1: TStringGrid;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
 Label4: TLabel;
 Label5: TLabel;
 Label6: TLabel;
 Label7: TLabel;
 Label8: TLabel;
 Label9: TLabel;
 Label10:TLabel;
 Label11: TLabel;
 Label12: TLabel;
 Label13: TLabel;
 Label14: TLabel;
 Label15: TLabel;
 Label16: TLabel;
 Label17: TLabel;
 T5: TEdit;
 T55: TEdit;
 T6: TEdit;
 T65: TEdit;
 T7: TEdit;
 T75: TEdit;
 T8: TEdit;
 T85: TEdit;
 T9: TEdit;
 T95: TEdit;
 T10: TEdit;
 T105: TEdit;
 T11: TEdit;
 T115: TEdit;
 T12: TEdit;
 T125: TEdit;
 T13: TEdit;
 Query1: TQuery;
```

```
    DataSource1: TDataSource;
    Button1: TButton;
    Query1V: TIntegerField;
    Query1Vx: TFloatField;
    Query1Vy: TFloatField;
    Query1Vz: TFloatField;
    lblpares: TLabel;
    lblgiros: TLabel;
    StringGrid2: TStringGrid;
    lblFormas: TLabel;
    Button2: TButton;
    lblperc: TLabel;
    StringGrid3: TStringGrid;
    RadioGroup1: TRadioGroup;
    Query1Tipo: TFloatField;
    Query1Vk: TFloatField;
    Query1Vw: TFloatField;
    Label18: TLabel;
    Edit1: TEdit;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    T4: TEdit;
    T45: TEdit;
    Label21: TLabel;
    Edit2: TEdit;
    Label22: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
    procedure Limpar;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form1: TForm1;
implementation
{$R *.DFM}
procedure TForm1.Limpar;
var
   l, c: Integer;
begin
     Query1.Close;
     Query1.SQL.Clear;
     Query1.SQL.Add('Select * From Tipos');
     Query1.Open;
     while not Query1.Eof do
```

```
     Query1.Delete;
   Query1.Close;
   T5.Text   := '';
   T55.Text  := '';
   T6.Text   := '';
   T65.Text  := '';
   T7.Text   := '';
   T75.Text  := '';
   T8.Text   := '';
   T85.Text  := '';
   T9.Text   := '';
   T95.Text  := '';
   T10.Text  := '';
   T105.Text := '';
   T11.Text  := '';
   T115.Text := '';
   T12.Text  := '';
   T125.Text := '';
   T13.Text  := '';
   lblpares.Caption := '';
   lblgiros.Caption := '';
   lblformas.Caption := '';
   lblperc.Caption := '';
   For l := 0 to 29 do
     For c := 0 to 16 do
        StringGrid1.Cells[c,l] := '';
   StringGrid1.Cells[0,0];
   For l := 0 to 29 do
     For c := 0 to 18 do
        StringGrid2.Cells[c,l] := '';
   StringGrid2.Cells[0,0];
   For l := 0 to 29 do
     StringGrid3.Cells[0,l] := '';
   StringGrid3.Cells[0,0];
end;
procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
   Query1.Close;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
   Limpar;
end;
procedure TForm1.FormKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
   if Key = #13 then
   begin
      Perform(WM_NextDlgCtl, 0, 0);
      Key := #0;
   end;
```

```
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
   i, f, l, c, qt, soma: Integer;
   pares, giros, tipos, pg: Integer;
   lin, col: Integer;
   formas, perc, formula: Real;
   ok: Boolean;
begin
     ok := false;
     perc := StrToFloat(Edit1.Text) - 0.01;
     while ok <> true do
     begin
     // limpando...
     Query1.Close;
     Query1.SQL.Clear;
     Query1.SQL.Add('Select * from Tipos');
     Query1.Open;
     while not Query1.Eof do
       Query1.Delete;
     lblpares.Caption := '';
     lblgiros.Caption := '';
     lblformas.Caption := '';
     lblperc.Caption := '';
     For l := 0 to 29 do
        For c := 0 to 16 do
            StringGrid1.Cells[c,l] := '';
     StringGrid1.Cells[0,0];
     For l := 0 to 29 do
        For c := 0 to 18 do
            StringGrid2.Cells[c,l] := '';
     StringGrid2.Cells[0,0];
     For l := 0 to 29 do
        StringGrid3.Cells[0,l] := '';
     StringGrid3.Cells[0,0];
     // limpou até aqui...
     perc := perc + 0.01;
     // zera a variável que soma as quantidades de pares
     qt := 0;
     // recebe os valores
     if T4.Text <> '' then
     begin
         Query1.Append;
         Query1Tipo.Value := 4;
         Query1V.Value := StrToInt(T4.Text);
         Query1.Post;
         qt := qt + StrToInt(T4.Text);
     end;
    if T45.Text <> '' then
     begin
```

```
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 45;
    Query1V.Value := StrToInt(T45.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T45.Text);
end;
if T5.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 5;
    Query1V.Value := StrToInt(T5.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T5.Text);
end;
if T55.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 5.5;
    Query1V.Value := StrToInt(T55.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T55.Text);
end;
if T6.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 6;
    Query1V.Value := StrToInt(T6.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T6.Text);
end;
if T65.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 6.5;
    Query1V.Value := StrToInt(T65.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T65.Text);
end;
if T7.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 7;
    Query1V.Value := StrToInt(T7.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T7.Text);
end;
if T75.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 7.5;
```

```
    Query1V.Value := StrToInt(T75.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T75.Text);
end;
if T8.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 8;
    Query1V.Value := StrToInt(T8.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T8.Text);
end;
if T85.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 8.5;
    Query1V.Value := StrToInt(T85.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T85.Text);
end;
if T9.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 9;
    Query1V.Value := StrToInt(T9.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T9.Text);
end;
if T95.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 9.5;
    Query1V.Value := StrToInt(T95.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T95.Text);
end;
if T10.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 10;
    Query1V.Value := StrToInt(T10.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T10.Text);
end;
if T105.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 10.5;
    Query1V.Value := StrToInt(T105.Text);
    Query1.Post;
```

```
    qt := qt + StrToInt(T105.Text);
end;
if T11.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 11;
    Query1V.Value := StrToInt(T11.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T11.Text);
end;
if T115.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 11.5;
    Query1V.Value := StrToInt(T115.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T115.Text);
end;
if T12.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 12;
    Query1V.Value := StrToInt(T12.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T12.Text);
end;
if T125.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 12.5;
    Query1V.Value := StrToInt(T125.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T125.Text);
end;
if T13.Text <> '' then
begin
    Query1.Append;
    Query1Tipo.Value := 13;
    Query1V.Value := StrToInt(T13.Text);
    Query1.Post;
    qt := qt + StrToInt(T13.Text);
end;
lblpares.Caption := IntToStr(qt);
pg := StrToInt(Edit3.Text);
lblgiros.Caption := FloatToStr(qt/pg);
f := Query1.RecordCount;
Query1.First;

// calcula a fórmula: ((quant * 65) / total) * 1.1
formula := StrToFloat(Edit2.Text);
```

```
For i := 1 to f do
begin
    Query1.Edit;
    Query1Vx.Value := ((Query1V.Value * formula) / qt) * perc;
    Query1.Post;
    Query1.Next;
end;
// arrendondamento
Query1.First;
For i := 1 to f do
begin
    Query1.Edit;
    Query1Vy.Value := Int(Query1Vx.Value) + 1;
    Query1.Post;
    Query1.Next;
end;

// calcular z = y / x
Query1.First;
For i := 1 to f do
begin
    Query1.Edit;
    Query1Vz.Value := Query1Vy.Value / Query1Vx.Value;
    Query1.Post;
    Query1.Next;
end;
// calcular k = y - x
Query1.First;
For i := 1 to f do
begin
    Query1.Edit;
    Query1Vk.Value := Query1Vx.Value - Query1Vy.Value;
    Query1.Post;
    Query1.Next;
end;

// calcular w = (y - x)ao quadrado
Query1.First;
For i := 1 to f do
begin
    Query1.Edit;
    Query1Vw.Value := Sqr(Query1Vy.Value - Query1Vx.Value);
    Query1.Post;
    Query1.Next;
end;
// ordenar em ordem crescente
if RadioGroup1.ItemIndex = 0 then
begin
    Query1.Close;
    Query1.SQL.Clear;
```

