

**APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA NA  
ORGANIZAÇÃO DE HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DE  
MÁQUINAS ELÉTRICAS NA INDÚSTRIA**

**ROGÉRIO MALTA BRANCO**

**APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA NA  
ORGANIZAÇÃO DE HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DE  
MÁQUINAS ELÉTRICAS NA INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências. Curso de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

**Orientador: Prof. Dr. Celso Carnieri**

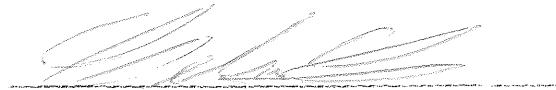
**Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Teresinha Arns Steiner**

**CURITIBA, 21 DE DEZEMBRO DE 2001.**

## **ROGÉRIO MALTA BRANCO**

### **APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA NA ORGANIZAÇÃO DE HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS NA INDÚSTRIA**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. Celso Carnieri  
Programa de Pós Graduação em Métodos  
Numéricos em Engenharia, UFPR



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Teresinha Arns Steiner  
Departamento de Matemática, UFPR



Prof. Dr. Vóldi Costa Zambenedetti  
Lactec e PUC/PR

**CURITIBA, 21 DE DEZEMBRO DE 2001**

A meus pais, irmãos e em especial a  
minha esposa Gislene e meu filho Guilherme

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, razão de minha vida, em especial a minha esposa Gislene e ao meu filho Guilherme, onde nos momentos de ausência e preocupação demonstraram seu amor, entendendo, apoiando e encorajando. Aos meus pais, Dílson e Zair, que como sempre não mediram esforços para ajudar na realização do trabalho, seja com informações, seja com carinho e palavras de fé. Aos meus amados irmãos Flávia e Dílson, e minha tia Zadir, por estarem sempre apoiando e perdoando a ausência.

Ao professor Celso Carnieri, pela orientação na realização deste trabalho, e principalmente companheirismo e amizade.

A professora Maria Teresinha Arns Steiner, pela co-orientação e apoio.

A todos os professores que se mostraram presentes, transmitindo seus conhecimentos durante o curso e desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas, pela amizade formada durante o curso, em especial aos amigos: Andréia, Janecler, Marcelo, Gilson, Donizeti, Margarida, Paulo César, que contribuíram para a realização deste trabalho.

A empresa Pescal S/A e aos seus funcionários, pela gentileza e presteza ao fornecer todos os dados utilizados neste trabalho.

A concessionária de energia CEEE-Rio Grande e seus funcionários, pelas valiosas ajudas no envio de todos os dados de consumo que a empresa pôde disponibilizar.

A todos os demais que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTAS DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTAS DE TABELAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS .....	4
1.1.1. Objetivo geral .....	4
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
1.2. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	4
1.3. LIMITAÇÕES DO TRBALHO.....	7
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	8
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>12</b>
<b>3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA REAL .....</b>	<b>12</b>
3.1. INTRODUÇÃO.....	12
3.2. OS PROCESSOS PRODUTIVOS DA EMPRESA .....	13
3.2.1. A fabricação do gelo.....	13
3.2.2. A sala de processamento.....	16
3.2.3. Ciclo da Amônia Anidra - Armazenagem, refrigeração e outros.....	16
3.2.4. Os grupos de manutenção.....	18
3.2.5. Estações elevatórias de água.....	19
3.2.6. Outros setores .....	19
3.3. O CONSUMO ENERGÉTICO DA EMPRESA.....	19
3.4. OS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA EMPRESA .....	22
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>25</b>
<b>4. ALGUMAS NOÇÕES SOBRE ENERGIA ELÉTRICA.....</b>	<b>25</b>
4.1. A ENERGIA ELÉTRICA .....	25
4.2. O POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO .....	25
4.3. DEFINIÇÕES IMPORTANTES SOBRE O CONSUMO ENERGÉTICO BRASILEIRO .....	27
4.3.1. Considerações sobre curvas de carga .....	27
4.3.1.1. O fator de demanda de energia .....	28
4.3.1.2. O fator de carga.....	29
4.4. O FATOR DE POTÊNCIA .....	33
4.5. A CLASSIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES .....	35
4.6. OS CONTROLADORES DE DEMANDA.....	36
4.7. O SISTEMA TARIFÁRIO BRASILEIRO .....	37
4.7.1. Tarifação Convencional.....	37
4.7.2. Tarifação Horo-sazonal .....	38
4.7.3. A medição, segundo a concessionária.....	41
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>42</b>
<b>5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>42</b>

5.1. INTRODUÇÃO.....	42
5.2. O PROBLEMA DE PLI NO AJUSTE DE CARGAS .....	42
5.2.1. Função objetivo .....	43
5.2.2. Restrições.....	44
5.2.2.1. Restrição de unicidade de alocação .....	44
5.2.2.2. Restrição de demanda máxima permitida .....	45
5.2.2.3. Restrição de início de intervalo.....	45
5.2.2.4. Restrição de simultaneidade .....	46
5.2.2.5. Restrição de continuidade .....	47
5.2.2.6. Restrição de exclusividade.....	47
5.2.2.7. Restrição de semidependência .....	48
5.2.2.8. Restrição de semidependência com tempo mínimo .....	49
5.2.2.9. Restrição de semicontinuidade .....	49
5.2.2.10. Restrição de semicontinuidade com tempo mínimo .....	50
5.3. EXEMPLOS DE FORMULAÇÃO DE PROBLEMA DE PLI .....	51
5.3.1. Exemplo 1: A função objetivo e as restrições de unicidade de alocação .....	52
5.3.2. Exemplo 2: As restrições de demanda máxima.....	53
5.3.3. Exemplo 3: As restrições de intervalo de partida .....	54
5.3.4. Exemplo 4: As restrições de simultaneidade.....	55
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>58</b>
<b>6. APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>58</b>
6.1. INTRODUÇÃO.....	58
<b>CAPÍTULO VII .....</b>	<b>61</b>
<b>7. ANÁLISE DOS RESULTADOS, CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>61</b>
7.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	61
7.2. CONCLUSÕES.....	67
7.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	70
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE I: EXEMPLO DE MELHORIA DO FATOR DE CARGA, MANTENDO PRODUÇÃO .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE II: RELAÇÕES ÚTEIS NO CÁLCULO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO I: RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DA EMPRESA .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO II: RELAÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO DE CARGAS POR PROCESSOS PRODUTIVOS .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO III: RESULTADOS OBTIDOS COM O USO DO LINGO 6.0 .....</b>	<b>85</b>

## LISTAS DE FIGURAS

<b>FIGURA 3.1-</b> COMPRESSORES EMPREGADOS NA FABRICAÇÃO DO GELO (CG1 E CG2) .....	13
<b>FIGURA 3.2 –</b> MÁQUINAS DE FABRICAÇÃO DE GELO (MGI,2 E 3).....	14
<b>FIGURA 3.3 –</b> MOTOR DO CONJUNTO HELICOIDAL DO SÍLO (H1).....	15
<b>FIGURA 3.4 –</b> (A) SISTEMA HELICOIDAL MÓVEL PARA CONDUÇÃO DE GELO (H2) E (B) SOPRADOR DE GELO (S1).....	15
<b>FIGURA 3.5 –</b> (A) DIAGRAMA PRESSÃO-ENTALPIA DO CICLO PADRÃO DE COMPRESSÃO A VAPOR; (B) ESQUEMA DO CICLO (STOECKER, 1985) .....	17
<b>FIGURA 3.6 -</b> TELAS DO SOFTWARE VISGRAPH 1.2, ESTUDO EM REGIME DAS CURVAS DE CARGA DIÁRIAS, EM INTERVALOS DE 15 MIN. ....	21
<b>FIGURA 4.1 -</b> EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DE UMA CURVA DE CARGA.....	28
<b>FIGURA 4.2 -</b> EXEMPLO DE GRÁFICO DE DEMANDA X HORAS DIÁRIAS DE UMA DADA PLANTA EM REGIME DE TRABALHO, DISTINGUINDO DEMANDA EM HORÁRIO DE PONTA (VERMELHO) E FORA DE PONTA (AZUL). .....	29
<b>FIGURA 4.3 –</b> GRÁFICO REPRESENTANDO O TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS E RELAÇÃO ENTRE POTÊNCIAS QUE FUNDAMENTA O FATOR DE POTÊNCIA. ....	34
<b>FIGURA 4.4 -</b> GRÁFICO DE FATOR DE POTÊNCIA X TEMPO, PARA SISTEMA EM REGIME.....	35
<b>FIGURA 6.1 -</b> FLUXOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO .....	58
<b>FIGURA 7.1 –</b> GRÁFICO DO USO DE CARGAS ELÉTRICAS PELA EMPRESA, SEGUNDO SOLUÇÃO ENCONTRADA PARA OS DIAS ÚTEIS, TARIFA VERDE.....	64
<b>FIGURA 7.2 –</b> GRÁFICO DO USO DE CARGAS ELÉTRICAS PELA EMPRESA, SEGUNDO SOLUÇÃO ENCONTRADA PARA OS FINAIS DE SEMANA E FERIADOS, TARIFA VERDE. ....	64

## LISTAS DE TABELAS

<b>TABELA 3.1 - DADOS OBTIDOS DAS ÚLTIMAS CONTAS DE ENERGIA ELÉTRICA DA EMPRESA.....</b>	<b>20</b>
<b>TABELA 3.2 - DADOS DO FATOR DE CARGA PERCENTUAL E PREÇO MÉDIO UNITÁRIO .....</b>	<b>21</b>
<b>TABELA 3.3 – SÍNTESE DAS TABELAS APRESENTADAS EM ANEXO 2, RELACIONANDO NOME DO GRUPO NO PROCESSO PRODUTIVO E POTÊNCIA (EM KW).....</b>	<b>22</b>
<b>TABELA 3.4 – SÍNTESE DOS DADOS A SEREM INSERIDOS NO <i>GERALINDO 1.1</i> PARA FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO. ....</b>	<b>23</b>
<b>TABELA 7.1 – PERÍODOS DE PARTIDA ENCONTRADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO PARA OS DIAS ÚTEIS, NA TARIFAÇÃO VERDE.....</b>	<b>63</b>
<b>TABELA 7.2 – PERÍODOS DE PARTIDA ENCONTRADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO PARA OS DIAS DE FINAIS DE SEMANA E FERIADOS, NA TARIFAÇÃO VERDE.....</b>	<b>63</b>
<b>TABELA 7.2 – PERÍODOS DE PARTIDA ENCONTRADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO PARA OS DIAS DE FINAIS DE SEMANA E FERIADOS, NA TARIFAÇÃO VERDE (CONTINUAÇÃO).....</b>	<b>63</b>
<b>TABELA 7.3 – DADOS DE CONSUMO OBTIDOS NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS .....</b>	<b>65</b>
<b>TABELA 7.4 – RESUMO DOS DADOS OBTIDOS NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS.....</b>	<b>65</b>
<b>TABELA 7.5 – COMPARAÇÃO DOS DADOS DO QUADRIMESTRE COM OS OBTIDOS NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS PROPOSTOS .....</b>	<b>66</b>
<b>TABELA A.2 – RELAÇÕES DE CONSERVAÇÃO X EFEITOS .....</b>	<b>76</b>
<b>TABELA AN1.1 – CARGAS PRESENTES NA SALA DE MÁQUINAS.....</b>	<b>77</b>
<b>TABELA AN1.2 – CARGAS PRESENTES NOS TÚNEIS DE CONGELAMENTO .....</b>	<b>78</b>
<b>TABELA AN1.3 – CARGAS PRESENTES NAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS .....</b>	<b>78</b>
<b>TABELA AN1.4 – CARGAS PRESENTES NA SALA DE BENEFICIAMENTO DE PESCADO, OU, SALA FRIA .....</b>	<b>78</b>
<b>TABELA AN1.5 – CARGAS PRESENTES NO PRÉDIO DE FABRICAÇÃO E ARMAZENAGEM DE GELO .....</b>	<b>78</b>
<b>TABELA AN1.6 – CARGAS DO PRÉDIO DAS MANUTENÇÕES MECÂNICA E MACENARIA .....</b>	<b>79</b>
<b>TABELA AN1.7 – CARGAS PRÓXIMAS DA CAIXA D'ÁGUA E SALA DE MÁQUINAS.....</b>	<b>79</b>
<b>TABELA AN1.8 – CARGAS PRESENTES NA EM TODA A EMPRESA, GARANTINDO A ILUMINAÇÃO.....</b>	<b>79</b>
<b>TABELA AN1.9 – CARGAS NO PÍER DE CARGA DE GELO E DESCARGA DE PESCADO .....</b>	<b>80</b>
<b>TABELA AN1.10 – CARGAS PRESENTES NA TORRE DE RESFRIAMENTO .....</b>	<b>80</b>
<b>TABELA AN1.11 – CARGAS PRESENTES NA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA.....</b>	<b>81</b>
<b>TABELA AN2.1 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>FABRICAÇÃO DE GELO</i> .....</b>	<b>82</b>
<b>TABELA AN2.2 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>TRANSBORDO DE GELO 1</i> .....</b>	<b>82</b>
<b>TABELA AN2.3 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>TRANSBORDO DE GELO 2</i> .....</b>	<b>82</b>
<b>TABELA AN2.4 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>SALA FRIA/TRATAMENTO DE PESCADO</i>.....</b>	<b>82</b>
<b>TABELA AN2.5 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>REFRIGERAÇÃO/ARMAZENAGEM 1</i> .....</b>	<b>83</b>
<b>TABELA AN2.6 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>REFRIGERAÇÃO/ARMAZENAGEM 2</i> .....</b>	<b>83</b>
<b>TABELA AN2.7 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>ESTAÇÃO. ELEVATÓRIA DE ÁGUA POTÁVEL</i>.....</b>	<b>84</b>
<b>TABELA AN2.8 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>ESTAÇÃO. ELEVATÓRIA DE ÁGUA INDUSTRIAL</i> .....</b>	<b>84</b>
<b>TABELA AN2.9 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>MANUTENÇÃO MECÂNICA</i> .....</b>	<b>84</b>

<b>TABELA AN2.10 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO <i>MANUTENÇÃO MARCENARIA</i></b> .....	84
<b>TABELA AN3.1 – ESCALA DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DURANTE AS HORAS DO DIA, PARA OS DIAS ÚTEIS</b> .....	86
<b>TABELA AN3.2 – ESCALA DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DURANTE AS HORAS DO DIA, PARA OS FINAIS DE SEMANA E FERIADOS (CONTINUA).....</b>	87
<b>TABELA AN3.2 – ESCALA DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DURANTE AS HORAS DO DIA, PARA OS FINAIS DE SEMANA E FERIADOS (CONCLUSÃO).....</b>	88
<b>TABELA AN3.3 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE-DIAS ÚTEIS (CONTINUA) .....</b>	89
<b>TABELA AN3.3 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE-DIAS ÚTEIS (CONCLUSÃO).....</b>	89
<b>TABELA AN3.4 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE- FINS SEMANA E FERIADOS (CONTINUA).....</b>	90
<b>TABELA AN3.4 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE-FINS SEMANA E FERIADOS (CONCLUSÃO).....</b>	90

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado um modelo computacional baseado na Programação Linear Inteira Binária (PLIB), representando um determinado sistema consumidor de energia elétrica.

Com o objetivo de minimizar a parcela de consumo energético do custo de produção de uma empresa, utiliza-se a tarifa diferenciada de energia elétrica, bem como a aplicação do remanejamento de cargas elétricas e a homogeneização da demanda de potência, evitando assim gastos adicionais causados por eventuais ultrapassagens destas demandas em relação àquelas estabelecidas por contrato com a concessionária de energia.

Para a aplicação do modelo, a indústria é dividida em processos e são estabelecidas as relações de dependência, continuidade e exclusividade entre eles. Tais vínculos irão garantir, entre outros, a criação das restrições do problema proposto. Entretanto, no tocante a função objetivo do problema, são considerados para sua composição os custos de energia e demandas pertinentes a cada processo, permitindo associar ainda os custos com a mão-de-obra.

O processo envolvendo a PLIB é solucionado com o *software* Lingo 6.0 e obtém-se os horários de funcionamento de cada processo, o que permite o agendamento de cada tarefa, de acordo com as horas do dia.

Para testes do modelo, a empresa Pescal S/A, localizada na cidade de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, permitiu utilizar suas instalações como objeto de estudo, permitindo obter os dados necessários e a geração do estudo proposto.

## ABSTRACT

In this work a computational model based on the Binary Linear Integer Programming (BLIP) is introduced, representing a certain consuming system of electric power.

With the objective of minimizing the cost of energy consumption portion in the production process of a company, a differentiated tariff of electric power is used, as well as the displacement of electric loads and the homogenization of power demand, avoiding extra costs due to eventual overshoots of these demands in relation to those established by contract with the concessionary of energy.

For the model application, the industry is divided in processes and then, the dependence relationships, continuity and exclusiveness among them are established. Such entails will guarantee, among other, the proposed problem's restrictions creation. However, concerning problem's objective function, are considered for your composition, the energy costs and pertinent demands to each process, allowing to still associate the costs with the labor.

The process involving BLIP is solved with the software Lingo 6.0 and it is obtained the schedules of each operation process, what allows the schedule of each task, in agreement with the hours of the day.

In model tests, the company Pescal S/A, located in the city of Rio Grande, in the state of Rio Grande do Sul, allowed to use their facilities as study object, allowing to obtain the necessary data and the generation of the proposed study.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica, uma das maiores e mais importantes descobertas da humanidade, apresenta-se na atualidade como insumo indispensável, haja visto o grau de importância que assume no crescente processo de automação das atividades do homem.

Tal importância é notória, e quando há imprevistos que causem faltas no seu fornecimento, ainda que sejam temporários, acabam por gerar situações incômodas ou até desastrosas.

Uma vez que o homem tem se utilizado cada vez mais deste recurso em seus processos, observa-se que, se sua demanda (consumo) crescer mais que a oferta (geração de energia), situações de falta tornar-se-ão mais eminentes.

Nota-se que este tipo de situação está cada vez mais susceptível de ocorrer, principalmente com o constante risco de “apagões” a que o Brasil tem sido assolado. Tentar discutir os motivos para o que vem ocorrendo neste início de século XXI não é fácil, pois são diversos os causadores desta crise que desponta. No entanto, não é intenção deste trabalho, gerar discussões sobre as causas que levam a estas crises de energia no país, mas sim proporcionar meios de colaborar para reduzi-las, baseado na parcela de responsabilidade que o consumidor de energia tem.

Esta não é uma proposta singular. Diversos programas, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), por exemplo, vêm promovendo a conservação de energia no país. Estes programas são importantes, pois buscam minimizar o desperdício de energia e assim, garantem a conservação de diversos recursos naturais, que estão envolvidos direta e indiretamente na geração desta energia.

É claro que a crise energética não depende somente dos consumidores. É preciso que o governo federal busque medidas de promover a criação de novas usinas de energia, seja

promovendo subsídios às pequenas centrais hidrelétricas, - no Brasil, o potencial hidroelétrico é 95% do total disponível – seja a implantação de usinas. Sabe-se que um, entre os diversos projetos já existentes de implantação de termelétricas baseadas em gás natural, já foi finalizado no Rio Grande do Sul.

Sabe-se que a energia elétrica, para ser obtida, deve advir de uma transformação, onde posteriormente será transmitida para os consumidores por meio das linhas de transmissão. Dois pontos são importantes aqui. O primeiro está vinculado à geração, que necessita de elementos de transformação, enquanto o segundo está vinculado à transmissão da energia produzida.

Desta forma, aliado à geração, normalmente associa-se à água, que gira a turbina, que por sua vez move o eixo do gerador e garante a energia na linha de transmissão. Entretanto não é somente a água o único recurso natural empregado na geração de energia. Pode-se empregar o gás natural, o carvão mineral, materiais radioativos e outros, nas diferentes centrais termelétricas existentes. Assim, pode-se observar mais claramente porque a conservação é importante. Não é só por preservar os reservatórios de água a fim de que possamos dispor de energia em outros períodos do ano, mas sim garantir que estes reservatórios não sejam ampliados para no outro ano terem mais capacidade. O simples fato de ampliá-lo irá comprometer o habitat de diversas espécies de animais e plantas que existem em áreas a serem inundadas.

Quanto às linhas de transmissão é importante saber que uma empresa concessionária de energia deve garantir a entrega de seu produto com qualidade ao consumidor. Contudo, sabe-se que os horários definidos como de ponta são os períodos do dia onde maior parte de energia é exigida pelos consumidores. Assim, para que as concessionárias possam garantir tal qualidade, é preciso que os consumidores venham a homogeneizar sua característica de consumo, minimizando tais picos de consumo nestas horas. Se isso acontecer de forma mais eficiente, será possível transmitir energia com mais qualidade, sem prejuízos para os consumidores.

No que tange à competitividade, GUPTA E CAWTON (1996) consideram que o

maior desafio para as pequenas e médias empresas é continuar apresentando produtos inovadores e otimizados, empregando as melhores tecnologias disponíveis. Contudo, incrementos nas competições implicam em redução do ciclo de vida dos produtos, bem como promovem o aumento da sua complexidade. É neste ponto que se justificam técnicas que ofereçam armas, empregadas por este tipo de empresas, no combate a esta crescente competição. Em outras palavras, uma pequena ou média empresa, que disputa no mundo guiado pela tecnologia, poderá aprimorar sua performance ao utilizar-se de técnicas como um trunfo para realizar suas operações estratégicas.

E onde entra a conservação energética na disputa por mercado, em uma economia globalizada? Em maior instância está a qualidade aplicada, haja visto que o principal foco da qualidade total – *Total Quality Control (TQC)* - é a redução de desperdícios, sejam de tempo ou de recursos. Sabe-se que um produto que é desenvolvido da mesma forma, mas com um valor agregado de energia elétrica menor, certamente torna-se mais competitivo que o anteriormente produzido, pela mesma empresa.

Assim, apresenta-se uma proposta de estudos sobre a otimização de processos produtivos sob a ótica do uso da energia, com um ensaio que promove a homogeneidade deste consumo e seu uso mais racional.

A Programação Linear Inteira é de suma importância neste estudo, pois é com ela que se promove a modelagem do problema na forma matemática. Aliado a ela, o uso de sistemas comerciais para sua solução é outro ponto importante, pois permite que as empresas venham a adquirir maior interesse na aplicação de Pesquisa Operacional na busca de sistemas mais otimizados.

Contudo, buscar uma otimização mais efetiva no dia a dia da empresa e não tomar os cuidados obrigatórios com o meio ambiente e com o homem simplesmente garante que a empresa está fadada ao fracasso no mercado, pois cedo ou tarde, os prejuízos causados por estes abandonos irão suplantar os superficiais benefícios até então obtidos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

Apresentar uma técnica de minimização dos custos de produção de uma empresa, atuando exclusivamente sobre a parcela de custos com energia elétrica, ou seja, sobre os gastos com demanda de potência contratada e com consumo de energia. Tal técnica é fundamentada em uma política de tarifas diferenciadas e no remanejamento de cargas elétricas.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Obter um modelo que permita um gerenciamento energético por parte dos consumidores, levando em consideração as cargas elétricas instaladas, as necessidades de uso das referidas cargas e as tarifas diferenciadas de energia;
- Promover a aplicação da Programação Matemática, mais precisamente a Programação Linear Inteira (PLI), na demanda de potência diária da indústria. Com os resultados obtidos por *software* comercial, é possível avaliar o melhor modelo tarifário e os melhores valores de demanda de potência à serem definidos em contrato com a concessionária de energia.

## 1.2. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A necessidade de novas fontes geradoras de energia elétrica no Brasil, como vem sendo constatado há alguns anos, é eminente, contudo não basta apontar falhas em planos políticos de concretização destas soluções. Após diversos indícios e resultados de pesquisas

apontarem para crises energéticas no final do século XX e anos posteriores é importante salientar que não basta aguardar por melhores explorações dos potenciais energéticos oferecidos no Brasil. É fundamental que o consumidor tenha consciência do seu papel social.

