



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
COORDENAÇÃO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

Título do Trabalho: **Manutenção industrial e segurança em serviços elétricos.**

Trabalho Apresentado por: **Regis Isael da Silva**
Matrícula: 20611876

Empresa: **Tenace Engenharia e Consultoria**

Período: **01/08/2007 a 31/07/2008**

Orientador: **Leimar de Oliveira**

Campina Grande – Paraíba

Agosto/2008

**MANUTENÇÃO INDUSTRIAL E SEGURANÇA EM SERVIÇOS
ELÉTRICOS.**

REGIS ISRAEL DA SILVA

MATRÍCULA: 20611876

Relatório de Estágio Integrado, realizado na Empresa Tenace Engenharia e Consultoria, apresentado como avaliação da disciplina Estágio Integrado do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como requisito para graduação no Curso de Engenharia Elétrica.

LEIMAR DE OLIVEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Campina Grande – Paraíba

Agosto/2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Março de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

A Deus que me tem dado força nas horas de fraqueza e que nunca me abandonou e desamparou durante toda minha vida.

A minha família que não mediu esforços para que eu conquistasse sucesso, principalmente.

A minha mãe Edileuza Santina Aragão da Silva, pedagoga, que com carinho me ensinou a praticar o bem não importasse a circunstância.

A meu pai Isael Manoel da Silva que sempre priorizou os estudos na nossa vida e fez com que seus três filhos se formassem em universidades públicas mesmo com todas as dificuldades.

A meus irmãos Ronaldo e Reginaldo que sempre me deram apoio durante a vida acadêmica.

A Angélica Magna por todo apoio durante a realização desse estágio.

A Lúcio Linhares coordenador de contrato da empresa Tenace que me orientou durante o exercício desse estágio.

A Jorge Lúcio Albino, líder de elétrica da Dow Química – Aratu, que me forneceu oportunidades de crescer profissionalmente dentro da empresa.

Ao professor Leimar de Oliveira que me ajudou a desenvolver minhas potencialidades mesmo quando parecia impossível, ele apresentou uma orientação valiosa.

SUMÁRIO

SIMBOLOGIA.....	7
RESUMO.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Histórico das empresas.....	10
1.1.1. Histórico da Dow Brasil Nordeste – Aratu.....	10
1.1.2. Histórico da Tenace Engenharia e Consultoria.....	11
1.2. Objetivo.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. Manutenção Elétrica	13
2.1.1. Gerenciar Equipamentos.....	14
2.1.2. Tratar Solicitações de Serviços	14
2.1.3. Planejar Serviços	15
2.1.3.1 <i>Definir as tarefas de um Serviço</i>	15
2.1.3.2 <i>Definir interdependência entre tarefas</i>	15
2.1.3.3 <i>Microplanejar Tarefas</i>	16
2.1.3.4 <i>Determinar níveis de recurso do Serviço</i>	17
2.1.3.5 <i>Orçar Serviços</i>	17
2.1.4. Gerenciar Recursos.....	17
2.1.5. Programar Serviços	18
2.1.6. Gerenciar o Andamento dos Serviços	19
2.1.7. Registrar serviços e recursos.....	19
2.1.8. Administrar Contratos / Carga de Serviços	20
2.1.9. Controlar Padrões de Serviços	21
2.1.10. Administrar Estoques	21
2.2. Tipos de Manutenção:.....	21
2.2.1. Manutenção Corretiva	21
2.2.2. Manutenção Preventiva	23
2.2.3. Manutenção Preditiva.....	24