```
    Query1.SQL.Add('Select * from Tipos');
    Query1.SQL.Add('Order by Tipo');
    Query1.Open;
end
else
if RadioGroup1.ItemIndex = 1 then
begin
    Query1.Close;
    Query1.SQL.Clear;
    Query1.SQL.Add('Select * from Tipos');
    Query1.SQL.Add('Order by Vz, V Desc');
    Query1.Open;
end
else
if RadioGroup1.ItemIndex = 2 then
begin
    Query1.Close;
    Query1.SQL.Clear;
    Query1.SQL.Add('Select * from Tipos');
    Query1.SQL.Add('Order by V Desc');
    Query1.Open;
end
else
if RadioGroup1.ItemIndex = 3 then
begin
    Query1.Close;
    Query1.SQL.Clear;
    Query1.SQL.Add('Select * from Tipos');
    Query1.SQL.Add('Order by V');
    Query1.Open;
end
else
if RadioGroup1.ItemIndex = 4 then
begin
    Query1.Close;
    Query1.SQL.Clear;
    Query1.SQL.Add('Select * from Tipos');
    Query1.SQL.Add('Order by Vk');
    Query1.Open;
end
else
if RadioGroup1.ItemIndex = 5 then
begin
    Query1.Close;
    Query1.SQL.Clear;
    Query1.SQL.Add('Select * from Tipos');
    Query1.SQL.Add('Order by Vw');
    Query1.Open;
end;
pares := 0;
```

```
    formas := 0;
    While not Query1.Eof do
    begin
        pares := pares + Query1V.Value;
        formas := formas + Query1Vy.Value;
        Query1.Next;
    end;
    if (pares mod pg) <> 0 then
      giros := Trunc(pares/pg) + 1
    else
      giros := Trunc(pares/pg);

    tipos := Query1.RecordCount;
    lblpares.Caption := IntToStr(pares);
    lblformas.Caption := FloatToStr(formas);
    lblgiros.Caption := FloatToStr(giros);
    // ********************************************
    lin := 0;
    col := 0;
    Query1.First;
    While not Query1.Eof do
    begin
        StringGrid1.Cells[col, 0] := FloatToStr(Query1Tipo.Value);
        StringGrid1.Cells[col, 1] := Query1Vy.AsString;
        StringGrid1.Cells[col, 2] := Query1V.AsString;
        StringGrid1.Cells[col, 3] := '0';
        inc(col);
        Query1.Next;
    end;
    For i := 0 to giros-1 do
       StringGrid3.Cells[0,i] := IntToStr(i + 1);
    lin := 0;
    col := 0;
    soma := 0;
    i := 0;
    While i < pares do
    begin
        if StrToInt(StringGrid1.Cells[col,2]) = StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) then
        begin
            inc(col);
            if col = tipos then
               col := 0;
        end
        else
        if (StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) + StrToInt(StringGrid1.Cells[col,1])) >
(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,2])) then
        begin
            if soma = pg then
            begin
                lin := lin + 1;
```

```
            soma := 0;
        end
        else
        if (soma + StrToInt(StringGrid1.Cells[col,2]) - StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]))>
pg then
        begin
            if StringGrid2.Cells[col,lin] <> '' then
              ok := false
            else
              ok := true;
            StringGrid2.Cells[col,lin] := IntToStr(pg - Soma);
            StringGrid1.Cells[col,3]   := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) +
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]));
            Soma := Soma + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            i := i + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            StringGrid2.Cells[tipos + 1, lin] := IntToStr(Soma);
            lin := lin + 1;
            if StringGrid2.Cells[col,lin] <> '' then
              ok := false
            else
              ok := true;
            StringGrid2.Cells[col,lin] := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,2]) -
StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]));
            StringGrid1.Cells[col,3]   := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) +
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]));
            Soma := 0;
            Soma := Soma + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            i := i + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            inc(col);
            if col = tipos then
              col := 0;
        end
        else
        begin
            if StringGrid2.Cells[col,lin] <> '' then
              ok := false
            else
              ok := true;
            StringGrid2.Cells[col,lin] := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,2]) -
StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]));
            StringGrid1.Cells[col,3]   := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) +
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]));
            Soma := Soma + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            i := i + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            inc(col);
            if col = tipos then
              col := 0;
        end;
    end
    else
```

```
        if (soma + StrToInt(StringGrid1.Cells[col,1])) < pg then
        begin
            if StringGrid2.Cells[col,lin] <> '' then
              ok := false
            else
              ok := true;
            StringGrid2.Cells[col,lin] := StringGrid1.Cells[col,1];
            StringGrid1.Cells[col,3]   := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) +
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]));
            Soma := Soma + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            i := i + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            inc(col);
            if col = tipos then
              col := 0;
        end
        else
        if (soma  + StrToInt(StringGrid1.Cells[col,1])) = pg then
        begin
            if StringGrid2.Cells[col,lin] <> '' then
              ok := false
            else
              ok := true;
            StringGrid2.Cells[col,lin] := StringGrid1.Cells[col,1];
            StringGrid1.Cells[col,3]   := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) +
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]));
            Soma := Soma + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            i := i + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            StringGrid2.Cells[tipos + 1, lin] := IntToStr(Soma);
            inc(col);
            if col = tipos then
              col := 0;

            Soma := 0;
            lin := lin + 1;
        end
        else
        if (soma + StrToInt(StringGrid1.Cells[col,1])) > pg then
        begin
            if StringGrid2.Cells[col,lin] <> '' then
              ok := false
            else
              ok := true;
            StringGrid2.Cells[col,lin] := IntToStr(pg - Soma);
            StringGrid1.Cells[col,3]   := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) +
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]));
            Soma := Soma + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            i := i + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
            StringGrid2.Cells[tipos + 1, lin] := IntToStr(Soma);
            lin := lin + 1;
            if StringGrid2.Cells[col,lin] <> '' then
```