Assim, proporcionar técnicas de melhor aproveitamento energético é fundamental para favorecer estas atitudes. O PROCEL é um exemplo de programa governamental criado para promover tal conscientização. Entretanto, estas iniciativas não devem ser tomadas somente na esfera governamental, mas que seja uma preocupação de cada consumidor brasileiro, seja o cidadão, seja a empresa, haja visto que a produção energética baseia-se em processos físicos que de forma ou outra interferem no meio ambiente e nos recursos naturais, propriedades de toda humanidade.

Um exemplo desta influência da produção de energia elétrica no meio ambiente está no fato da criação de represas de água, indispensáveis para as usinas hidrelétricas, mas que acabam por promover a inundação de certas regiões, afetando o habitat de diversas espécies, reduzindo ou eliminando áreas de mata nativa, de plantio para consumo ou cultura de árvores para outras indústrias, sem mencionar áreas para pecuária e até comunidades ou cidades.

As demais formas de geração de energia também podem causar danos ao meio ambiente. As usinas de energia termelétricas que utilizam gás natural, necessitam de água limpa e portanto de proximidade de mananciais, podendo colocar em risco a qualidade da água do mesmo, bem como do ar, em caso de vazamento do gasoduto, não só nas proximidades da usina, mas por onde ele passe, caso não haja um cuidado e preocupação por parte do homem. Da mesma forma, o extrativismo de carvão mineral, nas termelétricas que o processam, se não controlado, poderá causar danos irreparáveis ao solo.

Sabe-se que a energia elétrica é de importância incontestável para a humanidade, e cuidados com o meio ambiente são igualmente necessários, logo anular os danos ou minimiza-los ao máximo é papel fundamental do homem.

Segundo o CONSELHO MUNDIAL DE ENERGIA (1998), o Brasil tem como maior potencial elétrico, o hídrico. Assim, a conforme proposto em AGÊNCIA NACIONAL DE

ENERGIA ELÉTRICA (1988), tem-se introduzido o conceito de horários horo-sazonais, que levam em consideração os horários do dia e os períodos do ano, além de proporcionar um uso mais racional da energia elétrica, mediante custos diferenciados.

Em sua análise, CARDOSO E KOO (1981) atentam que as empresas concessionárias devem fornecer a energia contratada sob qualquer situação, contudo, normalmente entre as 17 e 22 horas, ocorrem as maiores demandas de energia na transmissão. Tais horários denominam-se “horários de ponta”, e os demais, “horários fora de ponta”. Quanto ao período do ano, existem o úmido e o seco. Definido em AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (1988), o primeiro, é o período do ano em que ocorrem mais chuvas, e, portanto os reservatórios estão com maior quantidade disponível de água, implicando maior reserva energia elétrica. O segundo período, o seco, apresenta menor quantidade de água nas represas e reservatórios.

O sistema de tarifação horo-sazonal apresenta, portanto uma diferenciação de custos para energia nos horários de maior demanda de energia, bem como para o período do ano com menos disponibilidade de água nos reservatórios. Esta penalização dos horários e períodos mais críticos, tenta impor um uso mais equilibrado da energia elétrica, bem como estabelecer uma redução do impacto ambiental, pois as capacidades energéticas poderão ser melhor aproveitadas.

As empresas, de uma maneira geral, têm efetivado contratos de tarifas horo-sazonais com a concessionária de energia, mas muitas delas esperam que somente esta atitude reduza seus custos com energia elétrica, sem muitas vezes sequer lembrar do porquê da existência de tais tarifas. É importante salientar que utilizar estas modalidades tarifárias sem a devida adequação das atividades pode ser muito oneroso para a empresa. É preciso estabelecer uma relação eficiente entre os dois lados da questão. Para tanto, é imprescindível dispor de uma análise detalhada do processo produtivo e dos equipamentos empregados. Do processo serão registradas suas principais características e necessidades funcionais, e dos equipamentos, suas capacidades, potências, demandas e outros dados pertinentes.

O emprego da Programação Linear Inteira torna-se fundamental, pois servirá para

dispor da melhor relação entre o sistema tarifário escolhido e o processo produtivo, com suas características de horários de funcionamento e particularidades das cargas envolvidas.

Como algumas possibilidades podem ser levantadas, é pertinente observar qual dos modelos tarifários horo-sazonais é mais eficiente. Desenvolvida uma análise os resultados é possível definir qual é a melhor opção.

É neste panorama, permeado por investigação, análise e busca por uma maior preocupação com o uso dos recursos naturais, uma melhor qualidade de serviços e um menor valor agregado ao produto - maior competitividade - que é lançada à proposta de estudos sobre a melhoria do uso da energia elétrica nas empresas.

A possibilidade de poder colaborar com a otimização de um processo produtivo, visando preservar o meio ambiente e garantir um melhor emprego dos recursos naturais e tecnologia é papel fundamental do homem.

### 1.3. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho apresenta limitações, uma vez que busca solucionar o Problema de Programação Matemática de forma exata. Assim, problemas que apresentem um número muito maior de variáveis binárias – maior número de processos ou maior número de partidas por processo, ou ainda um maior número de períodos por dia – podem ter sua solução comprometida, necessitando de uma abordagem por métodos aproximados, como as heurísticas, haja visto ser um problema NP-árduo.

Outra limitação, de menor importância, refere-se ao sistema de solução do Problema. Basicamente não se utilizou um *software* integrado para as formulações e posterior busca de soluções. A formulação foi feita com um programa desenvolvido em Delphi 5.0, e a solução é gerada com uso de *software* comercial, como o Lingo 6.0.

#### 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, além desta introdução.

No segundo capítulo a revisão da literatura vem fundamentada em trabalhos relacionados ao problema abordado.

O terceiro capítulo destina-se a descrição real do problema, detalhando as instalações da empresa e seus processos produtivos.

O quarto capítulo dedica-se a introduzir conceitos básicos sobre a energia elétrica, desde enfoques mais técnicos até a situação de reservas e consumo deste insumo no país.

A forma como é apresentado o Problema de PLI e sua ligação com a situação real é tratada no quinto capítulo.

O sexto capítulo trata da metodologia geral de solução do problema em foco, organizando as etapas de trabalho.

É no sétimo capítulo que se reúnem os resultados, as análises e conclusões. Ainda podem ser observadas algumas sugestões para futuros trabalhos.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo faz referência a alguns trabalhos relacionados ao problema abordado nesta pesquisa: designar o funcionamento de equipamentos, em determinadas horas do dia, respeitando as exigências do processo produtivo.

O processo de otimizar um sistema quanto ao uso, e consequentemente, quanto ao custo da energia elétrica tarifada está diretamente ligado ao processo de remanejamento do uso de cargas bem como da mão-de-obra que atua nestas cargas. Em se tratando de análise destes fatores, aliados à demanda contratada e aos tipos de contrato efetuados, pode-se tratar a situação apresentada como sendo um problema de alocação de recursos.

Dentro da Pesquisa Operacional, o emprego da Programação Linear é uma técnica eficiente para a resolução de diversos problemas de características, evidentemente lineares, visando fundamentalmente encontrar uma melhor solução dentre todas as possíveis. A tarefa da Programação Linear consiste na otimização (maximização ou minimização) de uma função linear, denominada função-objetivo, respeitando um conjunto de equações e, ou, inequações lineares que recebem o nome de restrições.

Em alguns casos específicos de alocação de recursos, as variáveis envolvidas no problema devem restringir-se a valores inteiros, o que representa um Problema de PLI. Segundo SALKIN (1975), usando-se métodos de Programação Linear em problemas de Programação Inteira, sem restrições de integralidade das variáveis, podem ser obtidas soluções aproximadas ou até mesmo inviáveis. Além disso, em alguns Problemas de PLI, onde todas as variáveis de decisão são restritas a assumir valores “um” ou “zero”, recebem o nome de “Problemas de Programação Inteira 0-1”. A variável recebe o valor “1” quando for usada ou estiver ativa na solução; caso contrário, recebe valor “0”.

Em associação ao problema que se propõe resolver, considerando-se que os períodos do dia (normalmente fracionado em 24 intervalos – períodos de 1 hora cada) podem ser

considerados como depósitos limitados em capacidade (demanda máxima), e os equipamentos a serem ligados, com suas capacidades de potência, podem ser associados a cargas, é possível também relacionar a situação atual com problemas de designação. Em seu trabalho, FISHER et al. (1986) salientam que os problemas de designação generalizados (denominados GAP – *Generalised Assignment Problems*) são problemas de otimização combinatória NP-árdos populares que envolvem a designação (alocação) de  $n$  tarefas para  $m$  agentes onde cada tarefa pode ser oferecida a apenas um único agente. Todas as tarefas devem ser distribuídas e os agentes ficam sujeitos às restrições de capacidade. O objetivo é, portanto, maximizar os lucros ou minimizar os custos da alocação das tarefas aos agentes. Tais problemas têm encontrado aplicação em diversas áreas, como as de roteamento de veículos, alocação de recursos (FOULDS E WILSON, 1997) entre outros.

Assim, dentro desta ótica é possível relacionar as  $n$  tarefas com os  $n$  processos, bem como os  $m$  agentes com os  $m$  intervalos em que é possível fracionar o dia ( $m = 24$  implica em períodos de 1 hora cada). Associa-se ainda o fato da unicidade de alocação de cada processo, que não pode ser, a priori, iniciado duas vezes. No caso de isto ser necessário, será preciso criar tantas variáveis quantas forem as partidas de cada processo, além de restrições que garantam que não haja coincidência de funcionamento, por de tratar do mesmo processo.

De acordo com HIGGINS (2001), devido à propriedade NP-árdua dos problemas GAP, as soluções ótimas só poderão ser encontradas se os problemas forem de pequeno porte. Para problemas de médio porte (aproximadamente 200 tarefas), por exemplo, são indicadas as heurísticas de relaxação, como a Lagrangeana.

DREES e WILHELM (2001) também abordam a questão do NP-árduo como classificação para os problemas de *scheduling* complexos e atentam para o fato de que com isso as heurísticas são tipicamente empregadas para solucionar problemas práticos desta categoria. É importante considerar a questão levantada por FEO et al. (1996), no que tange ao uso de algoritmos gulosos. Mais atrativos por prometerem tempos computacionais curtos na execução, eles não garantem, contudo desempenho comparável ao da solução ótima.

CHU e BEASLEY (1996) utilizam algoritmos genéticos para encontrar a solução em

problemas do tipo GAP com mais de 200 tarefas e 20 agentes.

Com intuito semelhante, HIGGINS (2001) propõe uma heurística baseada na Busca Tabu, aplicada a grandes problemas (500.000 tarefas e 400 agentes).

Usualmente, problemas práticos de *scheduling* são resolvidos com o uso de heurísticas simples, como já mencionado. Alguns destes problemas, contudo, não são passíveis de solução pelos métodos “padrão”, os quais não se adaptam com o grupo de características associadas aos requisitos do problema. Com base nisto, DREES e WILHELM (2001) fundamentaram suas aproximações em problemas de Programação Inteira Mista e em sistemas comerciais para solucionar seu problema de *scheduling* de experimentos em um reator nuclear. O sistema comercial foi escolhido por suplantar os correntes métodos manuais de solução de *scheduling*.

Já CARDOSO e KOO (1981) tratam de um problema, que em essência é muito próximo do encontrado por DREES e WILHELM (2001), todavia mostra-se mais compatível com a situação de organização dos funcionamentos dos equipamentos elétricos em indústrias.

## CAPÍTULO III

### 3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA REAL

#### 3.1. INTRODUÇÃO

No Brasil, dentro do universo de indústrias existentes na área de beneficiamento direto de matérias-primas, encontram-se um número considerável de empresas que dedicam seus processos produtivos ao processamento de pescado.

É neste contexto que está inserida a indústria de pescados Pescal S/A. Localizada na cidade de Rio Grande, na planície costeira sul do estado do Rio Grande do Sul, atua no setor de beneficiamento de pescado por mais de meio século. Dispõe de uma instalação privilegiada, esta indústria permite gerar estudos completos, ante a complexidade de eventos que nela ocorrem cotidianamente.

Os seus processos produtivos compreendem a recepção do pescado, sua classificação, limpeza, armazenagem, embalagem, dentre outros, a serem abordados, mais adiante, com mais detalhes.

Como em qualquer processo, produção demanda energia e mão-de-obra. Sabe-se ainda que um produto é o reflexo de seu processo produtivo, ou seja, se o processo é custoso, o produto terá menor aceitação no mercado em detrimento de um semelhante que apresente processo menos oneroso, haja visto que os custos são repassados ao preço final. É importante salientar também que a qualidade é fator primordial para qualquer produto que disputa um mercado consumidor.

Assim sendo, ter qualidade aplicada no processo é também saber empregar os recursos de forma sensata, sem desperdícios. Desta forma proporciona-se um produto final mais competitivo e um processo produtivo mais equilibrado.

## 3.2. OS PROCESSOS PRODUTIVOS DA EMPRESA

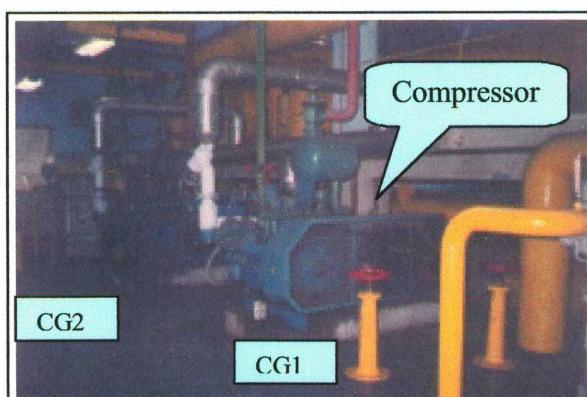
É fundamental, para o desenvolvimento do trabalho de otimização, conhecer o processo antes de qualquer estudo e atitude mais incisiva, logo se parte para a identificação e descrição funcionais dos principais setores produtivos dentro da empresa de beneficiamento de pescado, de acordo com os tópicos subseqüentes.

### 3.2.1. A fabricação do gelo

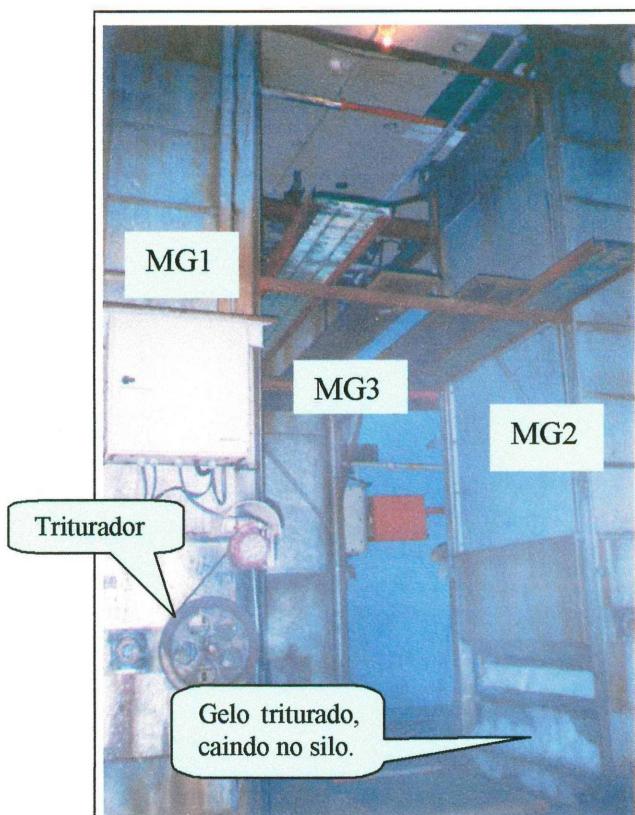
O gelo é de suma importância para uma fábrica de pescado, uma vez que tem a propriedade de manter a matéria-prima em condições próprias para consumo. Assim, diversas fábricas que beneficiam pescado têm setores de fabricação de gelo, devido a sua importância indiscutível no processo em questão. Quando não é produzido, o gelo é, inevitavelmente, comprado de outras empresas.

A produção do gelo é um processo independente das etapas de tratamento do pescado, haja visto que para a armazenagem (túneis de congelamento e câmaras frias) e aclimatação das salas de processamento é empregado um circuito (de transporte de calor) que tem a amônia como elemento principal.

A Pescal S/A pode, a plena produção, obter e armazenar diariamente, 86 toneladas. Basicamente, o processo envolve o uso de dois compressores e três máquinas de fabricação, conforme observa-se na Figura 3.1 e 3.2, respectivamente.



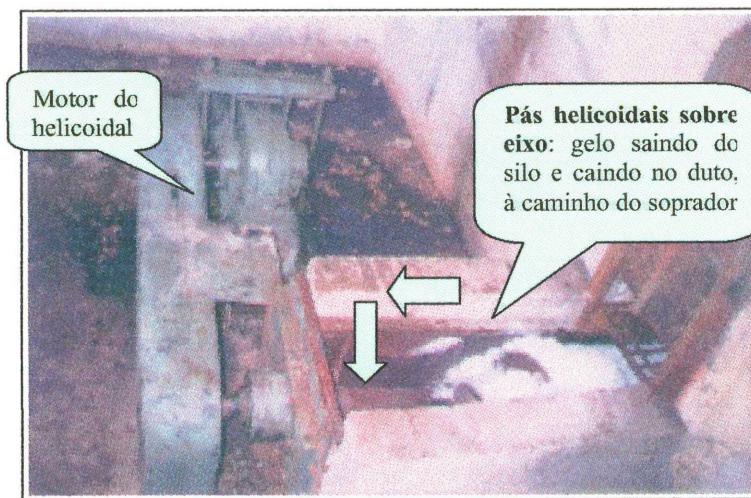
**FIGURA 3.1- COMPRESSORES EMPREGADOS NA FABRICAÇÃO DO GELO (CG1 E CG2)**



**FIGURA 3.2 – MÁQUINAS DE FABRICAÇÃO DE GELO (MG1,2 E 3)**

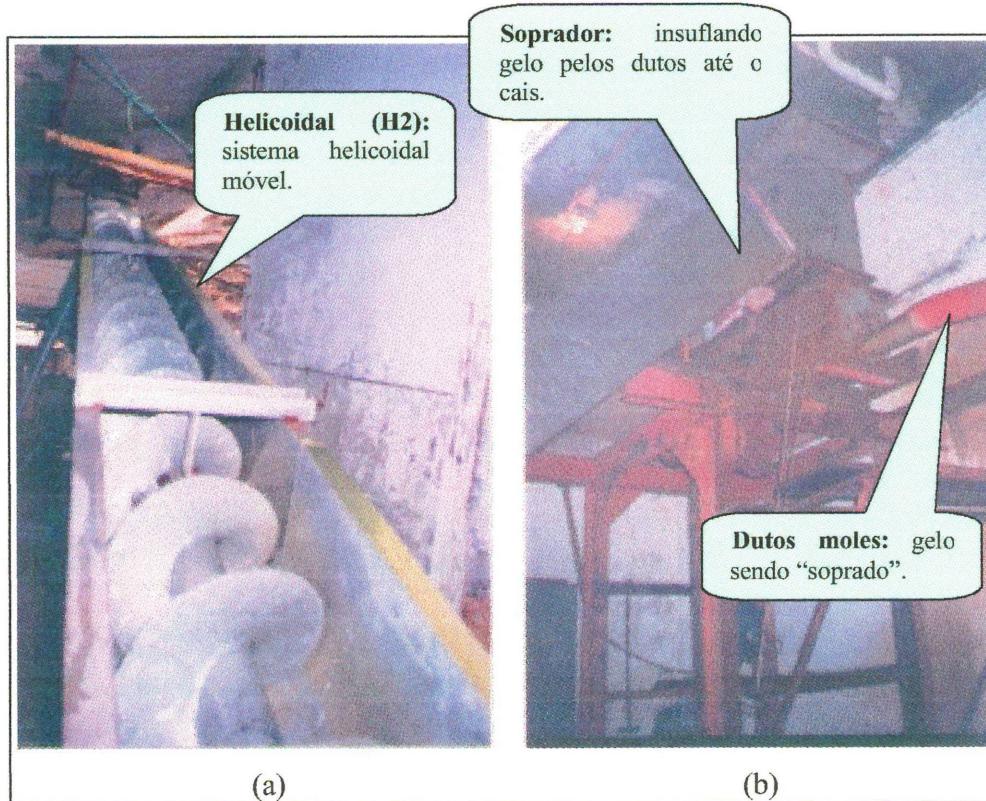
O processo de fabricação do gelo é bem simples: tubos de metal são banhados por água potável corrente. Ao circular amônia fria pelos tubos, esta água congela quase que instantaneamente. Garantindo-se um tempo de espera certo, é insuflado na mesma tubulação onde antes circulou gás frio, agora gás em temperatura superior a ambiente, provocando o descolamento dos tubos de gelo criados ao redor dos de metal. Ao caírem, são imediatamente triturados por rotores laminados. Os fragmentos de gelo são movidos gravitacionalmente para o silo. Neste, a acomodação correta é feita por profissionais, em determinadas horas do dia.

A retirada de gelo do silo é feita mediante um eixo composto de pá helicoidal, como mostra a Figura 3.3, removendo-o para um duto que por gravidade faz com que o gelo chegue até um equipamento que o impulsiona com ar, visto na Figura 3.4 e denominado **soprador de gelo**. Por meio deste, o gelo pode seguir por meio de tubos moles até o cais, abastecendo barcos de pesca.



**FIGURA 3.3 – MOTOR DO CONJUNTO HELICOIDAL DO SILO (H1)**

Através deste sistema, tanto os barcos da empresa como outros barcos de pesca, abastecem-se deste produto com a finalidade de manter a matéria-prima adquirida na pesca. Os barcos que não pertencem a empresa compram gelo para tal finalidade. O gelo é também vendido para outras empresas que não o produzem.



**FIGURA 3.4 – (A) SISTEMA HELICOIDAL MÓVEL PARA CONDUÇÃO DE GELO (H2) E (B) SOPRADOR DE GELO (S1).**

Dentre as principais características dos equipamentos envolvidos no processo de fabricação do gelo, alguns apresentam particularidades de funcionamento devido ao processo em si, que para bom entendimento e modelagem serão abordados.

### 3.2.2. A sala de processamento

É neste ambiente que são processados os pescados que dão entrada na fábrica. Ela deve ter a temperatura controlada para que não exceda determinados limites máximos, garantindo assim a qualidade do produto para consumo.

O processamento restringe-se na preparação do pescado para estocagem e isto depende do tipo de peixe que tem ingresso no setor.

De uma maneira geral, o sistema de ar condicionado deste ambiente só é acionado quando necessário. Durante o levantamento dos dados para o problema da empresa, o equipamento de ar condicionado referido não foi acionado, contudo nos períodos mais quentes tem seu uso mais freqüente.