2.2.4. Manutenção Detectiva	25
2.2.5. Engenharia de Manutenção	26
2.3. Informatização do Setor de Manutenção	27
2.3.1. Introdução: Os Sistemas de Controle	27
2.3.2. Estrutura dos Sistemas de Controle	28
2.4. Sistema de Manutenção Planejada	28
2.4.1. Conceitos	29
2.4.2. Características	29
2.4.3 Organização do SMP	30
2.4.3.1 <i>As Etapas do Sistema</i>	30
2.4.4. O Projeto de um SMP	31
2.4.5. A Documentação do SMP	32
2.5. Projeto Luminotécnico	33
2.5.1. O que é Luz ?	33
2.5.2. Luz e Cores	33
2.5.3. Fluxo Luminoso ϕ	33
2.5.4. Intensidade Luminosa	34
2.5.5. Curva de distribuição luminosa CDL	34
2.5.6. Iluminância (Iluminamento) E	35
2.5.7. Luminância L	36
2.5.8. Eficiência Energética η_w	38
2.5.9. Temperatura de cor T	39
2.5.10. Índice de reprodução de cores IRC	39
2.5.11. Fatores de Desempenho	40
2.5.12. Eficiência de luminária (rendimento da luminária) η_l	40
2.5.13. Eficiência do Recinto η_R	40
2.5.14. Índice do Recinto K	41
2.5.15. Fator de Utilização F_u	42
2.5.16. Eficiência do Recinto	42
2.5.17. Eficiência da Luminária	42
2.5.18. Fator de Utilização	43
2.6. Arco Elétrico e Energia Incidente	43
2.6.1. Introdução	43

2.6.2. EPI – Equipamento de Proteção Individual – Proteção contra arcos elétricos	44
2.6.3. Equipamento elétrico à prova de arco	45
2.6.4. Corrente de curto-circuito - proteção de equipamento e circuitos elétricos	46
2.6.5. Arcos Elétricos	46
2.6.6. O novo modelo matemático	48
2.6.7. Cálculo da energia do arco – Tensão entre 208 V e 15.000 Volts e configuração do equipamento dentro do modelo	50
2.6.7.1. <i>Corrente de arco elétrico</i>	50
2.6.7.2. <i>Energia Incidente Normalizada</i>	51
2.6.7.3. <i>Energia Incidente</i>	52
2.6.7.4. <i>Ajuste da corrente de arco para definição da energia do arco</i>	53
3. MATERIAIS E MÉTODOS	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1. Manutenção	56
4.1.1. Ordens de Serviços	56
4.1.2. Planejar Serviços	57
4.1.2.1 <i>Definir as tarefas de um Serviço</i>	57
4.1.2.2. <i>Orçamento</i>	58
4.1.3. Gerenciamento dos Equipamentos	58
4.1.4. Gerenciar Recursos	59
4.1.5. Programar Serviços	59
4.1.6. Padrões de Serviços	59
4.2. Tipos de Manutenção Encontradas no Site	60
4.2.1. Manutenção Corretiva	60
4.2.2. Manutenção Preventiva	61
4.2.3. Manutenção Preditiva	61
4.2.4. Manutenção Detectiva	62
4.2.5. Engenharia de Manutenção	62
4.2.6. Informatização do Setor de Manutenção	63
4.3. Cálculo Luminotécnico	63
4.3.1. Levantamento do iluminamento médio de cada ambiente	64
4.3.2. Projeto luminotécnico	67
4.4. Energia Incidente	90

4.4.1. Corrente de Curto-circuito	91
4.4.2. Corrente de Arco e Energia Incidente	97
4.4.3. EPI necessário	101
5. CONCLUSÃO	103
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES.....	105
7. BIBLIOGRAFIA.....	106
8. APÊNDICE.....	108

SIMBOLOGIA

A – Ampère.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

Bus – Barramento.

C/A – Cloro Soda.

Cal – Caloria.

CCM – Central de Controle de Motores.

cd – candela.

CDL – Curva de Distribuição Luminosa [cd].

CENELEC – Comitê Européen de Normalisation Electrotechnique.

E – Energia incidente.

E – Iluminância ou Iluminamento [lux].

E_{Jou} – Energia Incidente em Joule.

$E_{\text{máx}}$ – Iluminância Máxima [lx].

E_{mcz} – Iluminância Média pelo método das Cavidades Zonais [lx].

$E_{\text{méd}}$ – Iluminância Média [lx].

$E_{\text{mín}}$ – Iluminância Mínima [lx].

E_{n} – Energia Incidente Normalizada.

EPE – Equipamento de Proteção Elétrica.

EPI – Equipamento de Proteção Individual.

F_u – Fator de Utilização.

G – Distância dos condutores.

HCl – Ácido Clorídrico.

HP – Horse Power (= 473 W).

I – Intensidade Luminosa [cd].

I_a – Corrente do arco elétrico.

I_{bf} – Corrente presumida de curto-circuito sólido trifásico simétrico valor r.m.s.