```
            ok := false
          else
            ok := true;
          StringGrid2.Cells[col,lin] := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,1]) -
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin-1]));
          StringGrid1.Cells[col,3]   := IntToStr(StrToInt(StringGrid1.Cells[col,3]) +
StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]));
          Soma := 0;
          Soma := Soma + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
          i := i + StrToInt(StringGrid2.Cells[col,lin]);
          inc(col);
          if col = tipos then
            col := 0;
       end;
    end;
    StringGrid2.Cells[tipos + 1, lin] := IntToStr(Soma);
    end;
    lblPerc.Caption := FloatToStr((perc - 1) * 100) + '%';
end;
end.
```

ANEXO 2

UM DOS MODELOS MATEMÁTICOS DESENVOLVIDOS

min X1_1+X1_2+X1_3+X1_4+X1_5+
X1_6+X1_7+X1_8+X1_9+X1_10+
X1_11+X1_12+X1_13+X1_14+X1_15+
X1_16+X1_17+X1_18+X1_19+X1_20+
X2_1+X2_2+X2_3+X2_4+X2_5+
X2_6+X2_7+X2_8+X2_9+X2_10+
X2_11+X2_12+X2_13+X2_14+X2_15+
X2_16+X2_17+X2_18+X2_19+X2_20+
X3_1+X3_2+X3_3+X3_4+X3_5+
X3_6+X3_7+X3_8+X3_9+X3_10+
X3_11+X3_12+X3_13+X3_14+X3_15+
X3_16+X3_17+X3_18+X3_19+X3_20+
X4_1+X4_2+X4_3+X4_4+X4_5+
X4_6+X4_7+X4_8+X4_9+X4_10+
X4_11+X4_12+X4_13+X4_14+X4_15+
X4_16+X4_17+X4_18+X4_19+X4_20+
X5_1+X5_2+X5_3+X5_4+X5_5+
X5_6+X5_7+X5_8+X5_9+X5_10+X5_11+X5_12+X5_13+X5_14+X5_15+
X5_16+X5_17+X5_18+X5_19+X5_20+
X6_1+X6_2+X6_3+X6_4+X6_5+
X6_6+X6_7+X6_8+X6_9+X6_10+
X6_11+X6_12+X6_13+X6_14+X6_15+
X6_16+X6_17+X6_18+X6_19+X6_20+
X7_1+X7_2+X7_3+X7_4+X7_5+
X7_6+X7_7+X7_8+X7_9+X7_10+
X7_11+X7_12+X7_13+X7_14+X7_15+
X7_16+X7_17+X7_18+X7_19+X7_20+
X8_1+X8_2+X8_3+X8_4+X8_5+
X8_6+X8_7+X8_8+X8_9+X8_10+
X8_11+X8_12+X8_13+X8_14+X8_15+
X8_16+X8_17+X8_18+X8_19+X8_20+
X9_1+X9_2+X9_3+X9_4+X9_5+
X9_6+X9_7+X9_8+X9_9+X9_10+
X9_11+X9_12+X9_13+X9_14+X9_15+
X9_16+X9_17+X9_18+X9_19+X9_20+
X10_1+X10_2+X10_3+X10_4+X10_5+
X10_6+X10_7+X10_8+X10_9+X10_10+
X10_11+X10_12+X10_13+X10_14+X10_15+
X10_16+X10_17+X10_18+X10_19+X10_20+
X11_1+X11_2+X11_3+X11_4+X11_5+
X11_6+X11_7+X11_8+X11_9+X11_10+X11_11+X11_12+X11_13+X11_14+X11_15+

X11_16+X11_17+X11_18+X11_19+X11_20+
X12_1+X12_2+X12_3+X12_4+X12_5+X12_6+X12_7+X12_8+X12_9+X12_10+X12_11+
X12_12+X12_13+X12_14+X12_15+
X12_16+X12_17+X12_18+X12_19+X12_20+
X13_1+X13_2+X13_3+X13_4+X13_5+
X13_6+X13_7+X13_8+X13_9+X13_10+
X13_11+X13_12+X13_13+X13_14+X13_15+
X13_16+X13_17+X13_18+X13_19+X13_20+
X14_1+X14_2+X14_3+X14_4+X14_5+
X14_6+X14_7+X14_8+X14_9+X14_10+
X14_11+X14_12+X14_13+X14_14+X14_15+
X14_16+X14_17+X14_18+X14_19+X14_20+
X15_1+X15_2+X15_3+X15_4+X15_5+
X15_6+X15_7+X15_8+X15_9+X15_10+
X15_11+X15_12+X15_13+X15_14+X15_15+
X15_16+X15_17+X15_18+X15_19+X15_20+
X16_1+X16_2+X16_3+X16_4+X16_5+
X16_6+X16_7+X16_8+X16_9+X16_10+
X16_11+X16_12+X16_13+X16_14+X16_15+
X16_16+X16_17+X16_18+X16_19+X16_20+
X17_1+X17_2+X17_3+X17_4+X17_5+
X17_6+X17_7+X17_8+X17_9+X17_10+
X17_11+X17_12+X17_13+X17_14+X17_15+
X17_16+X17_17+X17_18+X17_19+X17_20+
X18_1+X18_2+X18_3+X18_4+X18_5+
X18_6+X18_7+X18_8+X18_9+X18_10+
X18_11+X18_12+X18_13+X18_14+X18_15+
X18_16+X18_17+X18_18+X18_19+X18_20
st
X1_1+X2_1+X3_1+X4_1+X5_1+
X6_1+X7_1+X8_1+X9_1+X10_1+X11_1+X12_1+
X13_1+X14_1+X15_1+X16_1+X17_1+X18_1<=1
X1_2+X2_2+X3_2+X4_2+X5_2+
X6_2+X7_2+X8_2+X9_2+X10_2+X11_2+X12_2+
X13_2+X14_2+X15_2+X16_2+X17_2+X18_2<=1
X1_3+X2_3+X3_3+X4_3+X5_3+
X6_3+X7_3+X8_3+X9_3+X10_3+X11_3+X12_3+
X13_3+X14_3+X15_3+X16_3+X17_3+X18_3<=1
X1_4+X2_4+X3_4+X4_4+X5_4+
X6_4+X7_4+X8_4+X9_4+X10_4+X11_4+X12_4+
X13_4+X14_4+X15_4+X16_4+X17_4+X18_4<=1
X1_5+X2_5+X3_5+X4_5+X5_5+
X6_5+X7_5+X8_5+X9_5+X10_5+X11_5+X12_5+
X13_5+X14_5+X15_5+X16_5+X17_5+X18_5<=1
X1_6+X2_6+X3_6+X4_6+X5_6+
X6_6+X7_6+X8_6+X9_6+X10_6+X11_6+X12_6+
X13_6+X14_6+X15_6+X16_6+X17_6+X18_6<=1
X1_7+X2_7+X3_7+X4_7+X5_7+
X6_7+X7_7+X8_7+X9_7+X10_7+X11_7+X12_7+
X13_7+X14_7+X15_7+X16_7+X17_7+X18_7<=1

X1_8+X2_8+X3_8+X4_8+X5_8+
X6_8+X7_8+X8_8+X9_8+X10_8+X11_8+X12_8+
X13_8+X14_8+X15_8+X16_8+X17_8+X18_8<=1
X1_9+X2_9+X3_9+X4_9+X5_9+
X6_9+X7_9+X8_9+X9_9+X10_9+X11_9+X12_9+
X13_9+X14_9+X15_9+X16_9+X17_9+X18_9<=1
X1_10+X2_10+X3_10+X4_10+X5_10+
X6_10+X7_10+X8_10+X9_10+X10_10+X11_10+
X12_10+
X13_10+X14_10+X15_10+X16_10+X17_10+
X18_10<=1
X1_11+X2_11+X3_11+X4_11+X5_11+
X6_11+X7_11+X8_11+X9_11+X10_11+X11_11+
X12_11+
X13_11+X14_11+X15_11+X16_11+X17_11+
X18_11<=1
X1_12+X2_12+X3_12+X4_12+X5_12+
X6_12+X7_12+X8_12+X9_12+X10_12+X11_12+
X12_12+
X13_12+X14_12+X15_12+X16_12+X17_12+
X18_12<=1
X1_13+X2_13+X3_13+X4_13+X5_13+
X6_13+X7_13+X8_13+X9_13+X10_13+X11_13+
X12_13+
X13_13+X14_13+X15_13+X16_13+X17_13+
X18_13<=1
X1_14+X2_14+X3_14+X4_14+X5_14+
X6_14+X7_14+X8_14+X9_14+X10_14+X11_14+
X12_14+
X13_14+X14_14+X15_14+X16_14+X17_14+
X18_14<=1
X1_15+X2_15+X3_15+X4_15+X5_15+
X6_15+X7_15+X8_15+X9_15+X10_15+
X11_15+X12_15+
X13_15+X14_15+X15_15+X16_15+X17_15+
X18_15<=1
X1_16+X2_16+X3_16+X4_16+X5_16+
X6_16+X7_16+X8_16+X9_16+X10_16+
X11_16+X12_16+
X13_16+X14_16+X15_16+X16_16+
X17_16+X18_16<=1
X1_17+X2_17+X3_17+X4_17+X5_17+
X6_17+X7_17+X8_17+X9_17+X10_17+
X11_17+X12_17+
X13_17+X14_17+X15_17+X16_17+
X17_17+X18_17<=1
X1_18+X2_18+X3_18+X4_18+X5_18+
X6_18+X7_18+X8_18+X9_18+X10_18+
X11_18+X12_18+
X13_18+X14_18+X15_18+X16_18+

X17_18+X18_18<=1
X1_19+X2_19+X3_19+X4_19+X5_19+
X6_19+X7_19+X8_19+X9_19+X10_19+
X11_19+X12_19+
X13_19+X14_19+X15_19+X16_19+
X17_19+X18_19<=1
X1_20+X2_20+X3_20+X4_20+X5_20+
X6_20+X7_20+X8_20+X9_20+X10_20+
X11_20+X12_20+
X13_20+X14_20+X15_20+X16_20+
X17_20+X18_20<=1
X1_1+X1_2+X1_3+X1_4+X1_5+
X1_6+X1_7+X1_8+X1_9+
X1_10+X1_11+X1_12+X1_13+
X1_14+X1_15+X1_16+X1_17+X1_18+
X1_19+X1_20+
X2_1+X2_2+X2_3+X2_4+X2_5+
X2_6+X2_7+X2_8+
X2_9+
X2_10+X2_11+X2_12+X2_13+
X2_14+X2_15+X2_16+X2_17+X2_18+
X2_19+X2_20+
X3_1+X3_2+X3_3+X3_4+X3_5+