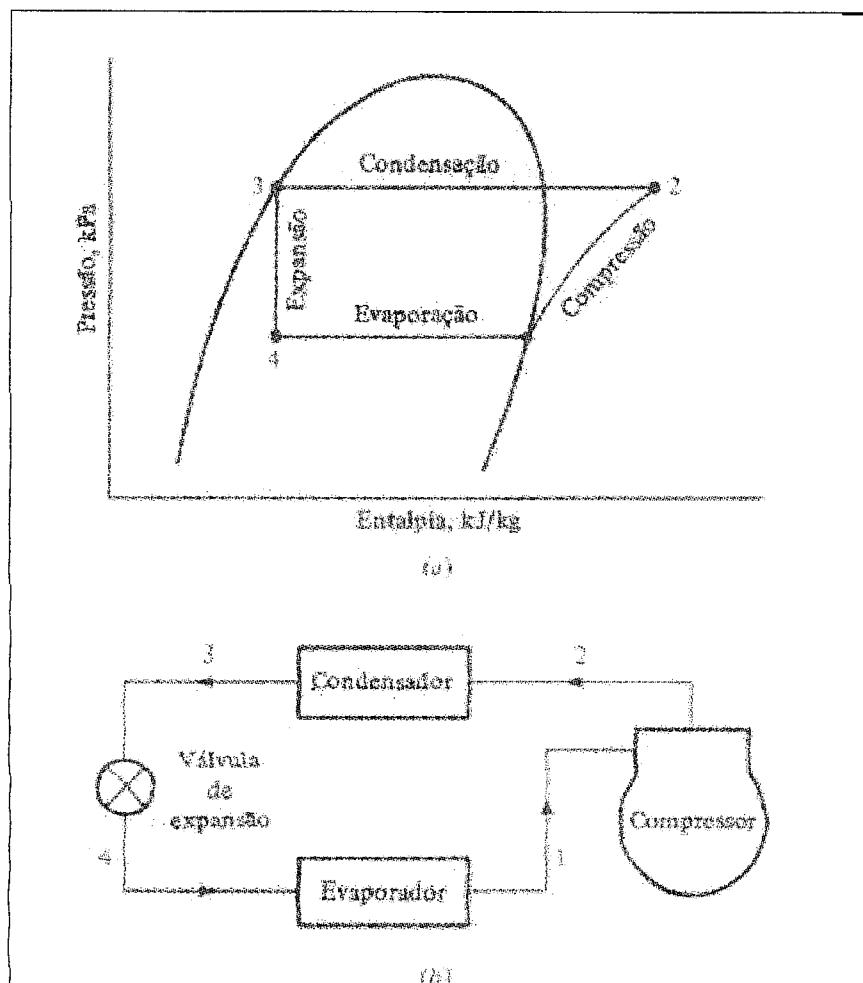
### 3.2.3. Ciclo da Amônia Anidra - Armazenagem, refrigeração e outros.

De forma sucinta, pode-se descrever o processo de refrigeração de uma empresa como sendo um circuito, ou ciclo, de líquido refrigerante que devido às suas propriedades físicas permite o “transporte de calor”.

Segundo STOECKER (1985), a maioria dos sistemas de resfriamento opera com substâncias que mudam da fase líquido para a fase vapor e vice-versa durante um ciclo completo. Dentre estas substâncias, as mais comuns são a água e os refrigerantes.

Na indústria em questão, a substância empregada é a amônia-anidra (amônia isenta de moléculas de água).

A pressão, a temperatura e a entalpia são propriedades físicas importantes para um estudo mais aprofundado do processo de refrigeração, mas como o intuito não é o de projetar ou remodelar as instalações, segue-se para a Figura 3.5, que mostra um diagrama pressão-entalpia e um esquema ilustrativo do processo apontado pelo diagrama.



**FIGURA 3.5 – (A) DIAGRAMA PRESSÃO-ENTALPIA DO CICLO PADRÃO DE COMPRESSÃO A VAPOR; (B) ESQUEMA DO CICLO (STOECKER, 1985)**

Acompanhando a figura, pode-se notar que, como a variação de entalpia é igual ao calor adicionado ou removido em um processo à pressão constante, o processo de compressão ( $1 \rightarrow 2$ ) eleva a pressão e causa variação de entalpia ( $h_1-h_2$ ) negativa, ou seja, o refrigerante absorve calor.

O **condensador** tem a função, no ciclo de refrigeração em questão, de rejeitar calor para o ambiente. Nele, o calor é transferido do refrigerante (amônia-anidra) para o ambiente,

constatado isso pela Figura 3.5(a) no processo 2→3, haja visto que a variação entálpica  $h_2-h_3$  é positiva, acusando rejeição de calor do refrigerante.

A **válvula de expansão** tem a função de reduzir a pressão do refrigerante líquido e regular a vazão do refrigerante que entra no evaporador. Presente no processo (3 → 4), conforme mostra a Figura 3.5, não ocorrem variações de entalpia, apenas há a expansão do fluído, perdendo pressão.

O **evaporador**, assim como o **condensador**, é um elemento no ciclo de refrigeração com a função de trocar calor. Observa-se na Figura 3.5 (a) que ocorre uma variação negativa de entalpia ( $h_4-h_1$ ), indicando tal absorção de calor por parte do refrigerante. Ao absorver calor, o refrigerante expande-se, assumindo o estado gasoso (localiza-se no meio onde deseja-se retirar calor: câmaras frigoríficas ou túneis de congelamento).

Por se tratar de um resumo do processo de refrigeração, alguns equipamentos não foram mencionados no ciclo abordado até então. Contudo, por apresentar melhor eficiência, a empresa utiliza-se de outros equipamentos em acréscimo ao que já foi dito: o **depósito de líquido** armazena a amônia anidra comprimida, a ser usada no processo de refrigeração; o **condensador evaporativo** e também a **torre de resfriamento de água dos condensadores**, onde a amônia é resfriada e condensada, ou seja, retorna a forma líquida inicial do processo, sendo encaminhada para o **depósito de líquido** novamente.

Em uma instalação industrial existe ainda uma série de outros equipamentos que dão suporte a este ciclo, como **separadores de líquido**, situados entre o evaporador e o compressor frigorífico, o **eliminador de ar do sistema**, etc...

### 3.2.4. Os grupos de manutenção

Em qualquer indústria, existem funcionários envolvidos na manutenção dos sistemas. Em linhas gerais, suas funções apóiam-se sobre as atividades de manutenção mecânica e elétrica, bem como hidráulica e marcenaria. Em especial as atividades de hidráulica são

atendidas pelo setor de mecânica.

### 3.2.5. Estações elevatórias de água

O reservatório de água da industria em questão é subdividido em água potável e água industrial, sendo que a água potável tem maior reserva. A capacidade de água potável é de  $233m^3$ , enquanto o de água industrial tem capacidade para  $200m^3$ .

De acordo com o departamento técnico da indústria, o consumo estimado pelo mesmo, de água potável, é de  $300m^3$ /dia. Da mesma forma, referente à água industrial, o consumo é de  $150m^3$ /dia.

Obteve-se ainda os dados de vazão das bombas de água, tanto potável quanto industrial, que é da ordem de  $75m^3/h$ . Assim, conclui-se que são necessárias de 4 a 5 horas/dia para manter o nível e/ou consumir água potável ( $300m^3/75m^3/h = 4$  horas) e 2 a 3 horas/dia para a mesma situação referente à água industrial ( $200m^3/75m^3/h = 2,67$  horas).

### 3.2.6. Outros setores

É importante salientar que os setores anteriormente elucidados não são os únicos presentes na empresa, contudo os demais mostram-se pouco influentes no que tange ao consumo energético. Em outras palavras, são sutis as intervenções destes, no panorama em que se encontra o consumo energético da empresa.

## 3.3. O CONSUMO ENERGÉTICO DA EMPRESA

O processo de análise da utilização da energia elétrica contratada entre empresa e concessionária pode definir além do faturamento final (custo final), a forma como esta energia está sendo empregada e se o contrato está de acordo com o modo de utilização em vigor da contratante. Assim, diversas ferramentas podem ser envolvidas para verificar tal utilização,

sendo as mais acessíveis: as últimas tarifas de energia elétrica, ou ainda, as memórias de massa dos últimos períodos de medição.

De posse das últimas faturas de energia elétrica da empresa, pode-se observar o comportamento da mesma quanto ao consumo energético e também a forma de contrato aplicado entre empresa e concessionária (envolvendo formas de faturamento, demandas contratadas, valores de tarifas entre outros).

Quanto às memórias de massa, são todas as medições de potência ativa, reativa e aparente, bem como fator de potência, organizadas em intervalos de 15 minutos, ou integralizadas em horas, durante todos os dias em que ocorreram medições. São registradas ainda as horas em que ocorreram faltas de energia. Basicamente, estes dados são mensurados e armazenados pelo próprio medidor da concessionária, de onde são coletados a cada mês, ou período de medição, e posteriormente fundamentarão a conta de energia elétrica, a ser paga pela empresa contratante à concessionária.

Desta forma, todos os dados de utilização da energia elétrica pela empresa, são melhores explicados pelas memórias de massa, uma vez que estas darão existência às contas de energia elétrica, exceto pelo fato das últimas apresentarem melhor facilidade de acesso, pois as memórias de massa são fornecidas em forma de arquivo, pela concessionária, quando solicitadas.

Os dados obtidos na análise dos últimos meses de contas de energia elétrica foram organizados em forma de tabela para análise, como se pode observar na Tabela 3.1, devendo-se salientar que os valores de fatura de contrato com a concessionária estão descontados de ICMS.

Data	Tipo de Período	Demanda Contratada (kW)		Consumo (kWh)		Fatura Contrato (R\$)
		FP	P	FP	P	
19/09/01	Seco	740	50	343548	1148	31376,54
20/08/01	Seco	740	50	270594	1708	25559,25
19/07/01	Seco	740	50	261765	1283	24579,85
20/06/01	Seco	740	50	256500	1486	24204,24

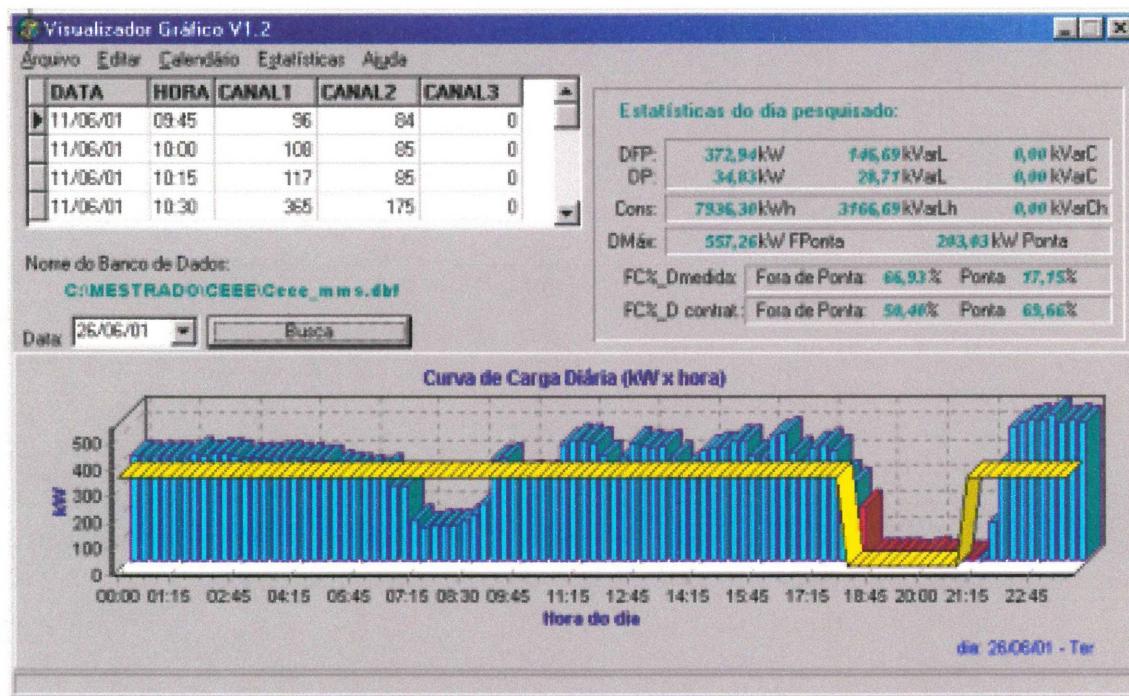
**TABELA 3.1 - DADOS OBTIDOS DAS ÚLTIMAS CONTAS DE ENERGIA ELÉTRICA DA EMPRESA**

Na Tabela 3.2 encontram-se organizados os dados calculados com base na Tabela 3.1, de Preço Médio Unitário e Fator de Carga Percentual, que facilitam a análise de consumo de energia da empresa.

Data	Fator de Carga (FC)		PMU (R\$/kWh)	
	FP	P	FP	P
19/09/01	0,69920	0,34790	0,08347	1,09047
20/08/01	0,55070	0,51760	0,08767	0,77978
19/07/01	0,53270	0,38880	0,08834	0,99078
20/06/01	0,52200	0,45030	0,08876	0,87497
<b>Média</b>	<b>0,57615</b>	<b>0,42615</b>	<b>0,08706</b>	<b>0,93399</b>

**TABELA 3.2 - DADOS DO FATOR DE CARGA PERCENTUAL E PREÇO MÉDIO UNITÁRIO**

Os dados obtidos através da concessionária e oriundos dos registros feitos pelo sistema de medição, em intervalos de 15 minutos, são denominados **memória de massa**. Com estes pode-se observar as curvas de consumo diário, com consumos a cada 15 minutos, o que é interessante quando se necessita estudar o consumo em dado dia ou período. Para tanto, desenvolveu-se um *software*, denominado *Visgraph 1.2*, visto na Figura 3.6.



**FIGURA 3.6 - TELAS DO SOFTWARE VISGRAPH 1.2, ESTUDO EM REGIME DAS CURVAS DE CARGA DIÁRIAS, EM INTERVALOS DE 15 MIN.**

O *software* permite “ler” os arquivos fornecidos pela concessionária (formato dBase III+) e representa-los graficamente, além de fornecer médias, mínimos e máximos de consumo, além do Fator de Carga Média no período abrangido, bem como as médias e os máximos de demanda e o Fator de Carga diário.

Tal geração de gráficos é importante quando se deseja observar as curvas de carga diárias, em regime real de trabalho, sem a necessidade de cálculos mais detalhados.

### 3.4. OS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA EMPRESA

Diversos são os equipamentos de origem elétrica que funcionam em processos dentro de uma empresa. Desta forma é preciso enumerá-los para uma posterior classificação em grupos de cargas, o que vem a facilitar o trabalho de aplicação do Problema de PLI proposto.

Os equipamentos utilizados pela empresa devem ser formatados em tabelas, informando, entre outras coisas, a potência ativa (em kW), o fator de potência (sempre que possível), a tensão de operação, a duração de operação diária e observações quanto ao funcionamento vinculado a outras máquinas elétricas, ou processos. É interessante a designação de nomes para cada uma das máquinas a fim de melhor identificá-las no processo.

A Tabela 3.3 reúne as principais cargas existentes na empresa estudada, sendo uma síntese das tabelas apresentadas nos Anexos 1 e 2, conforme a execução da seqüência definida no fluxograma da Figura 5.1.

Nome do Processo	Potência do grupo (kW)	Observações
Fabricação de Gelo	163,60	-
Transbordo de gelo 1	58,98	-
Transbordo de gelo 2	6,40	-
Sala Fria/Trat. Pescado	0,00	Desativada
Refrig./Armaz. 1 (NH3)	325,14	-
Refrig./Armaz. 2 (Túneis cong.)	51,21	Opera somente se NH3 operar
Água Potável	13,33	-
Água Industrial	13,33	-
Manut. Mecânica	11,25	Eventualmente (não considerada)
Manut. Marcenaria	11,16	Eventualmente (não considerada)

**TABELA 3.3 – SÍNTESE DAS TABELAS APRESENTADAS EM ANEXO 2, RELACIONANDO NOME DO GRUPO NO PROCESSO PRODUTIVO E POTÊNCIA (EM KW).**

É importante dispor, também, dos horários de funcionamento dos equipamentos nos dias úteis e finais de semana (e feriados), haja visto que tais informações irão “alimentar” o Problema de PLI já mencionado. Estes horários foram disponibilizados pela empresa, com base em seus relatórios do quadrimestre em questão (período anual relatado na Tabela 3.1) e estão descritos nas tabelas do Anexo 2. Muitos destes horários foram calculados, conforme informações da empresa (departamento técnico), com base na produção no período.

Um exemplo de estimativa de horas trabalhadas relativas a um processo é a razão do total produzido no período avaliado pela sua capacidade de produção, desde que conhecidos tais valores. A empresa utiliza-se deste método para fornecer as horas trabalhadas pelo processo *Fabricação de Gelo*, porém informou apenas a média de horas pedida.

Assim, a Tabela 3.4 irá dispor dos dados da empresa a serem inseridos no Problema de PLI proposto neste capítulo. Tais dados estão dispostos em função da potência de cada grupo e organizados quanto ao dia da semana, uma vez que existirão duas propostas básicas: finais de semana (e feriados) e dias úteis. Após, serão repassados para o programa **Geralindo 1.1**, que gera um arquivo texto com a formulação do problema para cada proposta apresentada.

Nome do Processo	Potência (kW)	Finais de semana e feriados			Dias úteis	
		Num. Partidas	Observações	Num. Partidas	Observações	
Gelo	263,60	12	12x1P	11	11x1P	
Transbordo de gelo 1	58,98	-	-	4	2x1P (P8 a P17); 1x1P (P18 a P21); 1x1P (P8 a P21).	
Transbordo de gelo 2	6,40	-	-	2	2x1P (P8 a P22); 4x1P.	
NH3	325,14	16 <sup>*</sup>	16x1P	5 <sup>**</sup>	1x10P (P21 a P22); 4x1P.	
Túneis	51,21	11 <sup>*</sup>	11x1P	1 <sup>**</sup>	1x10P	
Água Potável	13,33	3	1x1P (P8 a P11); 1x1P (P14 a P20); 1x3P (P24 a P3).	3	1x1P (P8 a P11); 1x1P (P14 a P20); 1x3P (P24 a P3).	
Água Industrial	13,33	2	1x1P (P8 a P20); 1x2P (P24 a P5).	2	1x1P (P8 a P20); 1x2P (P24 a P5).	

OBS: A letra “P” nas colunas pertinentes as observações significa período do dia, equivalente a uma hora. Quando seguida de um número equivale a dizer o período ou hora a ser iniciado o processo:

(\*) Estabelecido vínculo de simultaneidade entre os processos assinalados;

(\*\*) Estabelecido vínculo de simultaneidade entre os processos assinalados.

**TABELA 3.4 – SÍNTESE DOS DADOS A SEREM INSERIDOS NO GERALINDO 1.1 PARA FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO.**

Desenvolvido com o intuito de gerar arquivos com a formulação do Problema de PLI em questão, o software **Geralindo 1.1** permite salvar tais formulações na extensão LTX, padrão do software **Lindo 5.0** ou superior. O software **Lingo 6.0**, mais versátil e completo que o **Lindo 5.0**, também o é na importação de arquivos, permitindo a leitura e conversão destes dados fornecidos pelo **Geralindo 1.1** para seu padrão de formatação, justificando a escolha de gerar arquivos neste formato.

Antes de efetuar-se a solução dos problemas propostos uma observação deve ser feita: devem ser gerados dois modelos para cada modalidade de tarifação horo-sazonal, a fim de avaliar-se qual se apresenta como o mais eficiente.

Estabelecida a seqüência de geração do problema e posterior importação pelo **Lingo 6.0** para solucioná-lo, são gerados dois problemas para cada tarifação horo-sazonal elegível, conforme mencionado anteriormente: o primeiro com as características de funcionamento dos equipamentos elétricos para uso nos finais de semana e feriados; o segundo, com as características de funcionamento para os dias úteis. Os dois problemas se justificam, pois nos finais de semana e feriados não existem horários de ponta, ao contrário dos dias úteis, como pode ser visto no Capítulo IV.

Estando cada problema gerado e importado para o software que irá efetuar a solução, parte-se agora por estudar os resultados a serem obtidos nesta fase, abordados no próximo capítulo.

## CAPÍTULO IV

### 4. ALGUMAS NOÇÕES SOBRE ENERGIA ELÉTRICA

#### 4.1. A ENERGIA ELÉTRICA

Inicialmente, antecipando-se a qualquer outra definição ou análise, é preciso conceituar a energia, que é a capacidade de produzir trabalho. Como uma de suas diversas características, a energia pode, uma vez que se apresenta de diversas formas (térmica, mecânica, elétrica, química, atômica, etc...), transformar-se de uma para outra. É por esse motivo que freqüentemente vê-se a energia térmica ser convertida em energia mecânica (motores de explosão), energia química em energia elétrica (pilhas) entre outras. Contudo, na maioria das formas em que a energia se apresenta, ela não pode ser transportada, tendo de ser utilizada no mesmo local onde é produzida.

Entretanto, a energia elétrica vem a ser uma exceção a esta observação, podendo ser transportada sob a forma de corrente elétrica.

#### 4.2. O POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO

A utilização da energia hidráulica, envolvendo portanto, a energia cinética e potencial das águas, remontam muitos e muitos anos, já que desde sempre se instalaram dispositivos diversos nas margens e leitos de rios.

Foi, contudo, no século XIX que o aproveitamento dessa forma de energia se tornou mais atraente do ponto de vista econômico, pois com a invenção dos grupos turbinas-geradores de energia elétrica e a possibilidade do transporte de eletricidade a grandes distâncias, conseguiu-se obter elevado rendimento econômico desse aproveitamento.

Segundo MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2000), o Brasil tem os mais baixos índices do mundo em emissões atmosféricas decorrentes de combustíveis fósseis. Isto deve-se ao aproveitamento do potencial hidrelétrico, que permite o atendimento de aproximadamente 95% das necessidades de consumo de energia elétrica do país.

O predomínio do emprego da eletricidade advém, a rigor, do início do século XX, mas firmou-se em meados de 1950, com o atendimento do mercado por energia gerada em hidrelétricas. O MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2000) aponta que esta decisão de escolha na geração foi baseada em vantagens oferecidas, custos relativos às alternativas e na redução da dependência externa de combustíveis. Esta iniciativa foi reforçada pelas crises de petróleo que ocorreram na década de 70.

Houve, ainda, uma sutil participação e incentivo às usinas termoelétricas baseadas em energia nuclear e carvão mineral, mas, estando em concordância com o observado pelo MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2000), apenas agora, com a perspectiva de importação de gás natural, é que se proporcionará geração de energia elétrica a preços competitivos. Ocorre ainda que a expansão prevista para os próximos dez anos passará a contar com cerca de um terço de geração termelétrica, conforme indica o Plano Decenal 1998-2007, da Eletrobrás. O aproveitamento do potencial hidrelétrico (ainda restrito a 25% do total) deverá continuar, embora em proporção relativamente menor, dado que o aumento da demanda prevista resultará no concurso de todas as fontes de energia disponíveis para seu atendimento.

De acordo com o CONSELHO MUNDIAL DE ENERGIA (1998), o potencial hidrelétrico brasileiro estimado é da ordem de 263GW. Deste total, somente cerca de 62GW estão em operação. Assim, faz-se crer que apenas as fontes hidráulicas continuarão por desempenhar importante papel no atendimento à crescente demanda de energia elétrica, pelo menos ao longo das próximas décadas.

Existe, é claro, o esgotamento dos recursos mais próximos dos principais centros, o que acarreta a necessidade de longas linhas de transmissão de energia, que no Brasil implicam

em mais de 60.000Km em tensão acima de 230KV.