X3_6+X3_7+X3_8+
X3_9+
X3_10+X3_11+X3_12+X3_13+
X3_14+X3_15+X3_16+X3_17+X3_18+
X3_19+X3_20+
X4_1+X4_2+X4_3+X4_4+X4_5+
X4_6+X4_7+X4_8+
X4_9+
X4_10+X4_11+X4_12+X4_13+
X4_14+X4_15+X4_16+X4_17+X4_18+
X4_19+X4_20+
X5_1+X5_2+X5_3+X5_4+X5_5+
X5_6+X5_7+X5_8+
X5_9+
X5_10+X5_11+X5_12+X5_13+
X5_14+X5_15+X5_16+X5_17+X5_18+
X5_19+X5_20+
X6_1+X6_2+X6_3+X6_4+X6_5+
X6_6+X6_7+X6_8+X6_9+
X6_10+X6_11+X6_12+X6_13+
X6_14+X6_15+X6_16+X6_17+X6_18+
X6_19+X6_20>=7
X7_1+X7_2+X7_3+X7_4+X7_5+
X7_6+X7_7+X7_8+X7_9+
X7_10+X7_11+X7_12+X7_13+
X7_14+X7_15+X7_16+X7_17+X7_18+
X7_19+X7_20+

X8_1+X8_2+X8_3+X8_4+X8_5+
X8_6+X8_7+X8_8+X8_9+
X8_10+X8_11+X8_12+X8_13+
X8_14+X8_15+X8_16+X8_17+X8_18+
X8_19+X8_20+
X9_1+X9_2+X9_3+X9_4+X9_5+
X9_6+X9_7+X9_8+X9_9+
X9_10+X9_11+X9_12+X9_13+
X9_14+X9_15+X9_16+X9_17+X9_18+
X9_19+X9_20+
X10_1+X10_2+X10_3+X10_4+X10_5+
X10_6+X10_7+X10_8+X10_9+
X10_10+X10_11+X10_12+X10_13+
X10_14+X10_15+X10_16+X10_17+X10_18+
X10_19+X10_20+
X11_1+X11_2+X11_3+X11_4+X11_5+
X11_6+X11_7+X11_8+X11_9+
X11_10+X11_11+X11_12+X11_13+
X11_14+X11_15+X11_16+X11_17+X11_18+
X11_19+X11_20+
X12_1+X12_2+X12_3+X12_4+X12_5+
X12_6+X12_7+X12_8+X12_9+
X12_10+X12_11+X12_12+X12_13+
X12_14+X12_15+X12_16+X12_17+X12_18+
X12_19+X12_20>=6
X13_1+X13_2+X13_3+X13_4+X13_5+
X13_6+X13_7+X13_8+X13_9+
X13_10+X13_11+X13_12+X13_13+
X13_14+X13_15+X13_16+X13_17+X13_18+
X13_19+X13_20+
X14_1+X14_2+X14_3+X14_4+X14_5+
X14_6+X14_7+X14_8+X14_9+
X14_10+X14_11+X14_12+X14_13+
X14_14+X14_15+X14_16+X14_17+X14_18+
X14_19+X14_20+
X15_1+X15_2+X15_3+X15_4+X15_5+
X15_6+X15_7+X15_8+X15_9+
X15_10+X15_11+X15_12+X15_13+
X15_14+X15_15+X15_16+X15_17+X15_18+
X15_19+X15_20+
X16_1+X16_2+X16_3+X16_4+X16_5+
X16_6+X16_7+X16_8+X16_9+
X16_10+X16_11+X16_12+X16_13+
X16_14+X16_15+X16_16+X16_17+X16_18+
X16_19+X16_20+
X17_1+X17_2+X17_3+X17_4+X17_5+
X17_6+X17_7+X17_8+X17_9+
X17_10+X17_11+X17_12+X17_13+
X17_14+X17_15+X17_16+X17_17+X17_18+
X17_19+X17_20+

X18_1+X18_2+X18_3+X18_4+X18_5+
X18_6+X18_7+X18_8+X18_9+
X18_10+X18_11+X18_12+X18_13+
X18_14+X18_15+X18_16+X18_17+X18_18+
X18_19+X18_20>=7
1000X1_1+X1_2+X1_3+X1_4+X1_5+
X1_6+X1_7+X1_8+X1_9+X1_10+
X1_11<=1000
1000X1_2+X1_3+X1_4+X1_5+X1_6+
X1_7+X1_8+X1_9+X1_10+X1_11+
X1_12<=1000
1000X1_3+X1_4+X1_5+X1_6+X1_7+
X1_8+X1_9+X1_10+X1_11+X1_12+
X1_13<=1000
1000X1_4+X1_5+X1_6+X1_7+X1_8+
X1_9+X1_10+X1_11+X1_12+X1_13+
X1_14<=1000
1000X1_5+X1_6+X1_7+X1_8+X1_9+
X1_10+X1_11+X1_12+X1_13+X1_14+
X1_15<=1000
1000X1_6+X1_7+X1_8+X1_9+X1_10+
X1_11+X1_12+X1_13+X1_14+X1_15+
X1_16<=1000
1000X1_7+X1_8+X1_9+X1_10+X1_11+
X1_12+X1_13+X1_14+X1_15+X1_16+
X1_17<=1000
1000X1_8+X1_9+X1_10+X1_11+X1_12+
X1_13+X1_14+X1_15+X1_16+X1_17+X1_18<=1000
1000X1_9+X1_10+X1_11+X1_12+
X1_13+X1_14+X1_15+X1_16+X1_17+
X1_18+X1_19<=1000
1000X1_10+X1_11+X1_12+
X1_13+X1_14+X1_15+X1_16+X1_17+X1_18+X1_19+
X1_20<=1000
1000X1_11+X1_12+
X1_13+X1_14+X1_15+X1_16+X1_17+X1_18+X1_19+X1_20<=1000
1000X1_12+X1_13+X1_14+X1_15+
X1_16+X1_17+X1_18+X1_19+X1_20<=1000
1000X1_13+X1_14+X1_15+X1_16+X1_17+
X1_18+X1_19+X1_20<=1000
1000X1_14+X1_15+X1_16+X1_17+X1_18+
X1_19+X1_20<=1000
1000X1_15+X1_16+X1_17+X1_18+X1_19+
X1_20<=1000
1000X1_16+X1_17+X1_18+X1_19+X1_20<=1000
1000X1_17+X1_18+X1_19+X1_20<=1000
1000X1_18+X1_19+X1_20<=1000
1000X1_19+X1_20<=1000
1000X2_1+X2_2+X2_3+X2_4+X2_5+
X2_6+X2_7+X2_8+X2_9+X2_10+X2_11<=1000

1000X2_2+X2_3+X2_4+X2_5+X2_6+
X2_7+X2_8+X2_9+X2_10+X2_11+X2_12<=1000
1000X2_3+X2_4+X2_5+X2_6+X2_7+
X2_8+X2_9+X2_10+X2_11+X2_12+X2_13<=1000
1000X2_4+X2_5+X2_6+X2_7+X2_8+
X2_9+X2_10+X2_11+X2_12+X2_13+X2_14<=1000
1000X2_5+X2_6+X2_7+X2_8+X2_9+
X2_10+X2_11+X2_12+X2_13+X2_14+X2_15<=1000
1000X2_6+X2_7+X2_8+X2_9+X2_10+
X2_11+X2_12+X2_13+X2_14+X2_15+X2_16<=1000
1000X2_7+X2_8+X2_9+X2_10+X2_11+
X2_12+X2_13+X2_14+X2_15+X2_16+X2_17<=1000
1000X2_8+X2_9+X2_10+X2_11+X2_12+
X2_13+X2_14+X2_15+X2_16+X2_17+X2_18<=1000
1000X2_9+X2_10+X2_11+X2_12+
X2_13+X2_14+X2_15+X2_16+X2_17+X2_18+X2_19<=1000
1000X2_10+X2_11+X2_12+
X2_13+X2_14+X2_15+X2_16+X2_17+X2_18+X2_19+
X2_20<=1000
1000X2_11+X2_12+
X2_13+X2_14+X2_15+X2_16+X2_17+X2_18+X2_19+X2_20<=1000
1000X2_12+X2_13+X2_14+X2_15+
X2_16+X2_17+X2_18+X2_19+X2_20<=1000
1000X2_13+X2_14+X2_15+X2_16+X2_17+
X2_18+X2_19+X2_20<=1000
1000X2_14+X2_15+X2_16+X2_17+X2_18+
X2_19+X2_20<=1000
1000X2_15+X2_16+X2_17+X2_18+X2_19+
X2_20<=1000
1000X2_16+X2_17+X2_18+X2_19+X2_20<=1000
1000X2_17+X2_18+X2_19+X2_20<=1000
1000X2_18+X2_19+X2_20<=1000
1000X2_19+X2_20<=1000
1000X3_1+X3_2+X3_3+X3_4+X3_5+
X3_6+X3_7+X3_8+X3_9+X3_10+X3_11<=1000
1000X3_2+X3_3+X3_4+X3_5+X3_6+
X3_7+X3_8+X3_9+X3_10+X3_11+X3_12<=1000
1000X3_3+X3_4+X3_5+X3_6+X3_7+
X3_8+X3_9+X3_10+X3_11+X3_12+X3_13<=1000
1000X3_4+X3_5+X3_6+X3_7+X3_8+
X3_9+X3_10+X3_11+X3_12+X3_13+X3_14<=1000
1000X3_5+X3_6+X3_7+X3_8+X3_9+
X3_10+X3_11+X3_12+X3_13+X3_14+X3_15<=1000
1000X3_6+X3_7+X3_8+X3_9+X3_10+
X3_11+X3_12+X3_13+X3_14+X3_15+X3_16<=1000
1000X3_7+X3_8+X3_9+X3_10+X3_11+
X3_12+X3_13+X3_14+X3_15+X3_16+X3_17<=1000
1000X3_8+X3_9+X3_10+X3_11+X3_12+
X3_13+X3_14+X3_15+X3_16+X3_17+X3_18<=1000
1000X3_9+X3_10+X3_11+X3_12+

X3_13+X3_14+X3_15+X3_16+X3_17+X3_18+X3_19<=1000
1000X3_10+X3_11+X3_12+
X3_13+X3_14+X3_15+X3_16+X3_17+X3_18+X3_19+
X3_20<=1000
1000X3_11+X3_12+
X3_13+X3_14+X3_15+X3_16+X3_17+X3_18+X3_19+X3_20<=1000
1000X3_12+X3_13+X3_14+X3_15+
X3_16+X3_17+X3_18+X3_19+X3_20<=1000
1000X3_13+X3_14+X3_15+X3_16+X3_17+
X3_18+X3_19+X3_20<=1000
1000X3_14+X3_15+X3_16+X3_17+X3_18+
X3_19+X3_20<=1000
1000X3_15+X3_16+X3_17+X3_18+X3_19+
X3_20<=1000
1000X3_16+X3_17+X3_18+X3_19+X3_20<=1000
1000X3_17+X3_18+X3_19+X3_20<=1000
1000X3_18+X3_19+X3_20<=1000
1000X3_19+X3_20<=1000
1000X4_1+X4_2+X4_3+X4_4+X4_5+
X4_6+X4_7+X4_8+X4_9+X4_10+X4_11<=1000
1000X4_2+X4_3+X4_4+X4_5+X4_6+
X4_7+X4_8+X4_9+X4_10+X4_11+X4_12<=1000
1000X4_3+X4_4+X4_5+X4_6+X4_7+
X4_8+X4_9+X4_10+X4_11+X4_12+X4_13<=1000
1000X4_4+X4_5+X4_6+X4_7+X4_8+
X4_9+X4_10+X4_11+X4_12+X4_13+X4_14<=1000
1000X4_5+X4_6+X4_7+X4_8+X4_9+
X4_10+X4_11+X4_12+X4_13+X4_14+X4_15<=1000
1000X4_6+X4_7+X4_8+X4_9+X4_10+
X4_11+X4_12+X4_13+X4_14+X4_15+X4_16<=1000
1000X4_7+X4_8+X4_9+X4_10+X4_11+
X4_12+X4_13+X4_14+X4_15+X4_16+X4_17<=1000
1000X4_8+X4_9+X4_10+X4_11+X4_12+
X4_13+X4_14+X4_15+X4_16+X4_17+X4_18<=1000
1000X4_9+X4_10+X4_11+X4_12+
X4_13+X4_14+X4_15+X4_16+X4_17+X4_18+X4_19<=1000
1000X4_10+X4_11+X4_12+
X4_13+X4_14+X4_15+X4_16+X4_17+X4_18+X4_19+
X4_20<=1000
1000X4_11+X4_12+
X4_13+X4_14+X4_15+X4_16+X4_17+X4_18+X4_19+X4_20<=1000
1000X4_12+X4_13+X4_14+X4_15+
X4_16+X4_17+X4_18+X4_19+X4_20<=1000
1000X4_13+X4_14+X4_15+X4_16+X4_17+
X4_18+X4_19+X4_20<=1000
1000X4_14+X4_15+X4_16+X4_17+X4_18+
X4_19+X4_20<=1000
1000X4_15+X4_16+X4_17+X4_18+X4_19+
X4_20<=1000
1000X4_16+X4_17+X4_18+X4_19+X4_20<=1000

1000X4_17+X4_18+X4_19+X4_20<=1000
1000X4_18+X4_19+X4_20<=1000
1000X4_19+X4_20<=1000
1000X5_1+X5_2+X5_3+X5_4+X5_5+
X5_6+X5_7+X5_8+X5_9+X5_10+X5_11<=1000
1000X5_2+X5_3+X5_4+X5_5+X5_6+
X5_7+X5_8+X5_9+X5_10+X5_11+X5_12<=1000
1000X5_3+X5_4+X5_5+X5_6+X5_7+
X5_8+X5_9+X5_10+X5_11+X5_12+X5_13<=1000
1000X5_4+X5_5+X5_6+X5_7+X5_8+
X5_9+X5_10+X5_11+X5_12+X5_13+X5_14<=1000
1000X5_5+X5_6+X5_7+X5_8+X5_9+
X5_10+X5_11+X5_12+X5_13+X5_14+X5_15<=1000
1000X5_6+X5_7+X5_8+X5_9+X5_10+
X5_11+X5_12+X5_13+X5_14+X5_15+X5_16<=1000
1000X5_7+X5_8+X5_9+X5_10+X5_11+
X5_12+X5_13+X5_14+X5_15+X5_16+X5_17<=1000
1000X5_8+X5_9+X5_10+X5_11+X5_12+
X5_13+X5_14+X5_15+X5_16+X5_17+X5_18<=1000
1000X5_9+X5_10+X5_11+X5_12+
X5_13+X5_14+X5_15+X5_16+X5_17+X5_18+X5_19<=1000
1000X5_10+X5_11+X5_12+
X5_13+X5_14+X5_15+X5_16+X5_17+X5_18+X5_19+
X5_20<=1000
1000X5_11+X5_12+
X5_13+X5_14+X5_15+X5_16+X5_17+X5_18+X5_19+X5_20<=1000
1000X5_12+X5_13+X5_14+X5_15+
X5_16+X5_17+X5_18+X5_19+X5_20<=1000
1000X5_13+X5_14+X5_15+X5_16+X5_17+
X5_18+X5_19+X5_20<=1000
1000X5_14+X5_15+X5_16+X5_17+X5_18+
X5_19+X5_20<=1000
1000X5_15+X5_16+X5_17+X5_18+X5_19+
X5_20<=1000
1000X5_16+X5_17+X5_18+X5_19+X5_20<=1000
1000X5_17+X5_18+X5_19+X5_20<=1000
1000X5_18+X5_19+X5_20<=1000
1000X5_19+X5_20<=1000
1000X6_1+X6_2+X6_3+X6_4+X6_5+
X6_6+X6_7+X6_8+X6_9+X6_10+X6_11<=1000
1000X6_2+X6_3+X6_4+X6_5+X6_6+
X6_7+X6_8+X6_9+X6_10+X6_11+X6_12<=1000
1000X6_3+X6_4+X6_5+X6_6+X6_7+
X6_8+X6_9+X6_10+X6_11+X6_12+X6_13<=1000
1000X6_4+X6_5+X6_6+X6_7+X6_8+
X6_9+X6_10+X6_11+X6_12+X6_13+X6_14<=1000
1000X6_5+X6_6+X6_7+X6_8+X6_9+
X6_10+X6_11+X6_12+X6_13+X6_14+X6_15<=1000
1000X6_6+X6_7+X6_8+X6_9+X6_10+
X6_11+X6_12+X6_13+X6_14+X6_15+X6_16<=1000

1000X6_7+X6_8+X6_9+X6_10+X6_11+
X6_12+X6_13+X6_14+X6_15+X6_16+X6_17<=1000
1000X6_8+X6_9+X6_10+X6_11+X6_12+
X6_13+X6_14+X6_15+X6_16+X6_17+X6_18<=1000
1000X6_9+X6_10+X6_11+X6_12+
X6_13+X6_14+X6_15+X6_16+X6_17+X6_18+X6_19<=1000
1000X6_10+X6_11+X6_12+
X6_13+X6_14+X6_15+X6_16+X6_17+X6_18+X6_19+
X6_20<=1000
1000X6_11+X6_12+
X6_13+X6_14+X6_15+X6_16+X6_17+
X6_18+X6_19+X6_20<=1000
1000X6_12+X6_13+X6_14+X6_15+
X6_16+X6_17+X6_18+X6_19+X6_20<=1000
1000X6_13+X6_14+X6_15+X6_16+X6_17+
X6_18+X6_19+X6_20<=1000
1000X6_14+X6_15+X6_16+X6_17+X6_18+
X6_19+X6_20<=1000
1000X6_15+X6_16+X6_17+X6_18+X6_19+
X6_20<=1000
1000X6_16+X6_17+X6_18+X6_19+X6_20<=1000
1000X6_17+X6_18+X6_19+X6_20<=1000
1000X6_18+X6_19+X6_20<=1000
1000X6_19+X6_20<=1000
1000X7_1+X7_2+X7_3+X7_4+X7_5+
X7_6+X7_7+X7_8+X7_9+X7_10+X7_11<=1000
1000X7_2+X7_3+X7_4+X7_5+X7_6+
X7_7+X7_8+X7_9+X7_10+X7_11+X7_12<=1000
1000X7_3+X7_4+X7_5+X7_6+X7_7+
X7_8+X7_9+X7_10+X7_11+X7_12+X7_13<=1000
1000X7_4+X7_5+X7_6+X7_7+X7_8+
X7_9+X7_10+X7_11+X7_12+X7_13+X7_14<=1000
1000X7_5+X7_6+X7_7+X7_8+X7_9+
X7_10+X7_11+X7_12+X7_13+X7_14+X7_15<=1000
1000X7_6+X7_7+X7_8+X7_9+X7_10+
X7_11+X7_12+X7_13+X7_14+X7_15+X7_16<=1000
1000X7_7+X7_8+X7_9+X7_10+X7_11+
X7_12+X7_13+X7_14+X7_15+X7_16+X7_17<=1000
1000X7_8+X7_9+X7_10+X7_11+X7_12+
X7_13+X7_14+X7_15+X7_16+X7_17+X7_18<=1000
1000X7_9+X7_10+X7_11+X7_12+
X7_13+X7_14+X7_15+X7_16+X7_17+X7_18+X7_19<=1000
1000X7_10+X7_11+X7_12+
X7_13+X7_14+X7_15+X7_16+X7_17+X7_18+X7_19+
X7_20<=1000
1000X7_11+X7_12+
X7_13+X7_14+X7_15+X7_16+X7_17+X7_18+X7_19+X7_20<=1000
1000X7_12+X7_13+X7_14+X7_15+
X7_16+X7_17+X7_18+X7_19+X7_20<=1000
1000X7_13+X7_14+X7_15+X7_16+X7_17+

X7_18+X7_19+X7_20<=1000
1000X7_14+X7_15+X7_16+X7_17+X7_18+
X7_19+X7_20<=1000
1000X7_15+X7_16+X7_17+X7_18+X7_19+
X7_20<=1000
1000X7_16+X7_17+X7_18+X7_19+X7_20<=1000
1000X7_17+X7_18+X7_19+X7_20<=1000
1000X7_18+X7_19+X7_20<=1000
1000X7_19+X7_20<=1000
1000X8_1+X8_2+X8_3+X8_4+X8_5+
X8_6+X8_7+X8_8+X8_9+X8_10+X8_11<=1000
1000X8_2+X8_3+X8_4+X8_5+X8_6+
X8_7+X8_8+X8_9+X8_10+X8_11+X8_12<=1000
1000X8_3+X8_4+X8_5+X8_6+X8_7+
X8_8+X8_9+X8_10+X8_11+X8_12+X8_13<=1000
1000X8_4+X8_5+X8_6+X8_7+X8_8+
X8_9+X8_10+X8_11+X8_12+X8_13+X8_14<=1000
1000X8_5+X8_6+X8_7+X8_8+X8_9+
X8_10+X8_11+X8_12+X8_13+X8_14+X8_15<=1000
1000X8_6+X8_7+X8_8+X8_9+X8_10+
X8_11+X8_12+X8_13+X8_14+X8_15+X8_16<=1000
1000X8_7+X8_8+X8_9+X8_10+X8_11+
X8_12+X8_13+X8_14+X8_15+X8_16+X8_17<=1000
1000X8_8+X8_9+X8_10+X8_11+X8_12+
X8_13+X8_14+X8_15+X8_16+X8_17+X8_18<=1000
1000X8_9+X8_10+X8_11+X8_12+
X8_13+X8_14+X8_15+X8_16+X8_17+X8_18+X8_19<=1000
1000X8_10+X8_11+X8_12+
X8_13+X8_14+X8_15+X8_16+X8_17+X8_18+X8_19+
X8_20<=1000
1000X8_11+X8_12+
X8_13+X8_14+X8_15+X8_16+X8_17+X8_18+X8_19+X8_20<=1000
1000X8_12+X8_13+X8_14+X8_15+
X8_16+X8_17+X8_18+X8_19+X8_20<=1000
1000X8_13+X8_14+X8_15+X8_16+X8_17+
X8_18+X8_19+X8_20<=1000
1000X8_14+X8_15+X8_16+X8_17+X8_18+
X8_19+X8_20<=1000
1000X8_15+X8_16+X8_17+X8_18+X8_19+
X8_20<=1000
1000X8_16+X8_17+X8_18+X8_19+X8_20<=1000
1000X8_17+X8_18+X8_19+X8_20<=1000
1000X8_18+X8_19+X8_20<=1000
1000X8_19+X8_20<=1000
1000X9_1+X9_2+X9_3+X9_4+X9_5+
X9_6+X9_7+X9_8+X9_9+X9_10+X9_11<=1000