### 4.3. DEFINIÇÕES IMPORTANTES SOBRE O CONSUMO ENERGÉTICO BRASILEIRO

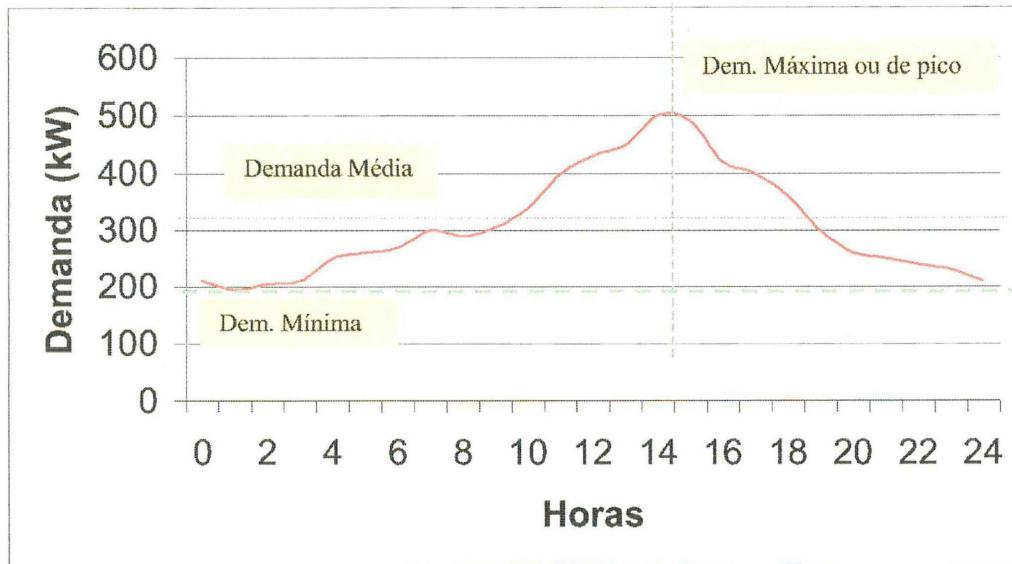
Alguns termos são utilizados pela legislação vigente para definir processos e métodos no que se refere à energia elétrica produzida e consumida no Brasil (e em outros países). Assim, serão abordadas tais considerações e definições para facilitar futuros entendimentos no que se refere aos processos existentes e os métodos a serem empregados, bem como suas fundamentações.

#### 4.3.1. Considerações sobre curvas de carga

Segundo MAMEDE (1995), a determinação correta dos pontos de uma curva de carga de uma dada planta industrial só é possível mediante o funcionamento em regime, onde poderão ser aplicados, por exemplo, registradores eletrônicos para armazenar tais dados de potência consumida. Contudo, uma aproximação é possível quando de posse das informações dos ciclos de operação dos diversos setores de produção, na tentativa de conformar a curva de demanda de carga em relação ao tempo, a fim de determinar uma série de fatores que auxiliarão no dimensionamento de vários componentes elétricos da instalação.

As curvas de carga de tais plantas industriais variam em função da coordenação das atividades dos diferentes setores de produção, bem como em relação ao período de funcionamento diário. No primeiro caso, o interesse é da gerência administrativa, mantendo controlado o valor da demanda de pico, a fim de diminuir o custo operacional da empresa. Isto é conseguido através de um estudo global das atividades de produção, deslocando-se a operação de certas máquinas para horários diferentes, diversificando-se, assim, as demandas das mesmas. O segundo caso, em geral, é fixado durante a concepção do projeto econômico (MAMEDE, 1995).

Na Figura 4.1, tem-se um exemplo de representação de uma curva de carga para uma planta industrial em regime de funcionamento de 24hs.



**FIGURA 4.1 - EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DE UMA CURVA DE CARGA**

Nos sub-itens a seguir, dispõe-se alguns termos que estão diretamente associados às curvas de carga.

#### 4.3.1.1. O fator de demanda de energia

O fator de demanda é a relação entre a máxima demanda de energia do sistema e a carga total conectada a ele, durante um intervalo de tempo considerado. A carga total conectada é a soma das potências nominais dos aparelhos consumidores de energia elétrica.

Este fator é usualmente menor que a unidade, uma vez que será unitário se a carga conectada total for ligada simultaneamente por um período suficientemente grande, tanto quanto for o intervalo de demanda.

A Eq. 4.1 mede, matematicamente, o valor do fator de demanda, que é adimensional.

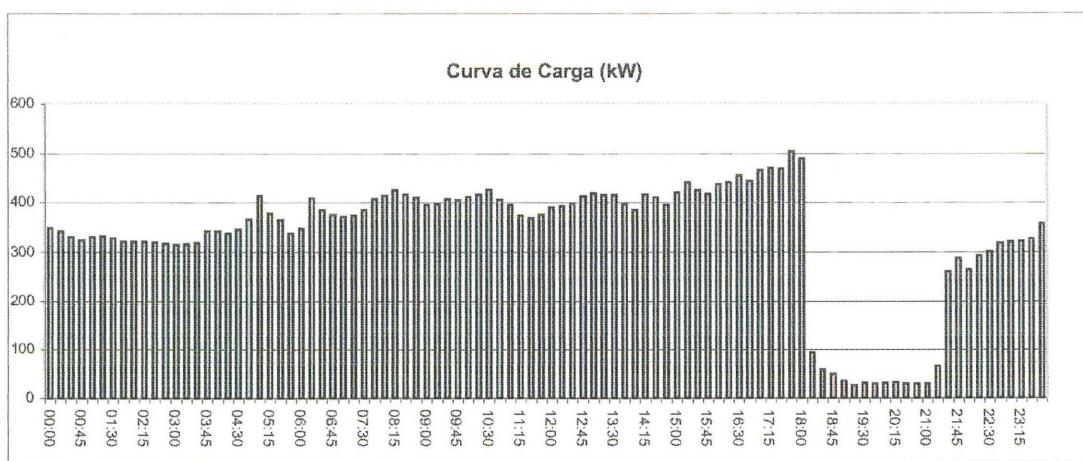
$$F_d = \frac{D_{\max}}{P_{inst}} \quad 4.1$$

Onde:

$D_{\max}$  = demanda máxima da instalação, em kW ou kVA;

$P_{\text{inst}}$  = potência da carga conectada, em kW ou kVA.

Na Figura 4.2 tem-se um exemplo de gráfico típico de demanda diária. Na ilustração, o horário fora de ponta é colorido em azul escuro, e o horário de ponta é destacado em vermelho.



**FIGURA 4.2 – EXEMPLO DE GRÁFICO DE DEMANDA X HORAS DIÁRIAS DE UMA DADA PLANTA EM REGIME DE TRABALHO, DISTINGUINDO DEMANDA EM HORÁRIO DE PONTA (VERMELHO) E FORA DE PONTA (AZUL).**

#### 4.3.1.2. O fator de carga

Basicamente, fator de carga é a razão entre a demanda média, durante um determinado intervalo de tempo, e a demanda máxima registrada no mesmo período sendo, portanto, sempre maior que zero e menor que a unidade.

O fator de carga, normalmente, refere-se ao período de carga diária, semanal, mensal e anual. Quanto maior o período de tempo ao qual se relaciona o fator de carga, menor é o seu valor; isto é, o fator de carga anual é menor que o mensal, que, por sua vez, é menor que o semanal, e assim, sucessivamente.

Desta forma observa-se que o fator de carga é, na verdade, um parâmetro que mede o

grau no qual a demanda máxima foi mantida durante o intervalo de tempo considerado; ou, ainda, mostra se a energia está sendo utilizada de forma racional por parte de uma determinada instalação.

MAMEDE (1995) menciona que manter um elevado fator de carga no sistema implica obter os seguintes benefícios:

- otimização dos investimentos da instalação elétrica;
- aproveitamento racional e aumento da vida útil da instalação elétrica, incluído os motores e equipamentos;
- redução do valor da demanda de pico.

Assim, pode-se calcular o fator de carga diário pela equação 4.2 e o mensal, pela equação 4.3.

$$F_{cd} = \frac{D_{média}}{D_{máxima}} \quad 4.2$$

$$F_{cd} = \frac{C_{kWh}}{Dt \cdot D_{máxima}} = \frac{C_{kWh}}{730 \cdot D_{máxima}} \quad 4.3$$

onde:

$C_{kWh}$  = consumo de energia elétrica durante período de tempo considerado;

$D_{máx}$  = demanda máxima do sistema para o mesmo período, em kW;

$D_{méd}$  = demanda média do período, calculada através de integração da curva de carga da Fig. 4.1, o que equivale ao valor do lado do retângulo de energia correspondente ao eixo da ordenada. A área do retângulo é numericamente igual ao consumo de energia do período.

$Dt = 730$  horas num mês de medição supondo 24 horas produtivas/dia (664 horas p/ período fora de ponta e 66 horas p/ período de ponta).

Com base no fator de carga mensal, pode-se calcular o preço médio pago pela energia consumida, ou seja:

$$P_{medio} = \frac{TD}{D_t \cdot D_{max}} + TC + ICMS = \frac{TD}{730 \cdot D_{max}} + TC + ICMS \quad 4.4$$

onde:

TD = tarifa de demanda de energia elétrica, em R\$/kW ou US\$/kW;

TC = tarifa de consumo de energia elétrica, em R\$/kWh ou US\$/kWh;

De acordo com MAMEDE (1995), dentre as práticas que merecem maior atenção num estudo global de economia de energia elétrica está a melhoria do fator de carga, que pode, simplificadamente, ser resumido em dois itens:

- conservar o consumo e reduzir a demanda → equalizar para baixo;
- conservar a demanda e aumentar o consumo → equalizar para cima.

Com a análise da equação 4.3, pode-se reconhecer as duas situações apresentadas. Cada uma delas tem uma aplicação típica. A primeira caracteriza-se como a mais comum, é peculiar àquelas indústrias que iniciam um programa de conservação de energia, mantendo a mesma quantidade do produto fabricado. Nesse ponto, dentro de qualquer produto fabricado, está contida uma parcela de energia elétrica, isto é, de kWh (energia consumida, e não demanda, que é em kW). Caso esta parcela seja significativa, reduzir este valor pode significar maior competitividade no mercado. Logo, mantida a produção, deve-se atuar sobre a redução de demanda, que pode ser obtida, com sucesso, através do deslocamento de operação de certas máquinas para outros intervalos de tempo de baixo consumo na curva de carga da instalação.

Isto requer, via de regra, alteração nos turnos de serviço e, algumas vezes, o dispêndio de adicionais na mão-de-obra, para atender legislação trabalhista vigente.

Uma segunda análise proposta por MAMEDE (1995) agora sob a ótica de determinada indústria que deseja implementar os seus planos de expansão e esteja limitada pelo

dimensionamento de algumas partes de suas instalações, tais como as unidades de transformação, barramentos, etc. Sem a necessidade de investir nesses setores, o empresário poderá aproveitar-se da formação de sua curva de carga e locar todo o seu novo empreendimento no intervalo de baixo consumo de suas atuais atividades, como mostra a Figura 4.2. Além da vantagem de não precisar investir na reforma de sua instalação, contribuirá significativamente com a melhoria de seu fator de carga, reduzindo substancialmente o preço da conta de energia cobrada pela concessionária.

Além das práticas citadas, para a melhoria do fator de carga, são usuais duas outras providências que dão excelentes resultados:

- **controle automático de demanda:** Metodologia que consiste em segregar certas cargas ou setores definidos e alimentá-los através de circuitos expressos, comandados por disjuntores controlados através de um dispositivo sensor de demanda, regulado para operar no desligamento destas cargas toda vez que a demanda atingir o valor máximo pré-determinado. Nem todas as cargas prestam-se para atingir este objetivo, pois não se recomenda que o processo produtivo seja afetado;
- **reprogramação da operação de cargas:** Metodologia que consiste no estabelecimento de horários de operação de máquinas de grande porte ou mesmo certos setores de produção, ou ainda, redistribuir o funcionamento destas cargas em períodos de menor consumo de energia elétrica.

Para a primeira providência citada acima, observa-se que as cargas mais comumentes selecionadas são:

- ar condicionado;
- estufas;
- fornos de alta temperatura;
- câmaras frigoríficas.

Tais cargas são escolhidas por dois motivos: a sua inércia térmica permite que sejam

desligadas por um tempo suficiente a fim de que outras cargas desenvolvam suas atividades essenciais, para logo em seguida pararem; por serem constituídas de grandes blocos de potência unitária, tornando-se facilmente controláveis.

Mesmo assim, é importante frisar que a sua seleção deve ser precedida de uma análise de consequências práticas resultantes deste método. Por exemplo, o desligamento da climatização de uma indústria têxtil por um tempo excessivo pode trazer sérias consequências quanto à qualidade da produção.

No tocante a segunda prática, tais providências podem ser impossíveis para determinadas indústrias, como aquelas que operam com fatores de carga elevado, tal como a indústria de cimento, porém perfeitamente factíveis para outros casos de plantas industriais.

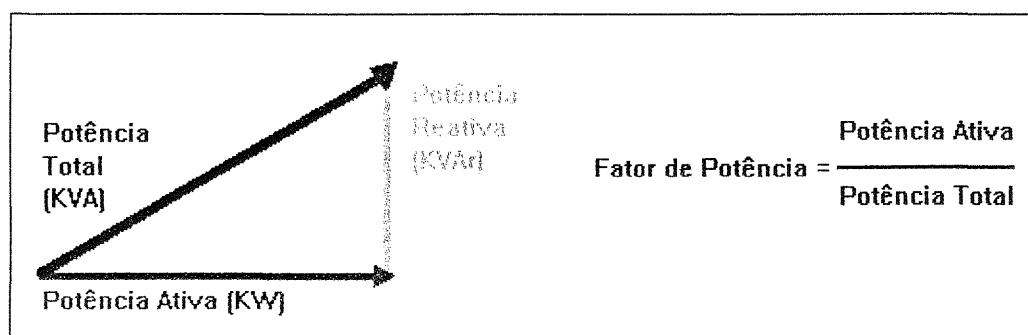
O controle automático de demanda, bem como a reprogramação de operação de cargas, são práticas já bastante conhecidas das indústrias, desde o início da implantação das tarifas especiais como a horo-sazonal.

Há instalações industriais onde praticamente toda carga instalada está simultaneamente em operação em regime normal, como é o caso de indústrias de fios e tecidos. No entanto, há outras indústrias em que há diversidade de operação entre diferentes setores de produção. É de fundamental importância considerar estas situações no dimensionamento dos equipamentos e aplicação de medidas corretivas relacionadas ao consumo e a demanda.

#### 4.4. O FATOR DE POTÊNCIA

O Fator de Potência envolve uma relação entre potência ativa e potência reativa: é a relação entre a potência ativa e potência total numa instalação, num intervalo de tempo. Como a maioria das cargas de uma instalação elétrica é indutiva, elas exigem um campo eletromagnético para funcionar. Com isso, uma instalação qualquer necessita de dois tipos de energia:

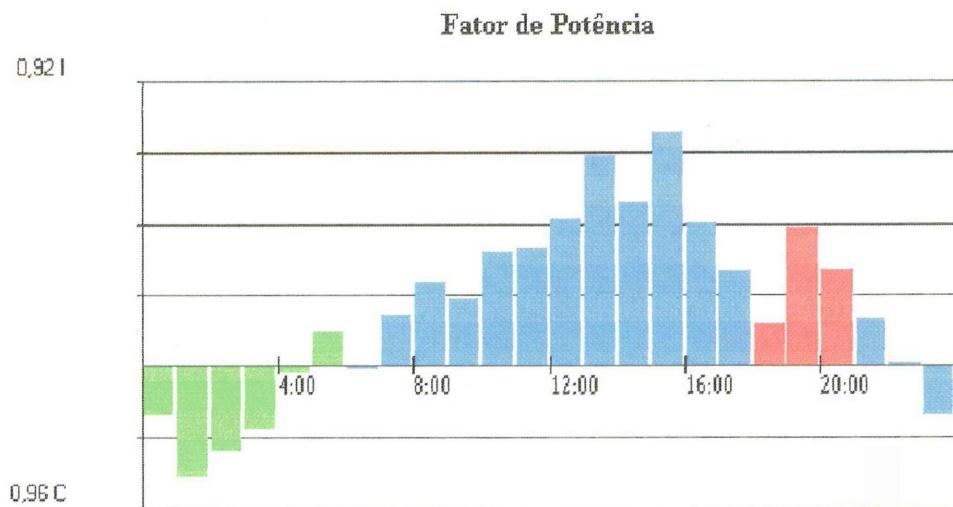
- **Potência Ativa:** realiza o trabalho propriamente dito, gerando calor, iluminação, movimento, etc., e é medida em KW.
- **Potência Reativa:** que mantém o campo eletromagnético, e é expressa em KVAR.
- **Potência Total ou Aparente:** é dada em KVA, e é a soma vetorial das potências ativa e reativa, como mostra a Figura 4.3 abaixo.



**FIGURA 4.3 – GRÁFICO REPRESENTANDO O TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS E RELAÇÃO ENTRE POTÊNCIAS QUE FUNDAMENTA O FATOR DE POTÊNCIA.**

O fator de potência é sempre um número entre zero e 1 (alguns o expressam entre zero e 100%) e pode ser capacitivo ou indutivo, dependendo se o consumo de energia reativa for capacitivo ou indutivo. Para faturamento de energia, o fator de potência é registrado de hora em hora.

A Figura 4.4 mostra um exemplo de gráfico de fator de potência diário. Na ilustração, o horário fora de ponta é colorido em azul, o horário de ponta é destacado em vermelho, e o horário capacitivo em verde. São também destacados os valores de fator de potência mínimos, assim como a hora em que ela se verificou.



Fonte: ENGECOMP (2000)

**FIGURA 4.4 - GRÁFICO DE FATOR DE POTÊNCIA X TEMPO, PARA SISTEMA EM REGIME.**

Assim como no caso da demanda, os mecanismos de tarifação levarão em conta o pior valor de fator de potência registrado ao longo do mês, dentre os mais de 700 valores registrados.

#### 4.5. A CLASSIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES

A energia elétrica pode ser cobrada de diversas maneiras, dependendo do enquadramento tarifário de cada consumidor.

De forma resumida, pode-se classificar os consumidores organizando-os em grupos, que de forma resumida poderão integrar o *Grupo A* ou *Grupo B*.

Basicamente, o *Grupo A* é formado por pequenas indústrias ou instalações comerciais, bem como grandes consumidores, alimentados em alta tensão. Já o *Grupo B* é formado por residências, iluminação pública, consumidores rurais, e todos os demais usuários alimentados em baixa tensão (abaixo de 600V).

A grande maioria das pequenas e médias empresas brasileira está enquadrada no Grupo A, onde existem dois tipos básicos de tarifação: convencional e horo-sazonal (azul ou verde). O *Grupo B* é tarifado apenas pelo sistema convencional.

#### 4.6. OS CONTROLADORES DE DEMANDA

Os controladores de demanda são equipamentos utilizados para efetuar a limitação de potência nos projetos de gerenciamento de carga implementados em unidades consumidoras, mencionados anteriormente.

O fato de controlar a demanda de energia é um investimento com retorno garantido no Brasil há mais de 20 anos. Por esta razão, este tipo de equipamento já existe há muito tempo, e sempre teve boa aceitação no mercado. Curiosamente, além do seu desenvolvimento normal, os controladores de demanda passaram a incorporar novas funções, como o controle de fator de potência, e de utilidades (ENGECOMP, 1999).

Basicamente, um controlador pode monitorar o comportamento da demanda e do fator de potência continuamente, fornecendo relatórios diários com tabelas e gráficos que permitem análise deste comportamento (mediante uso de software opcional, na maioria dos casos, de gerenciamento), e que possibilitam a adoção de medidas corretivas controlando-se assim, automaticamente, cargas e capacitores para impedir a ocorrência de multas.

Em termos gerais, um controlador de demanda apresenta a seguinte estrutura:

- ***entrada de dados:*** pulsos emitidos pelo medidor, utilizados pela concessionária para fazer os registros que servirão para o faturamento da energia; são os mesmos que o controlador utiliza para fazer os cálculos e controles. Isto torna o controle totalmente compatível com a medição. Os pulsos são recebidos por meio de uma placa eletrônica (círcuito eletrônico) especificamente desenvolvida para este fim;

- *cálculos:* a concessionária registra a demanda ativa consumida a cada 15 minutos, o chamado intervalo de integração, bem como a demanda reativa, em mesmo intervalo, ela também calcula o fator de potência médio da instalação em cada intervalo de uma hora, ao longo do mês. Já o controlador, realiza constantemente diversos cálculos que permitem alcançar um valor de demanda e fator de potência a cada intervalo de integração, dentro dos limites da legislação vigente, sem desligar cargas inutilmente, nem sobrecarregar os capacitores ou prejudicar a produção;
- *atuação:* O controlador atua sobre as cargas e sobre os capacitores obedecendo aos critérios definidos pelo usuário, e garante que a demanda e o fator de potência alcançados no final de cada intervalo estarão dentro do limite prefixado.

## 4.7. O SISTEMA TARIFÁRIO BRASILEIRO

É importante, também, ter-se conhecimento das formas de tarifação previstas em legislação vigente, pertinente a cada grupo e como devem ser aplicadas pelas concessionárias, aos consumidores.

De forma geral, existem duas formas de tarifação, sendo elas: tarifação convencional e horo-sazonal.

### 4.7.1. Tarifação Convencional

Na tarifação convencional, o consumidor paga à concessionária em até três parcelas: consumo, demanda e ajuste de fator de potência. O faturamento do consumo não apresenta nenhum tipo de divisão do dia, como no horo-sazonal, baseando-se apenas no acúmulo do total de kWh consumidos, aplicando-se a tarifa de consumo para a obtenção da parcela de faturamento de consumo. É, por exemplo, a forma como é feita a tarifação das residências

atualmente.

A parcela de faturamento de demanda é obtida pela aplicação de uma tarifa de demanda à demanda faturada, que é o maior valor dentre: a demanda registrada, a demanda contratada, e 85% da máxima demanda dos últimos 11 meses. Nota-se então a importância do controle de demanda: um pico de demanda na tarifação convencional pode significar acréscimos na conta de energia por até 12 meses.

Para o cálculo da parcela de ajuste de fator de potência, o dia é dividido em duas partes: horário capacitivo e o restante. Se o fator de potência do consumidor estiver fora dos limites estipulados pela legislação, haverá penalização por baixo fator de potência. Se o fator de potência do consumidor estiver dentro dos limites pré-estabelecidos, esta parcela não é cobrada.

#### 4.7.2. Tarifação Horo-sazonal

Com a intenção de imprimir um melhor aproveitamento do sistema elétrico e reduzir as necessidades de ampliação de sua capacidade, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (1988) aborda as disposições para fornecimento de energia elétrica com tarifas diferenciadas para a demanda de potência e consumo de energia, conforme os períodos do ano e horários de utilização – a tarifa horo-sazonal.

Dentro desta tarifa, duas estruturas se distinguem:

- **tarifa azul**: modalidade tarifária que apresenta aplicação de preços diferenciados de demanda de potência e consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e períodos do ano;
- **tarifa verde**: modalidade com grande semelhança à tarifa azul, porém apresentando preço único de demanda de potência. Em outras palavras, significa que esta tarifa difere da azul por não apresentar contratação de

demandas de potência em “horário de ponta” e em “horário fora de ponta”, apresentando apenas um único preço.

Ainda no tocante a portaria anteriormente citada, algumas definições devem ser elucidadas:

- **horário de ponta (P)**: composto por três horas consecutivas, definidas pela concessionária de energia, no intervalo das 17:00 as 22:00, exceto nos sábados e domingos, definidas pela concessionária, conforme características do seu sistema elétrico;
- **horário fora de ponta (F)**: conjunto de horas complementares às três horas consecutivas definidas no horário de ponta;
- **período úmido (PU)**: será de cinco meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte;
- **período seco (PS)**: São os sete meses consecutivos, abrangendo as leituras de maio a novembro.

A diferenciação entre período seco e período úmido deve-se ao fato de ocorrência da estação de chuvas e posterior estação de seca. Esta correlação dá-se, pois na época de chuvas (período úmido) os reservatórios das usinas hidrelétricas estão cheios. Assim, com um maior potencial hídrico, existe maior permissividade no uso da energia elétrica, com tarifas mais amenas do que na época de menos chuvas (período seco), onde os reservatórios ficam com níveis mais baixos, incorrendo num acréscimo nas tarifas, a fim de tentar desestimular o consumo energético no período.