1000X9_2+X9_3+X9_4+X9_5+X9_6+
X9_7+X9_8+X9_9+X9_10+X9_11+X9_12<=1000
1000X9_3+X9_4+X9_5+X9_6+X9_7+
X9_8+X9_9+X9_10+X9_11+X9_12+X9_13<=1000

1000X9_4+X9_5+X9_6+X9_7+X9_8+
X9_9+X9_10+X9_11+X9_12+X9_13+X9_14<=1000
1000X9_5+X9_6+X9_7+X9_8+X9_9+
X9_10+X9_11+X9_12+X9_13+X9_14+X9_15<=1000
1000X9_6+X9_7+X9_8+X9_9+X9_10+
X9_11+X9_12+X9_13+X9_14+X9_15+X9_16<=1000
1000X9_7+X9_8+X9_9+X9_10+X9_11+
X9_12+X9_13+X9_14+X9_15+X9_16+X9_17<=1000
1000X9_8+X9_9+X9_10+X9_11+X9_12+
X9_13+X9_14+X9_15+X9_16+X9_17+X9_18<=1000
1000X9_9+X9_10+X9_11+X9_12+
X9_13+X9_14+X9_15+X9_16+X9_17+X9_18+X9_19<=1000
1000X9_10+X9_11+X9_12+
X9_13+X9_14+X9_15+X9_16+X9_17+X9_18+X9_19+
X9_20<=1000
1000X9_11+X9_12+
X9_13+X9_14+X9_15+X9_16+X9_17+X9_18+X9_19+X9_20<=1000
1000X9_12+X9_13+X9_14+X9_15+
X9_16+X9_17+X9_18+X9_19+X9_20<=1000
1000X9_13+X9_14+X9_15+X9_16+X9_17+
X9_18+X9_19+X9_20<=1000
1000X9_14+X9_15+X9_16+X9_17+X9_18+
X9_19+X9_20<=1000
1000X9_15+X9_16+X9_17+X9_18+X9_19+
X9_20<=1000
1000X9_16+X9_17+X9_18+X9_19+X9_20<=1000
1000X9_17+X9_18+X9_19+X9_20<=1000
1000X9_18+X9_19+X9_20<=1000
1000X9_19+X9_20<=1000
1000X10_1+X10_2+X10_3+X10_4+X10_5+
X10_6+X10_7+X10_8+X10_9+X10_10+X10_11<=1000
1000X10_2+X10_3+X10_4+X10_5+X10_6+
X10_7+X10_8+X10_9+X10_10+X10_11+X10_12<=1000
1000X10_3+X10_4+X10_5+X10_6+X10_7+
X10_8+X10_9+X10_10+X10_11+X10_12+X10_13<=1000
1000X10_4+X10_5+X10_6+X10_7+X10_8+
X10_9+X10_10+X10_11+X10_12+X10_13+X10_14<=1000
1000X10_5+X10_6+X10_7+X10_8+X10_9+
X10_10+X10_11+X10_12+X10_13+X10_14+X10_15<=1000
1000X10_6+X10_7+X10_8+X10_9+X10_10+
X10_11+X10_12+X10_13+X10_14+X10_15+X10_16<=1000
1000X10_7+X10_8+X10_9+X10_10+X10_11+
X10_12+X10_13+X10_14+X10_15+X10_16+X10_17<=1000
1000X10_8+X10_9+X10_10+X10_11+X10_12+
X10_13+X10_14+X10_15+X10_16+X10_17+X10_18<=1000
1000X10_9+X10_10+X10_11+X10_12+
X10_13+X10_14+X10_15+X10_16+X10_17+X10_18+X10_19<=1000
1000X10_10+X10_11+X10_12+
X10_13+X10_14+X10_15+X10_16+X10_17+X10_18+X10_19+
X10_20<=1000

1000X10_11+X10_12+
X10_13+X10_14+X10_15+X10_16+X10_17+X10_18+X10_19+X10_20<=1000
1000X10_12+X10_13+X10_14+X10_15+
X10_16+X10_17+X10_18+X10_19+X10_20<=1000
1000X10_13+X10_14+X10_15+X10_16+X10_17+
X10_18+X10_19+X10_20<=1000
1000X10_14+X10_15+X10_16+X10_17+X10_18+
X10_19+X10_20<=1000
1000X10_15+X10_16+X10_17+X10_18+X10_19+
X10_20<=1000
1000X10_16+X10_17+X10_18+X10_19+X10_20<=1000
1000X10_17+X10_18+X10_19+X10_20<=1000
1000X10_18+X10_19+X10_20<=1000
1000X10_19+X10_20<=1000
1000X11_1+X11_2+X11_3+X11_4+X11_5+
X11_6+X11_7+X11_8+X11_9+X11_10+X11_11<=1000
1000X11_2+X11_3+X11_4+X11_5+X11_6+
X11_7+X11_8+X11_9+X11_10+X11_11+X11_12<=1000
1000X11_3+X11_4+X11_5+X11_6+X11_7+
X11_8+X11_9+X11_10+X11_11+X11_12+X11_13<=1000
1000X11_4+X11_5+X11_6+X11_7+X11_8+
X11_9+X11_10+X11_11+X11_12+X11_13+X11_14<=1000
1000X11_5+X11_6+X11_7+X11_8+X11_9+
X11_10+X11_11+X11_12+X11_13+X11_14+X11_15<=1000
1000X11_6+X11_7+X11_8+X11_9+X11_10+
X11_11+X11_12+X11_13+X11_14+X11_15+X11_16<=1000
1000X11_7+X11_8+X11_9+X11_10+X11_11+
X11_12+X11_13+X11_14+X11_15+X11_16+X11_17<=1000
1000X11_8+X11_9+X11_10+X11_11+X11_12+
X11_13+X11_14+X11_15+X11_16+X11_17+X11_18<=1000
1000X11_9+X11_10+X11_11+X11_12+
X11_13+X11_14+X11_15+X11_16+X11_17+X11_18+X11_19<=1000
1000X11_10+X11_11+X11_12+
X11_13+X11_14+X11_15+X11_16+X11_17+X11_18+X11_19+
X11_20<=1000
1000X11_11+X11_12+
X11_13+X11_14+X11_15+X11_16+X11_17+X11_18+X11_19+X11_20<=1000
1000X11_12+X11_13+X11_14+X11_15+
X11_16+X11_17+X11_18+X11_19+X11_20<=1000
1000X11_13+X11_14+X11_15+X11_16+X11_17+
X11_18+X11_19+X11_20<=1000
1000X11_14+X11_15+X11_16+X11_17+X11_18+
X11_19+X11_20<=1000
1000X11_15+X11_16+X11_17+X11_18+X11_19+
X11_20<=1000
1000X11_16+X11_17+X11_18+X11_19+X11_20<=1000
1000X11_17+X11_18+X11_19+X11_20<=1000
1000X11_18+X11_19+X11_20<=1000
1000X11_19+X11_20<=1000
1000X12_1+X12_2+X12_3+X12_4+X12_5+

X12_6+X12_7+X12_8+X12_9+X12_10+X12_11<=1000
1000X12_2+X12_3+X12_4+X12_5+X12_6+
X12_7+X12_8+X12_9+X12_10+X12_11+X12_12<=1000
1000X12_3+X12_4+X12_5+X12_6+X12_7+
X12_8+X12_9+X12_10+X12_11+X12_12+X12_13<=1000
1000X12_4+X12_5+X12_6+X12_7+X12_8+
X12_9+X12_10+X12_11+X12_12+X12_13+X12_14<=1000
1000X12_5+X12_6+X12_7+X12_8+X12_9+
X12_10+X12_11+X12_12+X12_13+X12_14+X12_15<=1000
1000X12_6+X12_7+X12_8+X12_9+X12_10+
X12_11+X12_12+X12_13+X12_14+X12_15+X12_16<=1000
1000X12_7+X12_8+X12_9+X12_10+X12_11+
X12_12+X12_13+X12_14+X12_15+X12_16+X12_17<=1000
1000X12_8+X12_9+X12_10+X12_11+X12_12+
X12_13+X12_14+X12_15+X12_16+X12_17+X12_18<=1000
1000X12_9+X12_10+X12_11+X12_12+
X12_13+X12_14+X12_15+X12_16+X12_17+X12_18+X12_19<=1000
1000X12_10+X12_11+X12_12+
X12_13+X12_14+X12_15+X12_16+X12_17+X12_18+X12_19+
X12_20<=1000
1000X12_11+X12_12+
X12_13+X12_14+X12_15+X12_16+X12_17+X12_18+X12_19+X12_20<=1000
1000X12_12+X12_13+X12_14+X12_15+
X12_16+X12_17+X12_18+X12_19+X12_20<=1000
1000X12_13+X12_14+X12_15+X12_16+X12_17+
X12_18+X12_19+X12_20<=1000
1000X12_14+X12_15+X12_16+X12_17+X12_18+
X12_19+X12_20<=1000
1000X12_15+X12_16+X12_17+X12_18+X12_19+
X12_20<=1000
1000X12_16+X12_17+X12_18+X12_19+X12_20<=1000
1000X12_17+X12_18+X12_19+X12_20<=1000
1000X12_18+X12_19+X12_20<=1000
1000X12_19+X12_20<=1000
1000X13_1+X13_2+X13_3+X13_4+X13_5+
X13_6+X13_7+X13_8+X13_9+X13_10+X13_11<=1000
1000X13_2+X13_3+X13_4+X13_5+X13_6+
X13_7+X13_8+X13_9+X13_10+X13_11+X13_12<=1000
1000X13_3+X13_4+X13_5+X13_6+X13_7+
X13_8+X13_9+X13_10+X13_11+X13_12+X13_13<=1000
1000X13_4+X13_5+X13_6+X13_7+X13_8+
X13_9+X13_10+X13_11+X13_12+X13_13+X13_14<=1000
1000X13_5+X13_6+X13_7+X13_8+X13_9+
X13_10+X13_11+X13_12+X13_13+X13_14+X13_15<=1000
1000X13_6+X13_7+X13_8+X13_9+X13_10+
X13_11+X13_12+X13_13+X13_14+X13_15+X13_16<=1000
1000X13_7+X13_8+X13_9+X13_10+X13_11+
X13_12+X13_13+X13_14+X13_15+X13_16+X13_17<=1000
1000X13_8+X13_9+X13_10+X13_11+X13_12+
X13_13+X13_14+X13_15+X13_16+X13_17+X13_18<=1000