De posse destas definições realizadas, parte-se para a apresentação dos itens que compõe a estrutura da tarifa azul e verde, como segue:

Tarifa azul:

a.1) Demanda de potência (KW):

- a.1.1) Preço do horário de ponta (DP);
- a.1.2) Preço do horário fora de ponta (DF);

a.2) Consumo de energia (KWh):

- a.2.1) Preço para horário de ponta, período úmido (PU);
- a.2.2) Preço para horário fora de ponta, período úmido (FU);
- a.2.3) Preço para horário de ponta, período seco (PS);
- a.2.4) Preço para horário fora de ponta, período seco (FS);

Tarifa verde:

b.1) Demanda de potência (KW):

- b.1.1) Preço único;

b.2) Consumo de energia (KWh):

- b.2.1) Preço para horário de ponta, período úmido (PU);
- b.2.2) Preço para horário fora de ponta, período úmido (FU);
- b.2.3) Preço para horário de ponta, período seco (PS);
- b.2.4) Preço para horário fora de ponta, período seco (FS);

Basicamente, o valor da demanda de potência a ser considerado para faturamento será o maior dos seguintes:

Tarifa azul:

- Maior potência demandada, verificada em cada segmento horo-sazonal, integralizada no intervalo de 15 minutos durante período de faturamento;
- Demanda contratada em cada segmento horo-sazonal;

Tarifa verde:

- Maior potência demandada, integralizada no intervalo de 15 minutos, durante o período de faturamento;
- Demanda contratada;

Em linhas gerais, quando a demanda integralizada registrada for menor que a demanda contratada, prevalece o pagamento da contratada. Caso a demanda registrada seja superior a contratada, mas inferior ao limite de tolerância por ultrapassagem prevalece à demanda registrada. Contudo, se a demanda registrada for superior a demanda contratada e ultrapasse o percentual de limite para tal ultrapassagem, é cobrada a demanda contratada, acrescida da tarifa de ultrapassagem sobre tal excesso.

Esta tolerância de ultrapassagem de demanda é dada aos consumidores das tarifas horo-sazonais para fins de faturamento por ultrapassagens de demandas. Em geral é de 10% para a maioria e 5% para os grandes consumidores.

#### 4.7.3. A medição, segundo a concessionária.

Assume-se, como fato certo, que a sua concessionária possui instalados, junto à sua entrada de energia, todos os medidores e registradores de energia necessários à cobrança das grandezas elétricas que o seu enquadramento tarifário permite a ela cobrar.

Para isto, são medidos e registrados a demanda ativa e reativa a cada 15 em 15 minutos, durante todos os dias entre as leituras de energia. Durante a leitura, esses dados são transferidos para um coletor de dados, e posteriormente, eles são descarregados no computador da concessionária que faz o faturamento de cada um dos clientes.

## CAPÍTULO V

### 5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA

#### 5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado o Problema de PLI a ser implementado. Como o modelo proposto por CARDOSO e KOO (1981) atende às necessidades do problema de forma incisiva, parte-se por apresentá-lo.

#### 5.2. O PROBLEMA DE PLI NO AJUSTE DE CARGAS

Trata-se de um Problema de Programação Matemática Inteira 0-1, na seguinte forma padrão:

$$\text{Minimizar : } C_t = c \cdot x \quad 5.1$$

s.a.

$$A \cdot x = b \quad 5.2$$

$$\forall x \in \alpha, \alpha = \{0,1\}$$

onde:

$C_t$  = custo total;

$c$  = vetor custo de tarifa e mão-de-obra;

$x$  = vetor de incógnitas do problema (variáveis de decisão);

$b$  = vetor de restrições e limites;

$A$  = matriz de coeficientes tecnológicos.

Adotando-se a forma de somatório para expressar a estrutura acima, possibilita-se maior clareza nas definições das variáveis e constantes envolvidas:

### 5.2.1. Função objetivo

Reportando-se a equação 5.1 para a forma de somatório, obtém-se:

$$C_t = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M C_{ij} \cdot X_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, M \text{ e } j = 1, 2, \dots, N. \quad 5.3$$

onde:

$i$  = variável que indica o processo;

$j$  = variável que indica o período do dia;

$M$  = número de intervalos a que dividiu-se o dia;

$N$  = número de processos envolvidos;

$C_t$  = custo total - funcionamento do sistema dentro do período considerado;

$C_{ij}$  = custo da tarifa de energia e mão-de-obra, associados ao processo  $i$ , no intervalo iniciado no tempo  $j$ ;

$X_{ij}$  = variável de decisão do funcionamento do processo  $i$ , no intervalo  $j$ .

Conforme a formulação do problema permite, as variáveis de decisão  $X_{ij}$  podem assumir dois estados, ou seja, podem ser 0 (zero) ao indicar que o processo “ $i$ ” não terá início de funcionamento no período “ $j$ ”, ou podem ser 1 (um), ao indicar que o processo “ $i$ ” terá início no período “ $j$ ”. Para efeitos de melhor entendimento, o período “ $j$ ” é o período iniciado na hora “ $j$ ”, caso o dia seja dividido em intervalos de horas cheias.

Ainda no que tange a modelagem, considera-se que um processo iniciado no período “ $j$ ” funcionará durante todo este, consumindo energia. Tem-se ainda que o consumo de energia de um processo será sempre constante, não havendo variações de demanda por processos dentro do intervalo, nem entre intervalos.

### 5.2.2. Restrições

Diversas restrições podem ser incluídas ao modelo, dependendo das características do sistema considerado. Algumas restrições possíveis são listadas nos tópicos subsequentes, com os respectivos comentários de aplicação. É importante ressaltar que nem todos os tipos precisam ser considerados em todos os casos.

#### 5.2.2.1. Restrição de unicidade de alocação

Tal restrição indica que cada um dos processos deverá iniciar seu funcionamento uma única vez durante o período considerado, não importando o tempo (quantidade de intervalos) em que permanecerá em funcionamento.

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \text{ para } i = 1, 2, \dots, M, , \quad 5.4$$

onde:

i = variável que indica o processo;

j = variável que indica o período do dia;

M = número de intervalos a que dividiu-se o dia;

N = número de processos envolvidos;

$x_{ij}$  = variável de decisão do funcionamento do processo i, no intervalo j.

Caso constate-se que determinado processo poderá ser iniciado mais de uma vez por período, este deverá ser desdobrado, para efeito de modelagem, em tantas variáveis quantas forem as possibilidades previstas.

### 5.2.2.2. Restrição de demanda máxima permitida

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{T_i} X_{i,M-j+k+1} \cdot P_i \leq P_{\max}, \text{ para } k=1,2,\dots,M, i=1,2,\dots,M \text{ e } j=1,2,\dots,N. \quad 5.5$$

onde:

i = variável que indica o processo;

j = variável que indica o período do dia;

k = variável auxiliar de indicação do período do dia;

M = número de intervalos à que dividiu-se o dia;

N = número de processos envolvidos;

$X_{i,M-j+k+1}$  = variável de decisão do funcionamento do processo i, no intervalo M-j+k+1.

$T_i$  = número de intervalos em que o processo “i” deverá permanecer em funcionamento ( $0 < T_i \leq M$ ). Se  $M-i+k+1 > M$ , então faz-se  $M-i+k+1 = -i+k+1$ ;

$P_i$  = potência demandada pelo processo “i” (kW);

$P_{\max}$  = demanda de potência máxima possível no sistema (kW);

Tais restrições garantem que, em qualquer intervalo de tempo contido no período considerado, o somatório das cargas dos processos em funcionamento no intervalo não ultrapassará a demanda máxima estipulada ao sistema.

As restrições apresentadas nas equações 5.4 e 5.5 são as principais deste processo de modelagem. Contudo outras podem ser incluídas opcionalmente no modelo, buscando uma melhor aproximação do sistema representado.

### 5.2.2.3. Restrição de início de intervalo

$$\sum_{j=t_1}^{t_2} x_{ij} = 1, \text{ para } i = 1,2,\dots,M; j = 1,2,\dots,N; t_1 \in \{1,2,\dots,M\}; t_2 \in \{1,2,\dots,M\}. \quad 5.6$$

onde:

$i$  = variável que indica o processo;

$j$  = variável que indica o período do dia;

$M$  = número de intervalos à que dividiu-se o dia;

$N$  = número de processos envolvidos;

$X_{i,j}$  = variável de decisão do funcionamento do processo  $i$ , no intervalo  $j$ .

$t_1$  = variável que indica o período de início do intervalo;

$t_2$  = variável que indica o período final do intervalo;

Esta restrição indica que o processo “ $i$ ” deve iniciar seu funcionamento dentro do intervalo de tempo  $[t_1, t_2]$ .

#### 5.2.2.4. Restrição de simultaneidade

$$X_{i,k} - X_{j,k} = 0, \text{ para } K=1,2,\dots,M; i = 1,2,\dots,N; j = 1,2,\dots,N. \quad 5.7$$

onde:

$i$  = variável que indica o processo;

$j$  = variável que indica o processo;

$k$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$X_{i,k}$  = variável de decisão do funcionamento do processo  $i$ , no intervalo  $k$ .

$X_{j,k}$  = variável de decisão do funcionamento do processo  $j$ , no intervalo  $k$ .

Esta restrição indica que os processos “ $i$ ” e “ $j$ ”, caso tenham sido iniciados, devem começar na mesma hora, ou seja, simultaneamente.

### 5.2.2.5. Restrição de continuidade

$$X_{i,k} - X_{j,k+T_i} = 0, \text{ para } K=1,2,\dots,M; i = 1,2,\dots,N; j = 1,2,\dots,N. \quad 5.8$$

onde:

i = variável que indica o processo;

j = variável que indica o processo;

k = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$T_i$  = duração do funcionamento do processo “i”, em períodos.

$X_{i,k}$  = variável de decisão do funcionamento do processo i, no intervalo k.

$X_{j,k+T_i}$  = variável de decisão do funcionamento do processo i, no intervalo  $k+T_i$ .

Esta restrição indica que o processo “j” deverá ser iniciado ao término do processo “i”.

Se  $k+T_i > M$ , faz-se  $k+T_i = k+T_i - M$ .

### 5.2.2.6. Restrição de exclusividade

$$\sum_{p=1}^{T_i} X_{i,M-p+k+1} + \sum_{q=1}^{T_j} X_{j,M-q+k+1} \leq 1, \quad 5.9$$

para  $T_i \in \{1,2,\dots,M\}$ ;  $T_j \in \{1,2,\dots,M\}$ ;  $p=1,2,\dots,T_i$ ;  $q = 1,2,\dots,T_j$ ;  $k=1,2,\dots,M$ ;  $i=1,2,\dots,N$ ;  $j=1,2,\dots,N$ ;

onde:

p e q são variáveis aleatórias.

i = variável que indica processo;

j = variável que indica processo;

k = variável que indica período do dia;

M = número de intervalos à que dividiu-se o dia;

$X_{i,M-p+k+1}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “i”, no intervalo  $M-p+k+1$ . Se  $M-p+k+1 > M$ , então faz-se  $M-p+k+1 = -p+k+1$ ;

$X_{j,M-q+k+1}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “j”, no intervalo  $M-q+k+1$ .

$q+k+1$ . Se  $M-q+k+1 > M$ , então faz-se  $M-q+k+1 = -q+k+1$ ;

$T_i$  = número de intervalos em que o processo “i” deverá permanecer em funcionamento ( $0 < T_i \leq M$ ). Se  $M-p+k+1 > M$ , então faz-se  $M-p+k+1 = -p+k+1$ ;

$T_j$  = número de intervalos em que o processo “j” deverá permanecer em funcionamento ( $0 < T_j \leq M$ ). Se  $M-q+k+1 > M$ , então faz-se  $M-q+k+1 = -q+k+1$ ;

Os processos “i” e “j” não podem funcionar coincidentemente em nenhum intervalo de tempo.

Se  $M-p+k+1 > M$  faz-se  $M-p+k+1 = -p+k+1$  e se  $M-q+k+1 > M$ , faz-se  $M-q+k+1 = -q+k+1$ .

#### 5.2.2.7. Restrição de semidependência

$$X_{i,k} - \sum_{p=k}^{k+T} X_{j,p} \leq 0, \quad 5.10$$

para  $T \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $p=1, 2, \dots, T_i$ ;  $k=1, 2, \dots, M$ ;  $i=1, 2, \dots, N$ ;  $j=1, 2, \dots, N$ ;

onde:

$i$  = variável que indica o processo;

$j$  = variável que indica o processo;

$k$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$T$  = tempo máximo entre o início de cada um dos processos;

$X_{i,k}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “i”, no intervalo “k”.

$X_{j,p}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “j”, no intervalo “p”.

O processo “j” deve iniciar no máximo  $T$  intervalos após o início do processo “i”. Isto pode acontecer, por exemplo, em casos de limitação de estoque.

Se  $p > M$ , faz-se  $p = p - M$ .

### 5.2.2.8. Restrição de semidependência com tempo mínimo

$$X_{i,k} - \sum_{p=k+T_{\min}}^{k+T_{\min}+T_{\max}} X_{j,p} \leq 0, \quad 5.11$$

para  $T_{\min} \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $T_{\max} \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $p = k + T_{\min}, k + T_{\min} + 1, \dots, k + T_{\min} + T_{\max}$ ;  
 $k = 1, 2, \dots, M$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;

onde:

$i$  = variável que indica o processo;

$j$  = variável que indica o processo;

$p$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$k$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$T_{\min}$  = tempo mínimo entre o término de um processo e o início de outro;

$T_{\max}$  = tempo máximo entre o término de um processo e o início de outro;

$X_{i,k}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “ $i$ ”, no intervalo “ $k$ ”.

$X_{j,p}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “ $j$ ”, no intervalo “ $p$ ”.

O processo “ $j$ ” deve iniciar, no mínimo  $T_{\max}$  intervalos após o início do processo “ $i$ ”, e no máximo  $T_{\max}$  intervalos após o início do mesmo processo “ $i$ ”.

Se  $p > M$ , faz-se  $p = p - M$ .

### 5.2.2.9. Restrição de semicontinuidade

$$X_{i,k} - \sum_{p=k+T_i}^{k+T_i+T} X_{j,p} \leq 0, \quad 5.12$$

para  $T_i \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $T \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $p = k + T_i, k + T_i + 1, \dots, k + T_i + T$ ;  $k = 1, 2, \dots, M$ ;  
 $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;

onde:

$i$  = variável que indica o processo;

$j$  = variável que indica o processo;

$p$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$k$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$T$  = tempo máximo entre o término de um processo e o início de outro;

$X_{i,k}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “ $i$ ”, no intervalo “ $k$ ”.

$X_{j,p}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “ $j$ ”, no intervalo “ $p$ ”.

O processo “ $j$ ” deve iniciar no máximo  $T$  intervalos após o término do processo “ $i$ ”.

Se  $p > M$ , faz-se  $p = p - M$ .

#### 5.2.2.10. Restrição de semicontinuidade com tempo mínimo

$$X_{i,k} - \sum_{p=k+T_{\min}+T_i}^{k+T_{\min}+T_i+T_{\max}} X_{j,p} \leq 0, \quad 5.13$$

para  $T_{\min} \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $T_{\max} \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $T_i \in \{1, 2, \dots, M\}$ ;  $p = k + T_{\min} + T_i, k + T_{\min} + T_i + 1, \dots, k + T_{\min} + T_{\max}$ ;  $k = 1, 2, \dots, M$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;

onde:

$i$  = variável que indica o processo;

$j$  = variável que indica o processo;

$p$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$k$  = variável auxiliar de indicação do período do dia;

$T_{\min}$  = tempo mínimo entre o término de um processo e o início de outro;

$T_{\max}$  = tempo máximo entre o término de um processo e o início de outro;

$T_i$  = número de intervalos em que o processo “ $i$ ” deverá permanecer em funcionamento ( $0 < T_i \leq M$ );

$X_{i,k}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “ $i$ ”, no intervalo “ $k$ ”.

$X_{j,p}$  = variável de decisão do funcionamento do processo “ $j$ ”, no intervalo “ $p$ ”.

O processo “j” deve iniciar, no mínimo  $T_{\text{máx}}$  intervalos após o início do processo “i”, e no máximo  $T_{\text{máx}}$  intervalos após o início do mesmo processo “i”.

Se  $p > M$ , faz-se  $p = p - M$ .

É importante salientar que outras restrições podem ser incluídas no modelo, caso seja necessário, para representação de algum sistema particular. Evidentemente, nem todas as restrições listadas no modelo matemático proposto necessitam ser consideradas em todos os casos práticos. Cada realidade exige um conjunto de restrições específicas.

Como o problema desenvolvido apresenta muitas variáveis, sua dimensão será um empecilho para o bom entendimento, assim, a seguir são propostos alguns exemplos de aplicação, onde pretende-se esclarecer melhor o procedimento de elaboração do Problema de PLI aqui descrito.

### 5.3. EXEMPLOS DE FORMULAÇÃO DE PROBLEMA DE PLI

De acordo com a estrutura de Problema de PLI apresentado neste capítulo, propõe-se alguns exemplos de formulação com tal abordagem, a fim de facilitar o entendimento e posteriores elaborações de outros problemas.

Inicialmente, é preciso decidir em quantos períodos será fracionado o dia. Neste caso, opta-se por 12 períodos, garantindo intervalos de 2 h cada. É importante salientar que tais períodos de 2 h são indivisíveis, ou seja, mesmo que o processo venha a ser iniciado naquela hora e opere apenas 10 min, ainda assim era considerado o funcionamento de 2 h. Uma opção que se dispõe nestes casos é dividir o dia em maior número de intervalos.

Sendo  $M$  o número de intervalos em que dividiu-se o dia e  $N$  o número de processos envolvidos, tem-se respectivamente os valores 12 e 4 atribuídos. O primeiro por dividir-se o dia nas 24h, conforme escolhido e o segundo valor, de  $N$ , porque almeja-se exemplificar com

4 processos, denominados N1, N2, N3.e N4.

É importante lembrar que X é a variável binária de decisão do funcionamento do processo “i”, no intervalo “j”.

Desta forma, parte-se para os exemplos básicos onde serão vistas algumas formulações úteis.

### 5.3.1. Exemplo 1: A função objetivo e as restrições de unicidade de alocação

Neste exemplo constata-se a unicidade de alocação, ou seja, a restrição que garante que o processo não será iniciado duas ou mais vezes. Consideram-se os processos já mencionados, com as seguintes características: N1 com 20kW; N2 com 50kW; N3 com 70kW e N4 com 10kW.

Por ser um exemplo simples, não serão considerados sistemas tarifários com horários diferenciados, sendo todas as horas do dia sob o mesmo valor de consumo.

Tais dados serão repassados para a seguinte formulação, entre outras restrições:

```
MIN X1_1P1+X1_1P2+X1_1P3+X1_1P4+X1_1P5+X1_1P6+X1_1P7+X1_1P8+ X1_1P9+ X1_1P10+X1_1P11+X1_1P12+
X2_1P1+X2_1P2+X2_1P3+X2_1P4+X2_1P5+X2_1P6+X2_1P7+X2_1P8+ X2_1P9+ X2_1P10+X2_1P11+X2_1P12+
X3_1P1+X3_1P2+X3_1P3+X3_1P4+X3_1P5+X3_1P6+X3_1P7+X3_1P8+ X3_1P9+ X3_1P10+X3_1P11+X3_1P12+
X4_1P1+X4_1P2+X4_1P3+X4_1P4+X4_1P5+X4_1P6+X4_1P7+X4_1P8+ X4_1P9+ X4_1P10+X4_1P11+X4_1P12
```

SUBJECT TO

!-----

!RT1-RESTRIÇÃO DE UNICIDADE DE ALOCAÇÃO

!-----

! O processo 1 é acionado 1 vezes.

RT1\_1) X1\_1P1+X1\_1P2+X1\_1P3+X1\_1P4+X1\_1P5+X1\_1P6+X1\_1P7+X1\_1P8+X1\_1P9+X1\_1P10+X1\_1P11+X1\_1P12=1

! O processo 2 é acionado 1 vezes.

RT1\_2) X2\_1P1+X2\_1P2+X2\_1P3+X2\_1P4+X2\_1P5+X2\_1P6+X2\_1P7+X2\_1P8+ X2\_1P9+X2\_1P10+X2\_1P11+X2\_1P12=1

! O processo 3 é acionado 1 vezes.

RT1\_3) X3\_1P1+X3\_1P2+X3\_1P3+X3\_1P4+X3\_1P5+X3\_1P6+X3\_1P7+X3\_1P8+X3\_1P9+X3\_1P10+X3\_1P11+X3\_1P12=1

! O processo 4 é acionado 1 vezes.

RT1\_4) X4\_1P1+X4\_1P2+X4\_1P3+X4\_1P4+X4\_1P5+X4\_1P6+X4\_1P7+X4\_1P8+ X4\_1P9+X4\_1P10+X4\_1P11+X4\_1P12=1

Observa-se que os valores grifados em vermelho na formulação são gerados pela razão

entre os valores das tarifas dos horários de ponta sobre os fora de ponta. Esta tomada de atitude é útil, pois causa o mesmo efeito de penalidade nos horários mais caros e diminui as linhas de formulação. Neste caso, os valores são unitários por não considerar-se diferenças entre ponta e fora de ponta.

Agora se observa o resultado encontrado com o uso do *software Lingo 6.0*. Nota-se que os processos foram iniciados praticamente no mesmo horário, contudo não foram reinicializados, além de ser possível encontrar outras soluções ótimas para este caso.

Resultado: X1\_1P1=1; X2\_1P12=1; X3\_1P12=1; X4\_1P12=1.

### 5.3.2. Exemplo 2: As restrições de demanda máxima

Conforme observado em 5.3.1, não há a imposição de limites de demanda máxima de potência. Em outras palavras, caso cada processo consumisse muito mais do que o apresentado ou ainda, se existissem muitos outros processos, todos seriam iniciados no mesmo período, com toda certeza, haja visto não fazer diferença para o algoritmo. Todavia, estipular um limite de demanda implica em forçar o algoritmo a organizar os horários e as cargas, como no problema clássico da mochila (*Knapsack problem*). Assim, de posse da formulação anterior é possível acrescer as seguintes restrições para este feito, garantindo a demanda máxima de 75Kw:

```
!-----
!RT2=RESTRIÇÃO DE DEMANDA MÁXIMA
!-----  

! Período k = 1  

RT2_1) 20 X1_1P1 +50 X2_1P1 +70 X3_1P1 +10 X4_1P1 <= 75  

! Período k = 2  

RT2_2) 20 X1_1P2 +50 X2_1P2 +70 X3_1P2 +10 X4_1P2 <= 75  

! Período k = 3  

RT2_3) 20 X1_1P3 +50 X2_1P3 +70 X3_1P3 +10 X4_1P3 <= 75  

! Período k = 4  

RT2_4) 20 X1_1P4 +50 X2_1P4 +70 X3_1P4 +10 X4_1P4 <= 75  

! Período k = 5  

RT2_5) 20 X1_1P5 +50 X2_1P5 +70 X3_1P5 +10 X4_1P5 <= 75  

! Período k = 6  

RT2_6) 20 X1_1P6 +50 X2_1P6 +70 X3_1P6 +10 X4_1P6 <= 75
```

```

! Período k = 7
RT2_7) 20 X1_1P7 +50 X2_1P7 +70 X3_1P7 +10 X4_1P7 <= 75

! Período k = 8
RT2_8) 20 X1_1P8 +50 X2_1P8 +70 X3_1P8 +10 X4_1P8 <= 75

! Período k = 9
RT2_9) 20 X1_1P9 +50 X2_1P9 +70 X3_1P9 +10 X4_1P9 <= 75

! Período k = 10
RT2_10) 20 X1_1P10 +50 X2_1P10 +70 X3_1P10 +10 X4_1P10 <= 75

! Período k = 11
RT2_11) 20 X1_1P11 +50 X2_1P11 +70 X3_1P11 +10 X4_1P11 <= 75

! Período k = 12
RT2_12) 20 X1_1P12 +50 X2_1P12 +70 X3_1P12 +10 X4_1P12 <= 75

```

Novamente, ao buscar uma solução com o *Lingo 6.0*, obteve-se:

Resultado:  $X1\_1P2=1$ ;  $X2\_1P1=1$ ;  $X3\_1P12=1$  e  $X4\_1P1=1$ .

Observa-se que agora os equipamentos ficam com funcionamento melhor regrado que anteriormente.

### 5.3.3. Exemplo 3: As restrições de intervalo de partida

Aproveitando os exemplos anteriores, pode-se refinar ainda mais o problema com a inclusão, se necessário, das restrições de intervalo de partida. Com elas é possível definir em que períodos, ou intervalos entre estes, deseja-se dar início ao processo observado.

Para exemplificar, adiciona-se a seguinte informação no problema abordada por Exemplo 1 e Exemplo 2: N1 deve iniciar entre P1 e P2 ou entre P6 e P8; N2 não tem este tipo de restrição, podendo iniciar em qualquer período; N3 deve iniciar somente em P1; N4 deve iniciar em P1 ou em P6, somente.

Eis as restrições a serem adicionadas:

```

!-----
!RT3=RESTRIÇÃO DE INTERVALO DE PARTIDA
!-----
RT3_1) X1_1P1+ X1_1P2+ X1_1P6+ X1_1P7+ X1_1P8=1
RT3_2) X3_1P1 =1

```

RT3\_3)  $X4\_1P1 + X4\_1P6 = 1$

Nota-se que agora os processos ficam com seu funcionamento obrigatoriamente vinculado a determinados horários.

Nota-se que nem todos os processos têm tais características de funcionamento, logo não poderá haver igual número de restrições e de processos. Assim explica-se porque o processo N2 não aparece nas linhas inseridas no problema.

Como resultado, encontrou-se:  $X1\_1P2=1$ ;  $X2\_1P2=1$ ;  $X3\_1P1=1$  e  $X4\_1P6=1$ .

#### 5.3.4. Exemplo 4: As restrições de simultaneidade

Tais restrições são empregadas quando há a obrigatoriedade de um processo só funcionar se o outro estiver iniciando seu funcionamento. Uma forma de exemplificar esta particularidade é restringindo o uso de N2 a funcionar somente quando N4 também o fizer. Assim, acrescenta-se as seguintes linhas ao problema:

```
!-----
!RT4-RESTRIÇÃO DE SIMULTANEIDADE DE PARTIDA
!-----  

RT4_1) X2_1P1 - X4_1P1 =0  

RT4_2) X2_1P6 - X4_1P6 =0
```

Após solucionar o problema, constata-se o seguinte resultado:  $X1\_1P2=1$ ;  $X2\_1P6=1$ ;  $X3\_1P1=1$  e  $X4\_1P6$ .

É possível observar que agora N2 tem início em conjunto com N4, no período 6.

De maneira geral, pode-se expor a formulação completa, que segue abaixo:

```
MIN X1_1P1+X1_1P2+X1_1P3+X1_1P4+X1_1P5+X1_1P6+X1_1P7+X1_1P8+ X1_1P9+ X1_1P10+X1_1P11+X1_1P12+
X2_1P1+X2_1P2+X2_1P3+X2_1P4+X2_1P5+X2_1P6+X2_1P7+X2_1P8+ X2_1P9+ X2_1P10+X2_1P11+X2_1P12+
X3_1P1+X3_1P2+X3_1P3+X3_1P4+X3_1P5+X3_1P6+X3_1P7+X3_1P8+ X3_1P9+ X3_1P10+X3_1P11+X3_1P12+
X4_1P1+X4_1P2+X4_1P3+X4_1P4+X4_1P5+X4_1P6+X4_1P7+X4_1P8+ X4_1P9+ X4_1P10+X4_1P11+X4_1P12

SUBJECT TO  

!-----
!RT1=RESTRIÇÃO DE UNICIDADE DE ALOCAÇÃO
!-----
```

! O processo 1 é acionado 1 vezes.  
 RT1\_1)  $X1\_1P1 + X1\_1P2 + X1\_1P3 + X1\_1P4 + X1\_1P5 + X1\_1P6 + X1\_1P7 + X1\_1P8 + X1\_1P9 + X1\_1P10 + X1\_1P11 + X1\_1P12 = 1$

! O processo 2 é acionado 1 vezes.  
 RT1\_2)  $X2\_1P1 + X2\_1P2 + X2\_1P3 + X2\_1P4 + X2\_1P5 + X2\_1P6 + X2\_1P7 + X2\_1P8 + X2\_1P9 + X2\_1P10 + X2\_1P11 + X2\_1P12 = 1$

! O processo 3 é acionado 1 vezes.  
 RT1\_3)  $X3\_1P1 + X3\_1P2 + X3\_1P3 + X3\_1P4 + X3\_1P5 + X3\_1P6 + X3\_1P7 + X3\_1P8 + X3\_1P9 + X3\_1P10 + X3\_1P11 + X3\_1P12 = 1$

! O processo 4 é acionado 1 vezes.  
 RT1\_4)  $X4\_1P1 + X4\_1P2 + X4\_1P3 + X4\_1P4 + X4\_1P5 + X4\_1P6 + X4\_1P7 + X4\_1P8 + X4\_1P9 + X4\_1P10 + X4\_1P11 + X4\_1P12 = 1$

!-----  
 !RT2=RESTRIÇÃO DE DEMANDA MÁXIMA  
 !-----

! Período k = 1  
 RT2\_1)  $20 X1\_1P1 + 50 X2\_1P1 + 70 X3\_1P1 + 10 X4\_1P1 \leq 75$

! Período k = 2  
 RT2\_2)  $20 X1\_1P2 + 50 X2\_1P2 + 70 X3\_1P2 + 10 X4\_1P2 \leq 75$

! Período k = 3  
 RT2\_3)  $20 X1\_1P3 + 50 X2\_1P3 + 70 X3\_1P3 + 10 X4\_1P3 \leq 75$

! Período k = 4  
 RT2\_4)  $20 X1\_1P4 + 50 X2\_1P4 + 70 X3\_1P4 + 10 X4\_1P4 \leq 75$

! Período k = 5  
 RT2\_5)  $20 X1\_1P5 + 50 X2\_1P5 + 70 X3\_1P5 + 10 X4\_1P5 \leq 75$

! Período k = 6  
 RT2\_6)  $20 X1\_1P6 + 50 X2\_1P6 + 70 X3\_1P6 + 10 X4\_1P6 \leq 75$

! Período k = 7  
 RT2\_7)  $20 X1\_1P7 + 50 X2\_1P7 + 70 X3\_1P7 + 10 X4\_1P7 \leq 75$

! Período k = 8  
 RT2\_8)  $20 X1\_1P8 + 50 X2\_1P8 + 70 X3\_1P8 + 10 X4\_1P8 \leq 75$

! Período k = 9  
 RT2\_9)  $20 X1\_1P9 + 50 X2\_1P9 + 70 X3\_1P9 + 10 X4\_1P9 \leq 75$

! Período k = 10  
 RT2\_10)  $20 X1\_1P10 + 50 X2\_1P10 + 70 X3\_1P10 + 10 X4\_1P10 \leq 75$

! Período k = 11  
 RT2\_11)  $20 X1\_1P11 + 50 X2\_1P11 + 70 X3\_1P11 + 10 X4\_1P11 \leq 75$

! Período k = 12  
 RT2\_12)  $20 X1\_1P12 + 50 X2\_1P12 + 70 X3\_1P12 + 10 X4\_1P12 \leq 75$

!-----  
 !RT3=RESTRIÇÃO DE INTERVALO DE PARTIDA  
 !-----

RT3\_1)  $X1\_1P1 + X1\_1P2 + X1\_1P6 + X1\_1P7 + X1\_1P8 = 1$

RT3\_2)  $X3\_1P1 = 1$

RT3\_3)  $X4\_1P1 + X4\_1P6 = 1$

!-----  
 !RT4=RESTRIÇÃO DE SIMULTANEIDADE DE PARTIDA  
 !-----

RT4\_1)  $X2\_1P1 - X4\_1P1 = 0$

RT4\_2)  $X2\_1P6 - X4\_1P6 = 0$

END  
INT 48

Outras restrições também podem ser aplicadas ao problema, como a restrição de exclusividade de partida. Aplicada normalmente quando um processo deve ser reiniciado, esta restrição garante que as duas ou mais variáveis que representam tal atividade – se for realizado mais de uma partida por dia, é preciso criar tantas variáveis quantos forem os religamentos, com as mesmas características básicas - não irão ser ativadas no mesmo período.

Após tratar destas restrições de forma exemplificada, acredita-se que as mais usuais foram demonstradas e, certamente, irão facilitar a criação de novas formulações.

## CAPÍTULO VI

### 6. APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA

#### 6.1. INTRODUÇÃO

É de suma importância conhecer o sistema em que se deseja aplicar o modelo de PLI proposto, haja vista a necessidade de determinação de certas possibilidades de horários de funcionamento, além de valores de potência instalada e quais setores estarão envolvidos na modelagem. Sendo assim, será seguido o fluxograma proposto na Figura 6.1 que segue:

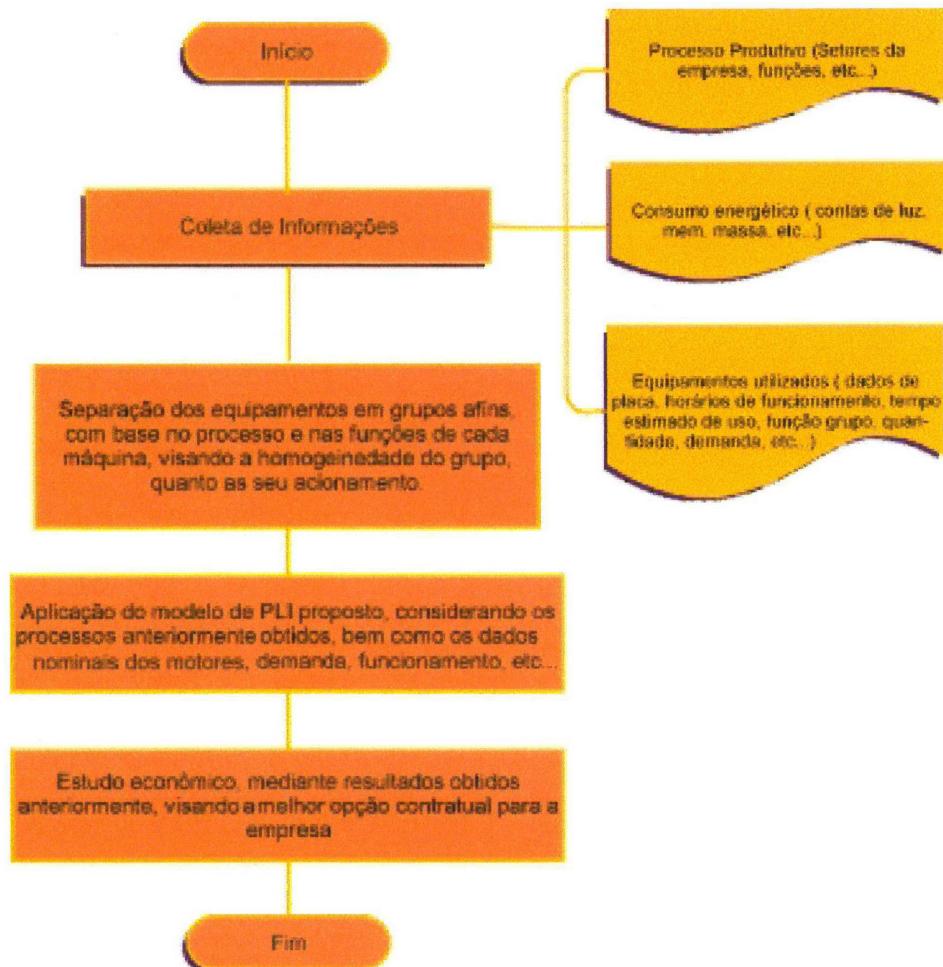


FIGURA 6.1 - FLUXOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Após ter sido realizada uma análise dos processos da empresa (Capítulo IV), bem como uma proposta de modelagem da problemática da referida empresa, como é descrito no Capítulo V, é importante descrever cada etapa do fluxograma apresentado na Figura 6.1.

Basicamente, a etapa de *Coleta de Informações* consiste na aquisição dos dados referentes aos processos produtivos, aos equipamentos elétricos utilizados e ao consumo de cada processo. A coleta destas informações é extremamente relevante na execução de qualquer outra etapa, pois disponibiliza as informações necessárias à Programação Matemática abordada. Assim, conhecendo-se os processos produtivos tem-se como conhecer suas particularidades de funcionamento, como horas de operação, equipamentos envolvidos, resultado da produção, etc. Estes dados podem ser registrados em tabelas, como as existentes em Anexo 1.

Como um determinado processo produtivo apresenta um número considerável de máquinas elétricas, é conveniente organizá-lo de forma que possa compor grupos de máquinas com propriedades de partida afins. Assim um processo pode ser representado por um grande grupo ou por diversos grupos, mas certamente em número inferior à quantidade de equipamentos existentes. Esta preocupação é pertinente, pois cada equipamento é associado a uma ou mais variáveis binárias e quanto maior o número destas, maior o tempo computacional na busca de soluções viáveis para o problema de PLI. Desta forma, os equipamentos são agrupados considerando suas afinidades nas funções e nos processos produtivos, garantindo assim, um grupo homogêneo. Tal separação dos equipamentos nestes grupos é mostrada nas tabelas presentes em Anexo 2.

Levando-se em conta os dados organizados em grupos afins, é preciso cruzar as informações de partida de cada grupo. Na conclusão desta etapa, obtém-se as informações já sintetizadas sobre o problema real, facilitando a criação do Problema de PLI mencionado no Capítulo V. Estes dados podem ser organizados em uma tabela, como sugere a Tabela 3.3. Nesta, pode-se observar a quantidade pertinente de partidas por processo, a potência em kW de cada grupo, o número de períodos de funcionamento por partida, entre outras informações.

Com o emprego de *softwares* comerciais, como o LINGO 6.0, é possível obter a

solução para o Problema de PLI em questão. Assim, tenso-se tais informações é possível aplicar-se um estudo econômico permitindo escolher qual o melhor modelo tarifário a ser implantado pela empresa, garantindo assim o melhor contrato com a concessionária e um melhor uso da energia elétrica contratada pela empresa.

Assim uma visão mais precisa sobre a forma de abordagem do problema encontrado nas indústrias quanto ao uso do insumo eletricidade, dentro do setor produtivo.

## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS, CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

#### 7.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS

De posse dos quatro problemas de Programação Linear Inteira: azul-dias úteis, azul-finais de semana e feriados, verde-dias úteis e verde-finais de semana e feriados, parte-se para observar seus resultados.

Antecipando a solução dos problemas propostos, deve-se dispor dos valores de demanda máxima a que se submeterão os equipamentos nos tipos de horários permitidos pela legislação vigente que trata das formas de tarifação da energia elétrica.

Uma vez que não é efetivamente considerável a economia para pequenos erros de escolha destes valores, optou-se por submeter cada problema a diversas soluções, uma para cada valor de demanda, partindo-se do valor de demanda contratada e decrementando-o, até que o problema se torne infactível. Os menores valores obtidos foram 590kW para as demandas em horários fora de ponta, a todos os problemas propostos. Já para os horários de ponta, encontrados nos problemas azul e verde, para os dias úteis, foi designado o valor de demanda 30kW, que é o mínimo permitido para contrato na tarifação horo-sazonal azul durante o referido quadrimestre. Tais valores estão unicamente vinculados às restrições de demanda máxima permitida, ou, neste caso, ao segundo grupo de restrições.

Antes de qualquer comentário referente aos resultados encontrados, é posto que existe uma penalização nos horários de ponta, tanto no sistema tarifário azul quanto no verde, e que as penalidades por consumo nestes horários são maiores no problema do sistema verde. O que espera-se, todavia, é que o mínimo de cargas possível venha a atuar nestes períodos do dia (dias úteis).

Em uma primeira análise dos dados obtidos na resolução dos problemas com o *Lingo 6.0*, pode-se constatar que tanto no sistema azul quanto no verde, nos dias úteis, não apresentam uso de cargas elétricas nos horários de ponta. Desta forma, os problemas referentes ao sistema azul foram descartados, restando apenas os dois problemas complementares do sistema tarifário verde e suas resoluções, a serem comparados ao sistema atual em prática na empresa, que é o azul, com demandas contratadas de 740kW e 50kW, respectivamente aos horários fora e de ponta.

A justificativa para tanto está vinculada às próprias regras do sistema tarifário brasileiro. Os quilowats-hora consumidos nos horários de ponta são bem mais caros no sistema verde que no azul, porém não há contratação de demanda de energia, como no azul. Isto significa que, se é efetuada uma contratação de energia e esta não é utilizada, está havendo algum erro. Isto é apontado pelo fator de carga baixo, e que no caso é nulo, pois a razão da energia consumida (que é nula) pela energia contratada resultará em zero. Nisto, o sistema tarifário verde se enquadra bem, uma vez que não exige tal contratação de demanda nos horários de ponta, apenas paga-se pela energia consumida em tais horas. Como os resultados apontam para nenhum consumo, rejeitou-se o sistema azul em benefício deste outro.

Entretanto, se por ventura algum processo necessitar de consumo nestes horários, o valor do quilowatt-hora será bem maior, mas não há a obrigatoriedade de uso de energia da concessionária, haja visto que a empresa dispõe de dois grupos motor-gerador diesel de 250kW cada, que apresentam aproximadamente metade do valor da tarifa de consumo nos horários de ponta apresentados.

Independente da faixa adotada, seja azul ou verde, as formulações dos problemas de Programação Linear Inteira para os dias úteis apresentaram 672 (seiscentas e setenta e duas) variáveis binárias e 211 (duzentas e onze) restrições. Da mesma forma, as formulações pertinentes aos dias contidos em finais de semana e feriados apresentaram 1056 (mil e cinqüenta e seis) variáveis binárias e 457 (quatrocentas e cinqüenta e sete) restrições.

As melhores soluções encontradas apresentaram um tempo de processamento médio inferior a 1 segundo em um microcomputador AMD Thunderbird de 1.33 GHz com 256Mbytes de RAM. As Tabelas 7.1 e 7.2 apresentam os valores encontrados nas soluções dos dois problemas, focando apenas a faixa verde do sistema tarifário horo-sazonal. A partir destas são construídas as Tabelas AN3.1 e AN3.2, em Anexos 3, que relacionam as partidas das máquinas nos horários do dia, respectivamente para os dias úteis e finais de semana e feriados.

Processo	Part.1	Part. 2	Part. 3	Part. 4	Part. 5	Part. 6	Part. 7	Part. 8	Part. 9	Part. 10	Part. 11
Fab. Gelo	P9	P12	P11	P17	P13	P14	P15	P16	P8	P10	P21
Transb. 1	P9	P8	P21	P10	-	-	-	-	-	-	-
Transb. 2	P8	P21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH3	P22	P17	P14	P13	P12	-	-	-	-	-	-
Túneis	P22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Água Pot.	P8	P16	P3	-	-	-	-	-	-	-	-
Água Ind.	P16	P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**TABELA 7.1 – PERÍODOS DE PARTIDA ENCONTRADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO PARA OS DIAS ÚTEIS, NA TARIFAÇÃO VERDE.**

Processo	Part.1	Part. 2	Part. 3	Part. 4	Part. 5	Part. 6	Part. 7	Part. 8
Fab. Gelo	P22	P21	P13	P4	P16	P1	P24	P23
NH3	P12	P15	P6	P10	P7	P9	P17	P19
Túneis	P12	P15	P6	P10	P7	P9	P17	P19
Água Pot.	P8	P18	P3	-	-	-	-	-
Água Ind.	P19	P5	-	-	-	-	-	-

**TABELA 7.2 – PERÍODOS DE PARTIDA ENCONTRADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO PARA OS DIAS DE FINAIS DE SEMANA E FERIADOS, NA TARIFAÇÃO VERDE.**

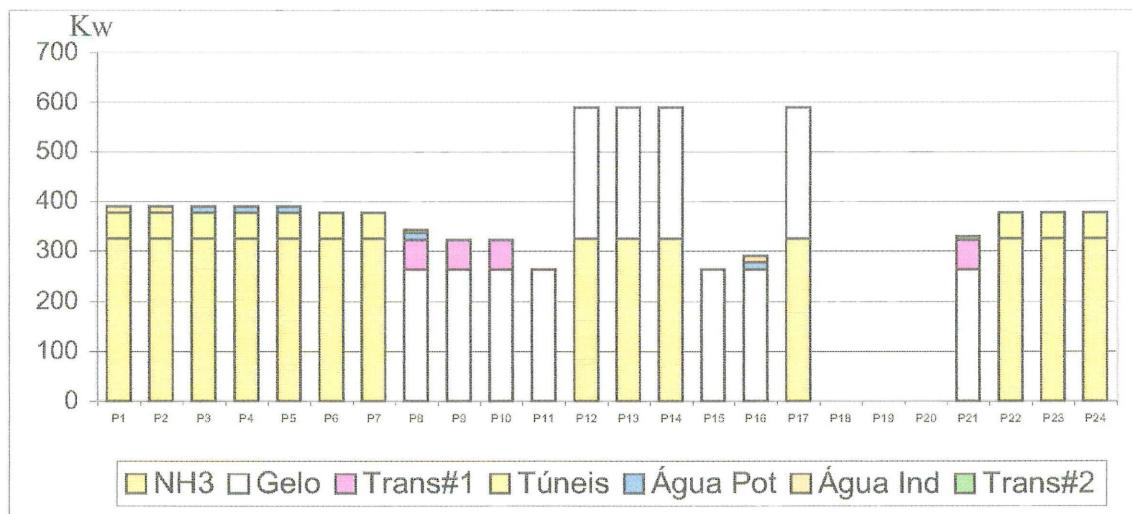
Processo	Part.9	Part. 10	Part. 11	Part. 12	Part. 13	Part. 14	Part. 15	Part. 16
Fab. Gelo	P18	P20	P2	P11	-	-	-	-
NH3	P8	P14	P3	P20	P2	P1	P11	P5
Túneis	P8	P14	P3	-	-	-	-	-
Água Pot.	-	-	-	-	-	-	-	-
Água Ind.	-	-	-	-	-	-	-	-

**TABELA 7.2 – PERÍODOS DE PARTIDA ENCONTRADOS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE PLI PROPOSTO PARA OS DIAS DE FINAIS DE SEMANA E FERIADOS, NA TARIFAÇÃO VERDE (CONTINUAÇÃO).**

A combinação dos horários de partida encontrados e apresentados nas Tabelas 7.1 e 7.2, com os dados de duração de cada processo, dispostos na Tabela 6.4, foram compostas as tabelas do Anexo 3, denominadas AN3.3 e AN3.4.

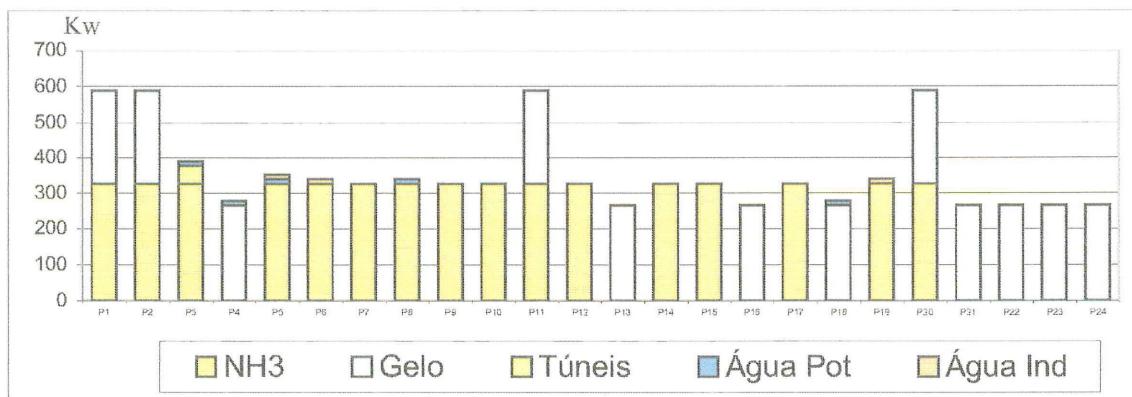
Os gráficos dispostos nas figuras 7.1 e 7.2 são gerados a partir das Tabelas AN3.3 e AN3.4 do Anexo 3, e vem por ilustrar a ocupação das horas dos dias úteis e dos dias nos finais de semana e feriados, respectivamente.