1000X13_9+X13_10+X13_11+X13_12+
X13_13+X13_14+X13_15+X13_16+X13_17+X13_18+X13_19<=1000
1000X13_10+X13_11+X13_12+
X13_13+X13_14+X13_15+X13_16+X13_17+X13_18+X13_19+
X13_20<=1000
1000X13_11+X13_12+
X13_13+X13_14+X13_15+X13_16+X13_17+X13_18+X13_19+X13_20<=1000
1000X13_12+X13_13+X13_14+X13_15+
X13_16+X13_17+X13_18+X13_19+X13_20<=1000
1000X13_13+X13_14+X13_15+X13_16+X13_17+
X13_18+X13_19+X13_20<=1000
1000X13_14+X13_15+X13_16+X13_17+X13_18+
X13_19+X13_20<=1000
1000X13_15+X13_16+X13_17+X13_18+X13_19+
X13_20<=1000
1000X13_16+X13_17+X13_18+X13_19+X13_20<=1000
1000X13_17+X13_18+X13_19+X13_20<=1000
1000X13_18+X13_19+X13_20<=1000
1000X13_19+X13_20<=1000
1000X14_1+X14_2+X14_3+X14_4+X14_5+
X14_6+X14_7+X14_8+X14_9+X14_10+X14_11<=1000
1000X14_2+X14_3+X14_4+X14_5+X14_6+
X14_7+X14_8+X14_9+X14_10+X14_11+X14_12<=1000
1000X14_3+X14_4+X14_5+X14_6+X14_7+
X14_8+X14_9+X14_10+X14_11+X14_12+X14_13<=1000
1000X14_4+X14_5+X14_6+X14_7+X14_8+
X14_9+X14_10+X14_11+X14_12+X14_13+X14_14<=1000
1000X14_5+X14_6+X14_7+X14_8+X14_9+
X14_10+X14_11+X14_12+X14_13+X14_14+X14_15<=1000
1000X14_6+X14_7+X14_8+X14_9+X14_10+
X14_11+X14_12+X14_13+X14_14+X14_15+X14_16<=1000
1000X14_7+X14_8+X14_9+X14_10+X14_11+
X14_12+X14_13+X14_14+X14_15+X14_16+X14_17<=1000
1000X14_8+X14_9+X14_10+X14_11+X14_12+
X14_13+X14_14+X14_15+X14_16+X14_17+X14_18<=1000
1000X14_9+X14_10+X14_11+X14_12+
X14_13+X14_14+X14_15+X14_16+X14_17+X14_18+X14_19<=1000
1000X14_10+X14_11+X14_12+
X14_13+X14_14+X14_15+X14_16+X14_17+X14_18+X14_19+
X14_20<=1000
1000X14_11+X14_12+
X14_13+X14_14+X14_15+X14_16+X14_17+X14_18+X14_19+X14_20<=1000
1000X14_12+X14_13+X14_14+X14_15+
X14_16+X14_17+X14_18+X14_19+X14_20<=1000
1000X14_13+X14_14+X14_15+X14_16+X14_17+
X14_18+X14_19+X14_20<=1000
1000X14_14+X14_15+X14_16+X14_17+X14_18+
X14_19+X14_20<=1000
1000X14_15+X14_16+X14_17+X14_18+X14_19+
X14_20<=1000

1000X14_16+X14_17+X14_18+X14_19+X14_20<=1000
1000X14_17+X14_18+X14_19+X14_20<=1000
1000X14_18+X14_19+X14_20<=1000
1000X14_19+X14_20<=1000
1000X15_1+X15_2+X15_3+X15_4+X15_5+
X15_6+X15_7+X15_8+X15_9+X15_10+X15_11<=1000
1000X15_2+X15_3+X15_4+X15_5+X15_6+
X15_7+X15_8+X15_9+X15_10+X15_11+X15_12<=1000
1000X15_3+X15_4+X15_5+X15_6+X15_7+
X15_8+X15_9+X15_10+X15_11+X15_12+X15_13<=1000
1000X15_4+X15_5+X15_6+X15_7+X15_8+
X15_9+X15_10+X15_11+X15_12+X15_13+X15_14<=1000
1000X15_5+X15_6+X15_7+X15_8+X15_9+
X15_10+X15_11+X15_12+X15_13+X15_14+X15_15<=1000
1000X15_6+X15_7+X15_8+X15_9+X15_10+
X15_11+X15_12+X15_13+X15_14+X15_15+X15_16<=1000
1000X15_7+X15_8+X15_9+X15_10+X15_11+
X15_12+X15_13+X15_14+X15_15+X15_16+X15_17<=1000
1000X15_8+X15_9+X15_10+X15_11+X15_12+
X15_13+X15_14+X15_15+X15_16+X15_17+X15_18<=1000
1000X15_9+X15_10+X15_11+X15_12+
X15_13+X15_14+X15_15+X15_16+X15_17+X15_18+X15_19<=1000
1000X15_10+X15_11+X15_12+
X15_13+X15_14+X15_15+X15_16+X15_17+X15_18+X15_19+
X15_20<=1000
1000X15_11+X15_12+
X15_13+X15_14+X15_15+X15_16+X15_17+X15_18+X15_19+X15_20<=1000
1000X15_12+X15_13+X15_14+X15_15+
X15_16+X15_17+X15_18+X15_19+X15_20<=1000
1000X15_13+X15_14+X15_15+X15_16+X15_17+
X15_18+X15_19+X15_20<=1000
1000X15_14+X15_15+X15_16+X15_17+X15_18+
X15_19+X15_20<=1000
1000X15_15+X15_16+X15_17+X15_18+X15_19+
X15_20<=1000
1000X15_16+X15_17+X15_18+X15_19+X15_20<=1000
1000X15_17+X15_18+X15_19+X15_20<=1000
1000X15_18+X15_19+X15_20<=1000
1000X15_19+X15_20<=1000
1000X16_1+X16_2+X16_3+X16_4+X16_5+
X16_6+X16_7+X16_8+X16_9+X16_10+X16_11<=1000
1000X16_2+X16_3+X16_4+X16_5+X16_6+
X16_7+X16_8+X16_9+X16_10+X16_11+X16_12<=1000
1000X16_3+X16_4+X16_5+X16_6+X16_7+
X16_8+X16_9+X16_10+X16_11+X16_12+X16_13<=1000
1000X16_4+X16_5+X16_6+X16_7+X16_8+
X16_9+X16_10+X16_11+X16_12+X16_13+X16_14<=1000
1000X16_5+X16_6+X16_7+X16_8+X16_9+
X16_10+X16_11+X16_12+X16_13+X16_14+X16_15<=1000
1000X16_6+X16_7+X16_8+X16_9+X16_10+

X16_11+X16_12+X16_13+X16_14+X16_15+X16_16<=1000
1000X16_7+X16_8+X16_9+X16_10+X16_11+
X16_12+X16_13+X16_14+X16_15+X16_16+X16_17<=1000
1000X16_8+X16_9+X16_10+X16_11+X16_12+
X16_13+X16_14+X16_15+X16_16+X16_17+X16_18<=1000
1000X16_9+X16_10+X16_11+X16_12+
X16_13+X16_14+X16_15+X16_16+X16_17+X16_18+X16_19<=1000
1000X16_10+X16_11+X16_12+
X16_13+X16_14+X16_15+X16_16+X16_17+X16_18+X16_19+
X16_20<=1000
1000X16_11+X16_12+
X16_13+X16_14+X16_15+X16_16+X16_17+X16_18+X16_19+X16_20<=1000
1000X16_12+X16_13+X16_14+X16_15+
X16_16+X16_17+X16_18+X16_19+X16_20<=1000
1000X16_13+X16_14+X16_15+X16_16+X16_17+
X16_18+X16_19+X16_20<=1000
1000X16_14+X16_15+X16_16+X16_17+X16_18+
X16_19+X16_20<=1000
1000X16_15+X16_16+X16_17+X16_18+X16_19+
X16_20<=1000
1000X16_16+X16_17+X16_18+X16_19+X16_20<=1000
1000X16_17+X16_18+X16_19+X16_20<=1000
1000X16_18+X16_19+X16_20<=1000
1000X16_19+X16_20<=1000
1000X17_1+X17_2+X17_3+X17_4+X17_5+
X17_6+X17_7+X17_8+X17_9+X17_10+X17_11<=1000
1000X17_2+X17_3+X17_4+X17_5+X17_6+
X17_7+X17_8+X17_9+X17_10+X17_11+X17_12<=1000
1000X17_3+X17_4+X17_5+X17_6+X17_7+
X17_8+X17_9+X17_10+X17_11+X17_12+X17_13<=1000
1000X17_4+X17_5+X17_6+X17_7+X17_8+
X17_9+X17_10+X17_11+X17_12+X17_13+X17_14<=1000
1000X17_5+X17_6+X17_7+X17_8+X17_9+
X17_10+X17_11+X17_12+X17_13+X17_14+X17_15<=1000
1000X17_6+X17_7+X17_8+X17_9+X17_10+
X17_11+X17_12+X17_13+X17_14+X17_15+X17_16<=1000
1000X17_7+X17_8+X17_9+X17_10+X17_11+
X17_12+X17_13+X17_14+X17_15+X17_16+X17_17<=1000
1000X17_8+X17_9+X17_10+X17_11+X17_12+
X17_13+X17_14+X17_15+X17_16+X17_17+X17_18<=1000
1000X17_9+X17_10+X17_11+X17_12+
X17_13+X17_14+X17_15+X17_16+X17_17+X17_18+X17_19<=1000
1000X17_10+X17_11+X17_12+
X17_13+X17_14+X17_15+X17_16+X17_17+X17_18+X17_19+
X17_20<=1000
1000X17_11+X17_12+
X17_13+X17_14+X17_15+X17_16+X17_17+X17_18+X17_19+X17_20<=1000
1000X17_12+X17_13+X17_14+X17_15+
X17_16+X17_17+X17_18+X17_19+X17_20<=1000
1000X17_13+X17_14+X17_15+X17_16+X17_17+