É importante, também, traçar um comparativo entre os resultados encontrados pela solução dos problemas propostos e os dados médios dos últimos quatro meses. Esta comparação é realizada mais facilmente quando se observa a Tabela 7.5, que dispõe tais informações.



Obs: A legenda apresentada na figura acima é referente aos grupos apresentados na Tabela 7.1

**FIGURA 7.1 – GRÁFICO DO USO DE CARGAS ELÉTRICAS PELA EMPRESA, SEGUNDO SOLUÇÃO ENCONTRADA PARA OS DIAS ÚTEIS, TARIFA VERDE**



Obs: A legenda apresentada na figura acima é referente aos grupos apresentados na Tabela 7.2

**FIGURA 7.2 – GRÁFICO DO USO DE CARGAS ELÉTRICAS PELA EMPRESA, SEGUNDO SOLUÇÃO ENCONTRADA PARA OS FINAIS DE SEMANA E FERIADOS, TARIFA VERDE.**

As tabelas 7.3 e 7.4 relacionam as informações estatísticas de consumo, máximos, mínimos, bem como valores de fator de carga médio, encontrados na solução dos problemas. Tais valores são, na verdade, síntese dos dados obtidos nas tabelas AN3.3 e AN3.4, presentes no Anexo 3, que relacionam potência de cada grupo, ou processo, com os períodos do dia em que estão em funcionamento, diferente das tabelas AN3.1 e AN3.2 que relacionam apenas os horários escolhidos para a partida de cada processo.

Item	Consumo Dias Úteis	Consumo Finais Sem.	Total de consumo
Fora Ponta	183018,44	76050,39	259068,83
Ponta	0,00	-	0,00
Total			259068,83

**TABELA 7.3 – DADOS DE CONSUMO OBTIDOS NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS**

	Dias úteis	Finais Sem. + feriados
Média FP	396,14	376,49
Média P	0,00	-
Máx FP	588,74	588,74
Máx P	0,00	-
Min FP	263,60	263,60
Mín P	0,00	-
FC% FP	67,14	63,81
FC% P	0,00	-

Obs: P = Ponta; FP=Fora de ponta;  
FC% = Fator de Carga Percentual

**TABELA 7.4 – RESUMO DOS DADOS OBTIDOS NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS**

Observa-se, na Tabela 7.5, que a economia feita é de aproximadamente 15,5%, se considerados os dados médios de consumo. Contudo, na observância dos dados das contas de energia elétrica, constatou-se a existência de algumas multas por ultrapassagem, o que torna a diferença ainda mais favorável ao problema proposto, haja visto que a vantagem é de 17,3 % e não mais 15,5%.

	Proposto	Atual	Comparação %
Média FP (kW)	390,16	426,36	8,49%
Média P (kW)	0,00	21,31	100,00%
Máx. FP (kW)	588,74	681,50	13,61%
Máx. P (kW)	0,00	49,50	100,00%
Mín. FP (kW)	263,60	?	
Mín. P (kW)	0,00	?	
Dcontr FP (kW)	590,00	740,00	20,27%
Dcontr P (kW)	-	50,00	-
FC FP	0,66	0,58	-14,78%
FC P	-	0,43	-
Tarifa Cons. FP (R\$/kW)	0,067904	0,067904	0,00%
Tarifa Cons. P (R\$/kW)	0,350000	0,142831	-145,04%
Tarifa Demanda FP (R\$/kW)	7,228916	7,228916	0,00%
Tarifa Demanda P (R\$/kW)	-	21,759036	-
Cons. Estim. FP (kWh)	259068,83	283101,75	8,49%
Cons. Estim. P (kWh)	0,00	1406,25	100,00%
Preço Méd Unit. FP (R\$/kWh)	0,0844	0,0868	2,80%
Preço Méd Unit P (r\$/kWh)	-	0,9165	-
TC*Cons. Estim FP (R\$)	17591,71	19223,63	8,49%
TC*Cons. Estim P (R\$)	0,00	200,86	100,00%
TD*Dem. Tarif. FP(R\$)	4265,06	5349,40	20,27%
TD*Dem. Tarif. P(R\$)	-	1087,95	-
Tarifa Total (R\$)	21856,77	25861,84	15,49%

**TABELA 7.5 – COMPARAÇÃO DOS DADOS DO QUADRIMESTRE COM OS OBTIDOS NA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS PROPOSTOS**

É importante salientar que o preço médio unitário pago é inferior (aprox. 2,5%) ao obtido pelo sistema atual, uma vez que possibilita um melhor aproveitamento da energia contratada.

Observa-se também que a demanda contratada para os horários fora de ponta (já que não existirão horários de ponta com funcionamento de cargas) é aprox. 20% menor que a atual e disponibiliza um consumo médio de aprox. 8,5% menor que o encontrado hoje na fábrica.

## 7.2. CONCLUSÕES

Com o intuito de promover um melhor aproveitamento de energia elétrica aliada com a preocupação em garantir um uso mais racional dos recursos naturais, desenvolveu-se inicialmente a análise do processo produtivo em funcionamento na empresa para, logo a seguir, propor uma organização nos horários de funcionamento de cada equipamento, pertinente às características da produção vigente.

Nesta análise inicial, buscou-se registrar as principais informações dos processos produtivos e dos equipamentos elétricos utilizados, uma vez que estes são utilizados na criação do modelo de Programação Linear Inteira.

O uso de um *software* de *interface* simples mostrou-se muito útil no auxílio à criação de Problemas de PLI, haja visto que no mínimo tem-se quatro problemas para um mesmo estereótipo encontrado (modelos azul-dias úteis, azul-finais semana e feriados, verde-dias úteis, verde-finais semana e feriados). O *software Geralindo 1.1*, desenvolvido em linguagem Delphi 5.0, permite boa versatilidade na criação de problemas de PLI para qualquer das três formas tarifárias: horo-sazonal azul, horo-sazonal verde e convencional. Permite ainda, além de adequar a função objetivo do problema aos moldes do sistema tarifário escolhido, a criação de grupos de restrições com janelas que permitem interação direta com o usuário. Em outras palavras, pode-se definir, entre outros: horários ou faixas de horários de partida de cada equipamento e potências máximas permitidas, tanto nos horários de ponta como fora de ponta.

Como, tanto o número de variáveis binárias quanto o de restrições necessárias são consideravelmente grandes para o problema montado, o *Geralindo 1.1* foi de grande valia na confecção de problemas de PLI. Além de permitir maior agilidade na criação, reduz consideravelmente a ocorrência de erros de digitação, que leva a criação errônea de variáveis e, consequentemente a obtenção de resultados indesejados.

Em caso de necessidade de inserção de novas restrições, que não são oferecidas pelo *Geralindo 1.1*, ou mesmo a possibilidade de alteração de alguma informação no problema de PLI proposto, tem-se condições de fazê-lo em qualquer editor de texto, no formato ASCII.

Exemplos destes editores são: Wordpad do Windows (Microsoft); Edit do DOS (Microsoft); WordPerfect (Corel); Word (Microsoft), entre outros. Os próprios editores do Lingo 6.0 ou do Lindo 5.0 podem ser utilizados.

O processo de importação pelo *Lingo 6.0* mostrou-se bastante simples, assim como sua utilização na solução dos problemas de PLI propostos. Encontrados os resultados, os mesmos foram repassados para planilhas eletrônicas, a fim de criar os gráficos que ilustram as ocupações de potência demandada por hora do dia, bem como as tabelas de uso, mencionadas neste capítulo.

As planilhas mostraram-se também, bastante eficientes no processo de avaliação dos resultados encontrados, pois permitem fácil cálculo e comparação entre os dados obtidos dos problemas de PLI e os obtidos no processo usual.

Nesta etapa, o sistema tarifário verde mostrou-se mais eficiente e econômico, haja visto que, diferentemente do sistema azul, não há contratação de demanda de ponta, mas sim uma única demanda de potência para todas as horas do dia. Com isso, de posse da ausência de alocação dos horários de ponta para uso, seria um desperdício contratar uma demanda de ponta (obrigatória por contrato) e não utilizá-la, como ocorre no sistema azul. Tal fato é apontado pelo fator de carga, que é a razão entre a potência contratada e a efetivamente utilizada, nulo neste período.

A parcela de economia a que refere foi mostrada na Tabela 7.5, sendo da ordem de 17,3% ou 15,5% ao mês, respectivamente à existência ou não de multas por ultrapassagem. Considerando que há dispositivos controladores de demanda na fábrica, bem como se obteve uma boa homogeneização do uso das cargas, a probabilidade de ocorrência de multas por ultrapassagem da demanda máxima contratada é muito pequena. Além disso, é permitido, caso necessário, dispor de até 10% acima da demanda máxima contratada sem taxação de multas desta ordem, conforme já mencionado no capítulo IV.

Desta forma, o presente estudo, norteado por apresentar uma técnica eficaz no gerenciamento de cargas elétricas, mostrou-se eficiente nos seus propósitos, onde foi possível

constatar a compatibilidade entre um modelo de Programação Linear Inteira 0-1 e sua solubilidade com uso de *softwares* comerciais, como é o caso do *LINGO 6.0*. É importante ressaltar que as dimensões do problema favoreceram esta metodologia adotada, o que talvez não fosse possível se um número maior de processos fosse apresentado, haja visto que o problema é NP-árduo, como definido por HIGGINS (2001).

É fato notório que, impossibilitado de buscar a solução ótima, será preciso seguir uma das heurísticas comentadas no capítulo II. Contudo, para problemas de pequeno porte como o desenvolvido neste trabalho, a formulação utilizada mostrou-se muito eficiente.

Contudo, o que pode ser o maior empecilho na procura por soluções para problemas como este não é a busca por métodos, maneiras de resolver ou mesmo de elaborar formulações que absorvam tal problemática. O que geralmente pode vir a impossibilitar um estudo deste tipo é a forma como considera-se o problema.

Uma empresa que tem consciência do que vem a ser desperdício, no seu mais amplo significado, certamente irá dispor de ações que visem minimizar seus custos, garantindo assim um produto mais competitivo. Desperdícios de tempo, de recursos ambientais, humanos, e materiais, de espaço e outros, devem ser eliminados porque muitas vezes acabam por prejudicar o bom andamento da produção e da competitividade, à luz do sistema *Toyota* de produção, conforme o empenho eficaz e eficiente destes mestres do *Total Quality Control* (TQC) japonês.

Apesar de mais de meio século de sucesso nos resultados encontrados pelos japoneses e outras empresas que adotaram a qualidade como peça fundamental de seus processos produtivos, garantindo a otimização de recursos, como a energia elétrica, por exemplo, diversas outras mostram descaso para o uso racional de recursos, quanto mais para a qualidade. Certamente que estas empresas estão condenadas ao fracasso na competição deste mundo globalizado que se apresenta.

Garantir a competitividade de produtos e serviços irá exigir, além de um diferencial de novas tecnologias, um menor valor agregado referente ao processo produtivo. Assim, a

empresa terá um lastro maior, seja economizando em custos desnecessários, seja investindo em itens mais importantes.

De qualquer forma, a otimização de processos é fundamental na busca pela sobrevivência no mercado de produtos e serviços. A preocupação em minimizar os custos com energia elétrica é pertinente porque contribui com valor considerável, ao produto ou serviço final, de valor agregado. Contudo, como já foi dito, não basta existir apenas a preocupação com a redução dos custos. Preservar os recursos é garantir o patrimônio das futuras gerações de virão. Promover a conservar a energia é estar colaborando com a preservação do meio ambiente, haja visto estar garantindo que outro utilize bem o recurso que foi poupar por este. Em suma, promover a conservação de energia é divulgar o melhor e mais eficiente aproveitamento dos recursos existentes, os quais o homem tem o dom de transformar, mas que só Deus tem o poder de criar.

### 7.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de melhorar ainda mais os resultados apresentados neste trabalho, deixa-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar técnicas computacionais e de Programação Matemática que permitam a entrada de dados referentes às propriedades dos processos de forma que sejam disponibilizadas ao término, algumas propostas de classificação em grupos, seguindo suas características de homogeneidade para partida;
- Efetuar aprimoramentos na classificação dos dados para alimentação do *software* gerador da formulação e/ou solução do Problema de Programação Matemática;
- Solucionar o problema com outras técnicas, que permitam a criação de um número maior de grupos homogêneos de processos, permitindo uma organização ainda maior dos processos nos horários de funcionamento, pois um número maior de grupos pode permitir uma organização mais eficiente;
- Desenvolver um *software* que, além de proporcionar a geração da formulação do problema e sua importação por um outro *software* comercial, permita solucioná-lo por

métodos exatos e também por heurísticas, podendo gerar comparativos entre os resultados;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Portaria DNAEE nº 33 de 11 de fevereiro de 1988. Dispõe sobre conceitos e terminologias da estrutura tarifária horosazonal. Relator: Getúlio Lamartine de Paula Fonseca. **Legislação Básica do setor elétrico brasileiro - Portarias**, v.3, p.47-51.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Portaria DNAEE nº 1.569 de 23 de dezembro de 1993. Dispõe sobre o fator de potência de referência. Relator: Gastão Luiz de Andrade Lima. **Legislação Básica do setor elétrico brasileiro - Portarias**, v.3, p.60-64.
- BALAS, E., ZEMEL, E., A algorithm for large zero-one knapsack problems, **Operations Research**, 1980, 28, 1130-1154.
- BRANCO, C. **Energia elétrica e capital estrangeiro no Brasil**. 1<sup>a</sup> edição. São Paulo: Editora Alfa Omega.
- CARDOSO, E., KOO, R. L. Minimização do custo de produção através do remanejamento de turnos de trabalho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 14, 1981, Vitória, ES. **Anais...** S.1.: SOBRAPO, Universidade Federal do Espírito Santo, 1981, p91-105.
- CAIXETA-FILHO, J. V.. **Pesquisa Operacional**. 1<sup>a</sup> edição. São Paulo: Editora Atlas, 2001.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA - CELESC. **Conservação de energia em empresas**. Florianópolis: Agosto de 1994
- CHU, P. C., BEASLEY, J. E. A genetic algorithm for the generalised assignment problem. **Computers and Operations Research**, 1996, 24, 17-23.
- CLEMENTINO, L. D.. **A conservação de energia por meio da co-geração de energia elétrica**. 1<sup>a</sup> edição. São Paulo: Editora Érica, 2001.
- CONSELHO MUNDIAL DE ENERGIA. Estatística brasileira de energia. São Paulo: Furnas, n. 44, ano XXXIV, 1998.
- DREES, L. D., WILHELM, W. E. Schedulling experiments on a nuclear reactor using mixed integer programming. **Computers and Operations Research**, 2001, 28, 1013-1037.
- ENGECOMP. Gerenciamento eletrônico de energia elétrica. **Revista Intech**, São Paulo, 1999.
- FERREIRA, C. E., WAKABAYASHI, Yoshiko. **Combinatória Poliédrica e planos-de-corte faciais**. Campinas: Instituto de computação, Unicamp, 1996.
- FISHER, M. L., JAIKUMAR, R., VAN WASSENHOVE, L. A multiplier adjustment method for the generalised assignment problem. **Management Science**, 1986, 32, 1095-1103.
- FOULDS, L. R., WILSON, J. M. A variation of the generalised assignment problem arising in the New Zealand dairy industry. **Annals os Operations Research**, 1997, 69, 105-114.
- GOLDBARG, Marco Cesar, LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000

- GUPTA, M. e CAWTON, G.. Managerial implications of flexible manufacturing for small/medium-sized enterprises. **Technovation**, Great Britain: 1996, v.16, n. 2, p77-83
- HIGGINS, A. J. A dynamic tabu search for large-scale generalised assignment problems. **Computers and Operations Research**, 2001, 28, 1039-1048.
- HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. 2. ed. San Francisco: Holden-Day, 1974.
- LUDMER, P. Energia confiável está na base da modernidade. **Eletrociadade Moderna**, São Paulo, v.199, p50, 1990.
- MAMEDE FILHO, J., **Instalações Elétricas Industriais**. 4<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.
- MARTELLO, S., TOTH, P., Algorithms for the solution on of the 0-1 Knapsack Problems, **Computing**, 1978, 27, 93-112.
- MARTELLO, S., TOTH, P., A Branch-and-Bound Algorithm for the Zero-One Multiple Knapsack Problems, **Discrete Applied Mathematics**, 1981, 3, 275-288.
- MIRSHAWKA, V..**Aplicações de Pesquisa Operacional**. 1<sup>a</sup> edição. São Paulo: Editora Nobel, V.2, 1988
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Convenção sobre mudança no clima. **Conclusões**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/comunic-old/hidrel06.htm>> Acesso em: 12 dez. 2000.
- PRADO, Darci Santos do,. **Programação Linear**. 1<sup>a</sup> edição. Belo Horizonte/MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- SALKIN, H. M. **Integer Programming**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1975.
- SOARES, George A. et al. Otimização energética na CETREL: Diagnóstico, implementação e avaliação de ganhos In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 15, 1999, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** S.1.: SNPTEE, 1998.
- STOECKER, W. F., JONES, J. W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. 2<sup>a</sup> edição. São Paulo: Makron Books, 1985.
- TUBINO, D. F. **Sistemas de produção: a produtividade no chão de fábrica**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1999.
- YANG, S., WANG D.. A new adaptative neural network and heuristics hybrid approach for job-shop scheduling. **Computers and Operations Research**, 2001, 28, 955-971.

## APÊNDICES

### **Apêndice I: Exemplo de melhoria do fator de carga, mantendo produção**

Em uma dada planta industrial, diante do quadro a que se encontrava (curva de carga mostrada na figura A.1.a), foram adotadas medidas de melhoria para o Fator de Carga e obteve-se a curva de carga indicada pela figura A.1.b.

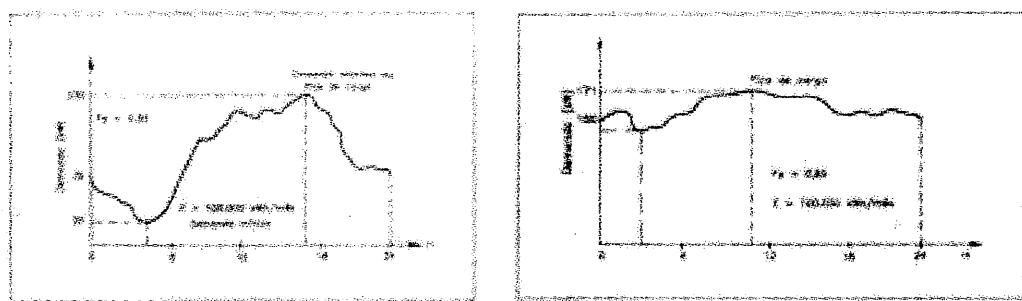


FIGURA A.1 – CURVA DE CARGA (A) ANTES E (B) DEPOIS DA REALIZAÇÃO DE MELHORIAS NO FATOR DE CARGA.

Observando-se a curva de carga antes da adoção de tais medidas, calcula-se:

Fator de Carga:

$$F_{cd} = \frac{C_{kWh}}{730 \cdot D_{máxima}} = \frac{100.000}{730 \cdot 330} = 0,41$$

Cálculo da estimativa da fatura mensal:

$$Fatura = C_{kWh} \cdot TC + D_{máx} \cdot TD$$

$$Fatura = 100.000 \cdot 0,03185 + 330 \cdot 3,84 = US\$4.452,20$$

Preço médio unitário, pago pela energia consumida (desprezando o ICMS):

$$P_{med\_unit} = \frac{TD}{D_t \cdot D_{máx}} + TC + ICMS$$

$$P_{med\_unit} = \frac{3,84}{730 \cdot 0,41} + 0,03185 + 0$$

$$P_{med\_unit} = 0,04468 \text{ US\$/kWh}$$

Onde:

TD = tarifa de demanda de energia elétrica, em US\$/kW;  
 TC = tarifa de consumo de energia elétrica, em US\$/kWh;  
 Dt = 730 horas num mês de medição;

Foi considerado o valor da tarifa industrial média brasileira, em US\$, atribuindo-se a TD o valor médio de US\$ 0,03185/kW (tarifa fora de ponta), e para TC, atribuiu-se o valor médio de US\$3,84/kW (tarifa fora de ponta).

Observando-se a curva de carga após a adoção de tais medidas, calcula-se:

Fator de Carga:

$$F_{cd} = \frac{C_{kWh}}{730 \cdot D_{máxima}} = \frac{100.000}{730 \cdot 171} = 0,80$$

Cálculo da estimativa da fatura mensal:

$$\begin{aligned} Fatura &= C_{kWh} \cdot TC + D_{máx} \cdot TD \\ Fatura &= 100.000 \cdot 0,03185 + 171 \cdot 3,84 = US\$3.841,64 \end{aligned}$$

Preço médio unitário, pago pela energia consumida (desprezando o ICMS):

$$\begin{aligned} P_{med\_unit} &= \frac{TD}{D_t \cdot D_{máx}} + TC + ICMS \\ P_{med\_unit} &= \frac{3,84}{730 \cdot 0,80} + 0,03185 + 0 \\ P_{med\_unit} &= 0,03842 \quad US\$/kWh \end{aligned}$$

Traçando um comparativo entre o estado anterior e o posterior a adoção de tais medidas, mediante o uso da fatura, tem-se uma economia resultante de:

$$\Delta F = \frac{4452,20 - 3.841,64}{4452,20} \cdot 100\% = 13,71\%$$

Observa-se que quando a demanda média aproxima-se da máxima, tem-se que o Fator de Carga também se aproxima da unidade. Entretanto, quando se tem um baixo Fator de Carga (próximo de zero) é devido a diferença considerável que existe entre os valores das demandas média e máxima. Tal separação é interessante como ponto de partida para a determinação da demanda contratada ideal, pois caso haja um alto Fator de Carga a demanda máxima é séria candidata a ser também a demanda ideal contratada, se este for o perfil da instalação operando em plena capacidade.

## **Apêndice II: Relações úteis no cálculo da conservação de energia**

Conforme CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA (1994) existem algumas relações muito importantes para avaliar o potencial de um programa de conservação energética em uma empresa, avaliando principalmente os efeitos desta no aspecto do choque ambiental causado. Na Tabela A.2 que segue, tem-se alguma destas relações:

<b>Conservado</b>	<b>Efeito</b>
1kW	U\$ 3000,00
1W	U\$ 3,00
1kWh conservado	U\$ 300,00
1Wh	U\$0,30
1W conservado	0,60 m <sup>2</sup> (área de inundação evitada)
1 árvore	4 m <sup>2</sup>
1kWh (consumo)	50 m <sup>3</sup> (50.000 litros) de agua que passa pelas turbinas.
1Wh	50 litros

Fonte: CELESC (1994)– Conservação de Energia em Empresas – pág. 05

**TABELA A.2 – RELAÇÕES DE CONSERVAÇÃO X EFEITOS**

Exemplos práticos:

Substituição de uma lâmpada incandescente de 60W por uma fluorescente compacta de 9W.

Conservação obtida:  $60-9 = 51 \text{ W}$

Possibilita:

51W conservados evitam a inundação de  $51 \times 0,6\text{m}^2 = 30\text{m}^2$ ;  
 $30\text{m}^2 / 4\text{m}^2 = 7,5$  (aprox. 7) árvores a serem plantadas;

- $51 \times \text{US}3,00 = \text{US}153,00$  que deixam de ser investidos para uma potência equivalente (no caso de uma hidrelétrica);

O consumo de um chuveiro de 4000W utilizado durante 30 minutos:

$$4000\text{W} \times 0,5 \text{ h} = 2000\text{Wh} = 2\text{kWh} \text{ (consumo).}$$

Possibilitaria:

$$2 \times 50.000 \text{ litros} = 100.000 \text{ litros de água que passam pelas turbinas.}$$

## ANEXOS

### **Anexo I: Relação dos principais equipamentos elétricos da empresa**

A seguir, apresenta-se um grupo de tabelas relacionando cargas, por setor e processo, bem como outras informações importantes.

Local: Sala de Máquinas

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Gelo	Compressor	Madef	C3	150	111,85	11/12	220/380V	Funciona juntamente com C3, além de MG1, MG2, MG3, CE1 e CE2.
Gelo	Compressor	Madef	C2	150	111,85	11/12	220/380V	Funciona juntamente com C2, além de MG1, MG2, MG3, CE1 e CE2.
Armaz.	Compressor	Sulzler	C8	300	223,71	14/16	220/380V	Apenas este compressor está em uso deviso a quantidade de matéria-prima envolvida nos processos, funciona em conjunto com (BA1 e 2, BC1, VR1 a VR4) e os CEA's.
Armaz.	Compressor	Sulzler	C7	250	186,42	-	220/380V	Apesar de não estar em uso, funciona em conjunto com (BA1 e 2, BC1, VR1 a VR4), além de outros Compressores e os CEA's.
Armaz.	Compressor	Sulzler	C6	250	186,42	-	220/380V	Apesar de não estar em uso, funciona em conjunto com (BA1 e 2, BC1, VR1 a VR4), além de outros Compressores e os CEA's.
Armaz.	Compressor	Sulzler	C5	250	186,42	-	220/380V	Apesar de não estar em uso, funciona em conjunto com (BA1 e 2, BC1, VR1 a VR4), além de outros Compressores e os CEA's.
Armaz.	Compressor	Sulzler	C4	140	104,40	-	220/380V	Apesar de não estar em uso, funciona em conjunto com (BA1 e 2, BC1, VR1 a VR4), além de outros Compressores e os CEA's.
Armaz.	Compressor	Sulzler	C1	140	104,40	-	220/380V	Apesar de não estar em uso, funciona em conjunto com (BA1 e 2, BC1, VR1 a VR4), além de outros Compressores e os CEA's.
Ar cond.	Compressor	Madef	C9	75	55,93	-	220/380V	Compressor do ar condicionado da sala. Atua junto com CE3.

**TABELA AN1.1 – CARGAS PRESENTES NA SALA DE MÁQUINAS**

Local: Túneis de congelamento

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.	Trabalha em conjunto com o
Armaz.	Evaporador	-	EA1	40	29,83	10/11	220/380V	compressor C8, para manter o Túnel 1 resfriado.	Trabalha em conjunto com o
Armaz.	Evaporador	-	EA2	40	29,83	10/11	220/380V	compressor C8, para manter o Túnel 2 resfriado.	Trabalha em conjunto com o
Armaz.	Evaporador	-	EA3	40	29,83	-	220/380V	O túnel não está em uso.	
Armaz.	Evaporador	-	EA4	40	29,83	-	220/380V	O túnel não está em uso.	

**TABELA AN1.2 – CARGAS PRESENTES NOS TÚNEIS DE CONGELAMENTO**

Local: Câmaras Frigoríficas

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.	Trabalha em conjunto com o
Armaz.	Evaporador	-	EC1	10	7,46	14/16	220/380V	compressor C8, para manter a câmara frigorífica 1 resfriada.	Trabalha em conjunto com o
Armaz.	Evaporador	-	EC2	10	7,46	14/16	220/380V	compressor C8, para manter a câmara frigorífica 2 resfriada.	Trabalha em conjunto com o

**TABELA AN1.3 – CARGAS PRESENTES NAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS**

Local: Sala Fria

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Ar cond.	Evaporador	-	ES1	23	17,15	-	220/380V	Atua junto de C9, no processo de resfriamento com NH3.

**TABELA AN1.4 – CARGAS PRESENTES NA SALA DE BENEFICIAMENTO DE PESCADO, OU, SALA FRIA**

Local: Silo do Gelo

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Gelo	Fab. Gelo	-	MG1	2	1,49	11/12	220/380V	Funciona juntamente com MG2 e MG3. Necessita ainda de C2 e C3 para compressão da NH3 e dos CE1 e CE2.
Gelo	Fab. Gelo	-	MG2	2	1,49	11/12	220/380V	Funciona juntamente com MG1 e MG3. Necessita ainda de C2 e C3 para compressão da NH3 e dos CE1 e CE2.
Gelo	Fab. Gelo	-	MG3	2	1,49	11/12	220/380V	Funciona juntamente com MG1 e MG2. Necessita ainda de C2 e C3 para compressão da NH3 e dos CE1 e CE2.
Gelo	Helicoidal	-	H1	15	11,19	4	220/380V	Sistema fixo para retirada de gelo do silo para o soprador. Atua juntamente com o soprador.

**TABELA AN1.5 – CARGAS PRESENTES NO PRÉDIO DE FABRICAÇÃO E ARMAZENAGEM DE GELO**

Local: Prédio da Manutenção

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Man. Mec.	Torno	-	MMT1	2	1,49	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que MMT2 e MMP1.
Man. Mec.	Torno	-	MMT2	2	1,49	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que MMT1 e MMP1.
Man. Mec.	Plaina	-	MMP1	2	1,49	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que MMT1 e MMT2.
Man. Mec. Maq. Solda	-	MMS1	7,5	5,59	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que MM2.	
Man. Mec. Maq. Solda	-	MMS2	7,5	5,59	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que MMS1.	
Man. Marc.	Lixadeira	-	ML1	2	1,49	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que MTU1, MG1, MPL1e MTR1.
Man. Marc.	Tupia	-	MTU1	2	1,49	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que ML1, MG1, MPL1e MTR1.
Man. Marc.	Garlopa	-	MG1	2	1,49	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que ML1, MTU1, MPL1e MTR1.
Man. Marc.	Plaina	-	MPL1	4	2,98	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que ML1, MTU1, MG1 e MTR1.
Man. Marc.	Traçador	-	MTR1	4	2,98	ev.	220/380V	Carga de uso eventual. Presente no mesmo grupo de máquinas que ML1, MTU1, MG1 e MPL1.

**TABELA AN1.6 – CARGAS DO PRÉDIO DAS MANUTENÇÕES MECÂNICA E MACENARIA**

Local: Próximo da Caixa d'água, externamente a sala de máquinas

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Gelo	Condens. Evap.	-	CE1	23	17,15	11/12	220/380V	Atua junto de C2, C3 e CE2, no processo de resfriamento com NH3 para fab. Gelo.
Gelo	Condens. Evap.	-	CE2	23	17,15	11/12	220/380V	Atua junto de C2, C3 e CE1, no processo de resfriamento com NH3 para fab. Gelo.

**TABELA AN1.7 – CARGAS PROXIMAS DA CAIXA D'ÁGUA E SALA DE MÁQUINAS**

Local: Geral

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Iluminação Lâmpadas	-	ILM1	-	5,00	Ev.	110V		Atua sempre, porém com demanda variável sobre a carga total descrita. Considera-se como de uso eventual.

**TABELA AN1.8 – CARGAS PRESENTES NA EM TODA A EMPRESA, GARANTINDO A ILUMINAÇÃO**

Local: Pier (Trapiche)

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Gelo	Helicoidal	-	H2	7,5	5,59	2	220/380V	Sistema móvel para movimentação de gelo no trapiche.
Gelo	Soprador	-	S1	60	44,74	4	220/380V	Sistema que insufla gelo escamado por dutos moles. Necessita atuar junto com H1, que retira gelo do silo.

**TABELA AN1.9 – CARGAS NO PÍER DE CARGA DE GELO E DESCARGA DE PESCADO**

Local: Torre de Resfriamento

Processo	Máquina	Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Armaz. / Ar Cond.	Bomba	-	BA1	40	29,83	14/16	220/380V	Atua junto de BA2 e BC1, além do(s) Compressor(es) e Ventiladores da Torre de resfriamento VR1 a VR4, no processo de resfriamento do gás NH3, no processo de refrigeração.
Armaz. / Ar Cond.	Bomba	-	BA2	40	29,83	-	220/380V	Atua junto de BA1 e BC1, além dos , além do(s) Compressor(es) e Ventiladores da Torre de resfriamento VR1 a VR4, no processo de resfriamento do gás NH3, no processo de refrigeração.
Armaz. / Ar Cond.	Bomba	-	BC1	20	14,91	14/16	220/380V	Atua junto de BA1 e BA2, além dos , além do(s) Compressor(es) e Ventiladores da Torre de resfriamento VR1 a VR4, no processo de resfriamento do gás NH3, no processo de refrigeração.
Armaz. / Ar Cond.	Ventilador	-	VR1	15	11,19	14/16	220/380V	Atua junto de BA1, BA2 e BC1, além dos , além do(s) Compressor(es) e Ventiladores da Torre de resfriamento VR2 a VR4, no processo de resfriamento do gás NH3, no processo de refrigeração.
Armaz. / Ar Cond.	Ventilador	-	VR2	15	11,19	14/16	220/380V	Atua junto de BA1, BA2 e BC1, além dos , além do(s) Compressor(es) e Ventiladores da Torre de resfriamento VR1, VR3 e VR4, no processo de resfriamento do gás NH3, no processo de refrigeração.
Armaz. / Ar Cond.	Ventilador	-	VR3	15	11,19	14/16	220/380V	Atua junto de BA1, BA2 e BC1, além dos , além do(s) Compressor(es) e Ventiladores da Torre de resfriamento VR1, VR2 e VR4, no processo de resfriamento do gás NH3.
Armaz. / Ar Cond.	Ventilador	-	VR4	15	11,19	14/16	220/380V	Atua junto de BA1, BA2 e BC1, além dos , além do(s) Compressor(es) e Ventiladores da Torre de resfriamento VR1 a VR3, no processo de resfriamento do gás NH3.

**TABELA AN1.10 – CARGAS PRESENTES NA TORRE DE RESFRIAMENTO**

Local: Estação Elevatória de Água (Pátio da Ala Norte)

Processo	Máquina		Marca	Design.	Pot. (HP)	Pot. (Kw)	h/dia (*)	Tensão	Obs.
Água Pot.	Bomba	-	EAP1	15	11,19	5	220/380V	Carga utilizada no abastecimento do reservatório de água potável. Uso independente.	
Água Pot.	Bomba Reserva	-	EAP2	15	11,19	5	220/380V	Carga utilizada no abastecimento do reservatório de água potável. Uso independente. Máquina reserva.	
Água Ind.	Bomba	-	EAI1	15	11,19	3	220/380V	Carga utilizada no abastecimento do reservatório de água potável. Uso independente.	
Água Ind.	Bomba Reserva	-	EAI2	15	11,19	3	220/380V	Carga utilizada no abastecimento do reservatório de água potável. Uso independente. Máquina reserva.	

**TABELA AN1.11 – CARGAS PRESENTES NA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA**

h/dia (\*) - No caso de apresentar dois valores, o primeiro é para uso nos dias úteis, e o segundo, nos finais de semana e feriados – quando não houver horário de ponta. Caso apresente apenas um valor, este será de uso em qualquer dia do mês.

## **Anexo II: Relação de classificação de cargas por processos produtivos**

Quando as cargas apresentadas no **Anexo 1** foram estudadas, formulou-se uma distribuição das mesmas quanto ao processo produtivo a que estavam inseridas. Desta forma, ficaram organizadas como mostram as tabelas que seguem:

Processo: Fab. de Gelo

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	n	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Sala Máq.	C2, C3	2	150	111,85	151,97	0,87	0,930	0,90	116,26	100,00%	232,52	Uso	232,52	220,89	
Silo Gelo	MG1, MG2, MG3	3	2	1,49	2,03	0,70	0,815	0,76	1,69	33,33%	1,69	Uso	1,69	1,60	
Prox. Cx. Água	CE1, CE2	2	23	17,15	23,30	0,85	0,793	0,85	21,64	100,00%	43,28	Uso	43,28	41,11	

**TABELA AN2.1 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO FABRICAÇÃO DE GELO**

Processo: Transb. Gelo #1

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	n	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Silo Gelo	H1	1	15	11,19	15,20	0,85	0,830	0,82	14,03	100,00%	14,03	Uso	14,03	13,33	
Pier	S1	1	60	44,74	60,79	0,87	0,910	0,89	48,05	100,00%	48,05	Uso	48,05	45,65	

**TABELA AN2.2 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO TRANSBORDO DE GELO 1**

Processo: Transb. Gelo #2

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	N	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Pier	H2	1	7,5	5,59	7,60	0,83	0,830	0,83	6,73	100,00%	6,73	Uso	6,73	6,40	

**TABELA AN2.3 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO TRANSBORDO DE GELO 2**

Processo: Sala Fria / Trat. de Pescado

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	n	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Sala Máq.	C9	1	75	55,93	75,98	0,87	0,920	0,89	59,37	100%	59,37	Não Uso	0,00	0,00	
Sala Fria	ES1	1	10	7,46						100%		Não Uso	0,00	0,00	

**TABELA AN2.4 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO SALA FRIA/TRATAMENTO DE PESCADO**

## Processo: Refrig./Armazenagem #1

Localiz.	Design.	N.º	Pot. Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot. CV	Fu	N	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Sala Máq.	C8	1	300	223,71	303,94	0,87	0,960	0,88	230,37	100,00%	230,37	Uso	230,37	218,85	
Sala Máq.	C7	1	250	186,42	253,28	0,87	0,950	0,87	196,23	100,00%	196,23	Não Uso	0,00	0,00	
Sala Máq.	C6	1	250	186,42	253,28	0,87	0,950	0,87	196,23	100,00%	196,23	Não Uso	0,00	0,00	
Sala Máq.	C5	1	250	186,42	253,28	0,87	0,950	0,87	196,23	100,00%	196,23	Não Uso	0,00	0,00	
Sala Máq.	C4	1	140	104,40	141,84	0,87	0,930	0,90	108,51	100,00%	108,51	Não Uso	0,00	0,00	
Sala Máq.	C1	1	140	104,40	141,84	0,87	0,930	0,90	108,51	100,00%	108,51	Não Uso	0,00	0,00	
Câm. Frig.	EC1	2	5	3,73	5,07	0,83	0,830	0,83	4,49	80,00%	7,19	Uso	7,19	6,83	
Câm. Frig.	EC2	2	5	3,73	5,07	0,83	0,830	0,83	4,49	80,00%	7,19	Uso	7,19	6,83	
Torre Resfr.	BA1, BA2	2	40	29,83	40,53	0,87	0,901	0,89	32,38	50,00%	32,38	Uso	32,38	30,70	
Torre Resfr.	BC1	1	20	14,91	20,26	0,85	0,831	0,73	20,90	100,00%	20,90	Uso	20,90	19,85	
Torre Resfr.	VR1, VR2, VR3, VR4	4	15	11,19	15,20	0,85	0,830	0,82	14,03	80,00%	44,90	Uso	44,90	42,66	

**TABELA AN2.5 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO  
REFRIGERAÇÃO/ARMAZENAGEM 1**

## Processo: Refrig. /Armazenagem #2

Localiz.	Design.	N.º	Pot. Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot. CV	Fu	N	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Túneis de cong.	EA1	8	5	3,73	5,07	0,83	0,830	0,83	4,49	75,00%	26,95	Uso	26,95	25,60	
Túneis de cong.	EA2	8	5	3,73	5,07	0,83	0,830	0,83	4,49	75,00%	26,95	Uso	26,95	25,60	
Túneis de cong.	EA3	8	5	3,73	5,07	0,83	0,830	0,83	4,49	75,00%	26,95	Não Uso	0,00	0,00	
Túneis de cong.	EA4	8	5	3,73	5,07	0,83	0,830	0,83	4,49	75,00%	26,95	Não Uso	0,00	0,00	

**TABELA AN2.6 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO  
REFRIGERAÇÃO/ARMAZENAGEM 2**

Processo: Est. Elevatória de Água – Potável

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	n	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Est.	EAP1,	2	15	11,19	15,20	0,85	0,830	0,82	14,03	50,00%		14,03	Uso	14,03	13,33
Elev.	EAP2														

**TABELA AN2.7 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO ESTAÇÃO. ELEVATÓRIA DE ÁGUA POTÁVEL**

Processo: Est. Elevatória de Água – Industrial

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	n	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Est.	EAI1,	2	15	11,19	15,20	0,85	0,830	0,82	14,03	50,00%		14,03	Uso	14,03	13,33
Elev.	EAI2														

**TABELA AN2.8 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO ESTAÇÃO. ELEVATÓRIA DE ÁGUA INDUSTRIAL**

Processo: Manut. Mec.

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	n	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Préd.	MMT1,	2	2	1,49	2,03	0,70	0,815	0,76	1,69	85,00%		2,87	Uso	2,87	2,72
Manut.	MMT2														
Préd.	MMP1	1	2	1,49	2,03	0,70	0,815	0,76	1,69	100,00%		1,69	Uso	1,69	1,60
Manut.															
Préd.	MMS1,	2	7,5	5,59	7,60	1,00	0,830	0,83	8,11	45,00%		7,30	Uso	7,30	6,93
Manut.	MMS2														

**TABELA AN2.9 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO MANUTENÇÃO MECÂNICA**

Processo: Manut. Marcenaria

Localiz.	Design.	N.º Máq.	Pot. HP	Pot. Watts	Pot.	CV	Fu	n	Fp	D.Indiv. (Kva)	Fs	D.Tot. (Kva)	Status	Pot. (Kva)	Pot. (kW)
Préd.	ML1	1	2	1,49	2,03	0,70	0,815	0,76	1,69	100,00%		1,69	Uso	1,69	1,60
Manut.															
Préd.	MTU1	1	2	1,49	2,03	0,70	0,815	0,76	1,69	100,00%		1,69	Uso	1,69	1,60
Manut.															
Préd.	MG1	1	2	1,49	2,03	0,70	0,815	0,76	1,69	100,00%		1,69	Uso	1,69	1,60
Manut.															
Préd.	MPL1	1	4	2,98	4,05	0,70	0,820	0,76	3,35	100,00%		3,35	Uso	3,35	3,18
Manut.															
Préd.	MTR1	1	4	2,98	4,05	0,70	0,820	0,76	3,35	100,00%		3,35	Uso	3,35	3,18
Manut.															

**TABELA AN2.10 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DESIGNADOS PARA O PROCESSO MANUTENÇÃO MARCENARIA**

### **Anexo III: Resultados obtidos com o uso do Lingo 6.0**

Após a formulação e posterior importação dos dados pelo *Lingo 6.0*, os resultados obtidos foram tabulados em forma de tabelas, que seguem:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24		
X1_1												263,6														
X1_2													263,6													
X1_3													263,6													
X1_4																									263,6	
X1_5																									263,6	
X1_6																									263,6	
X1_7																									263,6	
X1_8																									263,6	
X1_9									263,6																	
X1_10											263,6															
X1_11																									263,6	
X2_1												58,98														
X2_2												58,98														
X2_3																									58,98	
X2_4													58,98													
X3_1											6,4															
X3_2																									6,4	
X4_1	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14		
X4_2																									325,14	
X4_3																									325,14	
X4_4																									325,14	
X4_5																									325,14	
X5_1	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21		
X6_1												13,33														
X6_2																									13,33	
X6_3													13,33	13,33	13,33											
X7_1																									13,33	
X7_2													13,33	13,33												
	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68	389,68			

**TABELA AN3.1 – ESCALA DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DURANTE AS HORAS DO DIA, PARA OS DIAS ÚTEIS**

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	
X1_1																								263,6	
X1_2																								263,6	
X1_3																		263,6							
X1_4																									
X1_5																									263,6
X1_6																									
X1_7																									263,6
X1_8																									263,6
X1_9																									263,6
X1_10																									263,6
X1_11																									263,6
X1_12																									263,6
X4_1																									325,14
X4_2																									325,14
X4_3																									325,14
X4_4																									325,14
X4_5																									325,14
X4_6																									325,14
X4_7																									325,14
X4_8																									325,14
X4_9																									325,14
X4_10																									325,14
X4_11																									325,14
X4_12																									325,14
X4_13																									325,14
X4_14																									325,14
X4_15																									325,14
X4_16																									325,14

**TABELA AN3.2 – ESCALA DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DURANTE AS HORAS DO DIA, PARA OS FINAIS DE SEMANA E FERIADOS (CONTINUA)**

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24
X5_1																	51,21							
X5_2																			51,21					
X5_3							51,21																	
X5_4														51,51										
X5_5								51,21																
X5_6									51,21															
X5_7																		51,21						
X5_8																				51,21				
X5_9									51,21															
X5_10																	51,21							
X5_11							51,21																	
X6_1														13,33										
X6_2																					13,33			
X6_3																								
X7_1																						13,33		
X7_2																								
	588,74	588,74	389,68	276,93	351,8	389,68	376,35	389,68	376,35	376,65	588,74	376,35	263,6	376,35	376,35	263,6	376,35	276,93	389,68	588,74	263,6	263,6	263,6	263,6

**TABELA AN3.2 – ESCALA DE FUNCIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DURANTE AS HORAS DO DIA, PARA OS FINAIS DE SEMANA E FERIADOS (CONCLUSÃO)**

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Gelo	0	0	0	0	0	0	0	263,6	263,6	263,6	263,6	263,6
Trans#1	0	0	0	0	0	0	0	58,98	58,98	58,98	0	0
Trans#2	0	0	0	0	0	0	0	6,4	0	0	0	0
NH3	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	0	0	0	0	325,14
Túneis	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	0	0	0	0	0
Água Pot	0	0	13,33	13,33	13,33	0	0	13,33	0	0	0	0
Água Ind	13,33	13,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABELA AN3.3 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE-DIAS ÚTEIS  
(CONTINUA)**

	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24
Gelo	263,6	263,6	263,6	263,6	263,6	0	0	0	263,6	0	0	0
Trans#1	0	0	0	0	0	0	0	0	58,98	0	0	0
Trans#2	0	0	0	0	0	0	0	0	6,4	0	0	0
NH3	325,14	325,14	0	0	325,14	0	0	0	0	325,14	325,14	325,14
Túneis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,21	51,21	51,21
Água Pot	0	0	0	13,33	0	0	0	0	0	0	0	0
Água Ind	0	0	0	13,33	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABELA AN3.3 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE-DIAS ÚTEIS  
(CONCLUSÃO)**

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Gelo	263,6	263,6	0	263,6	0	0	0	0	0	0	263,6	0
NH3	325,14	325,14	325,14	0	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14	325,14
Túneis	0	0	51,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Água Pot	0	0	13,33	13,33	13,33	0	0	13,33	0	0	0	0
Água Ind	0	0	0	0	13,33	13,33	0	0	0	0	0	0

**TABELA AN3.4 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE- FINS SEMANA E FERIADOS (CONTINUA)**

	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24
Gelo	263,6	0	0	263,6	0	263,6	0	263,6	263,6	263,6	263,6	263,6
NH3	0	325,14	325,14	0	325,14	0	325,14	325,14	0	0	0	0
Túneis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Água Pot	0	0	0	0	0	13,33	0	0	0	0	0	0
Água Ind	0	0	0	0	0	0	13,33	0	0	0	0	0

**TABELA AN3.4 – DISPOSIÇÃO DOS VALORES DE POTÊNCIA POR PROCESSO X HORA EM ATIVIDADE NO PROBLEMA VERDE-FINS SEMANA E FERIADOS (CONCLUSÃO)**