```
X17_18+X17_19+X17_20<=1000
1000X17_14+X17_15+X17_16+X17_17+X17_18+
X17_19+X17_20<=1000
1000X17_15+X17_16+X17_17+X17_18+X17_19+
X17_20<=1000
1000X17_16+X17_17+X17_18+X17_19+X17_20<=1000
1000X17_17+X17_18+X17_19+X17_20<=1000
1000X17_18+X17_19+X17_20<=1000
1000X17_19+X17_20<=1000
1000X18_1+X18_2+X18_3+X18_4+X18_5+
X18_6+X18_7+X18_8+X18_9+X18_10+X18_11<=1000
1000X18_2+X18_3+X18_4+X18_5+X18_6+
X18_7+X18_8+X18_9+X18_10+X18_11+X18_12<=1000
1000X18_3+X18_4+X18_5+X18_6+X18_7+
X18_8+X18_9+X18_10+X18_11+X18_12+X18_13<=1000
1000X18_4+X18_5+X18_6+X18_7+X18_8+
X18_9+X18_10+X18_11+X18_12+X18_13+X18_14<=1000
1000X18_5+X18_6+X18_7+X18_8+X18_9+
X18_10+X18_11+X18_12+X18_13+X18_14+X18_15<=1000
1000X18_6+X18_7+X18_8+X18_9+X18_10+
X18_11+X18_12+X18_13+X18_14+X18_15+X18_16<=1000
1000X18_7+X18_8+X18_9+X18_10+X18_11+
X18_12+X18_13+X18_14+X18_15+X18_16+X18_17<=1000
1000X18_8+X18_9+X18_10+X18_11+X18_12+
X18_13+X18_14+X18_15+X18_16+X18_17+X18_18<=1000
1000X18_9+X18_10+X18_11+X18_12+
X18_13+X18_14+X18_15+X18_16+X18_17+X18_18+X18_19<=1000
1000X18_10+X18_11+X18_12+
X18_13+X18_14+X18_15+X18_16+X18_17+X18_18+X18_19+
X18_20<=1000
1000X18_11+X18_12+
X18_13+X18_14+X18_15+X18_16+X18_17+X18_18+X18_19+X18_20<=1000
1000X18_12+X18_13+X18_14+X18_15+
X18_16+X18_17+X18_18+X18_19+X18_20<=1000
1000X18_13+X18_14+X18_15+X18_16+X18_17+
X18_18+X18_19+X18_20<=1000
1000X18_14+X18_15+X18_16+X18_17+X18_18+
X18_19+X18_20<=1000
1000X18_15+X18_16+X18_17+X18_18+X18_19+
X18_20<=1000
1000X18_16+X18_17+X18_18+X18_19+X18_20<=1000
1000X18_17+X18_18+X18_19+X18_20<=1000
1000X18_18+X18_19+X18_20<=1000
1000X18_19+X18_20<=1000
end
Int 360
```

ANEXO 3

APRESENTAÇÃO DA AUTORA

Márcia Jussara Hepp Rehfeldt é licenciada em matemática, formada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e especialista em Educação Matemática pela Unisc –Universidade de Santa Cruz do Sul.

A autora atua em funções administrativas como coordenadora do Banco de dados Regional e coordenadora do processo seletivo de Vestibular da UNIVATES – Centro Universitário, desde agosto de 2001.

Atua também como professora na ECEG – Escola Cenecista de Ensino Médio General Canabarro, há 16 anos e na UNIVATES – Centro Universitário, localizado na cidade de Lajeado. Leciona disciplinas ligadas a área de matemática para diversos cursos, tais como: Administração, Ciências Contábeis, Comércio Exterior, Engenharia da Computação e Análise de Sistemas. É professora colaboradora do Laboratório de Ensino de Matemática, na mesma instituição.