I_{cc} – Corrente de Curto-circuito Simétrico Trifásico.

IEC – International Electrotechnical Commission.

IRC ou R_a – Índice de reprodução de cores [R].

J – Joule.

K – Índice do Recinto.

K – Kelvin.

L – Luminância [cd/m^2].

lm – Lúmen.

lx – Lux.

NR – Norma Regulamentadora.

PER – Percloroetileno.

PG – Propilenoglicol.

PO – Óxido de Propileno.

pu – por unidade.

R – Resistência Elétrica.

Seq – Potência equivalente.

T – Temperatura de Cor [K].

TET – Tetracloreto de Carbono.

V – Volt.

Val – Tensão do Alimentador.

Vbs – Tensão de base do Sistema.

W – Watts.

Zeq – Impedância.

η_l – Eficiência de luminária (rendimento da luminária).

η_R – Eficiência do Recinto.

η_R – Eficiência do Recinto.

η_w ou K – Eficiência energética.

ρ – Resistividade Elétrica.

ϕ – Fluxo Luminoso [lm].

Ω – Ohm.

RESUMO

O serviço de manutenção elétrica constitui-se na conservação de todos os equipamentos, de forma que todos estejam em condições ótimas de operação quando solicitados ou, em caso de defeitos, possam ser reparados no menor tempo possível e da maneira tecnicamente mais correta. Ao longo do tempo a manutenção industrial passou de reparo de equipamentos com defeito a ciência que estuda a confiabilidade das instalações e equipamentos e analisa os custos da manutenção versus adoção de novas tecnologias. O advento da engenharia de manutenção propiciou uma enorme economia nos custos de manutenção e estabeleceu novos parâmetros, como a confiabilidade do sistema. A adequação as normas brasileiras elétricas e de ergonomia são fundamentais para garantir a rapidez e eficiência dos serviços de planejamento e manutenção elétrica. Um ambiente de trabalho bem iluminado diminui a chance de acidentes causados por falta de atenção ou cansaço físico, além de acelerar o processo produtivo e intelectual. As falhas elétricas, ou curtos-circuitos, com formação de arco são fenômenos indesejáveis que liberam uma enorme quantidade de calor. Este fenômeno, além do calor, libera partículas de metais ionizadas que podem conduzir correntes, provocar deslocamento de ar com aparecimento de alta pressão prejudicial ao sistema auditivo, emitir raios ultravioletas prejudiciais à visão e liberação de gases tóxicos como resultado da combustão dos materiais internos ao painel. Para que esse calor, chamado de Energia Incidente, não cause acidentes é necessária a determinação desse nível de energia para escolha de equipamento de proteção adequado. Na adequação a norma regulamentadora NR-10 – Segurança em serviços elétricos, tornou-se necessária a determinação da energia incidente, sobre o trabalhador, em ocasião de arco elétrico gerado por curto-circuito em painéis elétricos. Através desses cálculos pode-se garantir a segurança do trabalhador que executa a manutenção elétrica bem como na execução de uma simples manobra, determinando a roupa de proteção a arco elétrico que ele deve utilizar em caso de manobra ou manutenção.

Palavras-Chave: Manutenção, Luminotécnica, Arco Elétrico, Energia Incidente.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório se refere ao estágio integrado realizado nas instalações da multinacional Dow Brasil Nordeste – Aratu, através da empresa Tenace Engenharia e Consultoria Ltda. Apresentaremos um breve histórico das empresas em questão.

1.1. Histórico das empresas

1.1.1. Histórico da Dow Brasil Nordeste – Aratu

A *Dow Chemical Company* é uma multinacional líder entre as indústrias químicas e foi fundada em 1897 por Herbert H. Dow nos Estados Unidos. Com vendas anuais de 54 bilhões de dólares e 46 mil empregados ao redor do mundo a Dow é uma diversificada indústria química que desenvolve novas tecnologias na área química e automotiva e que valoriza, sobretudo a segurança dos seus funcionários e de seus produtos.

A Dow Brasil Nordeste Ltda. é o segundo e maior complexo industrial da Dow no Brasil está localizado no centro industrial de Aratu, no município de Candeias, a 60km de Salvador, Rodovia Matoim, s/n Rotula 3, Z.I.P. Candeias – BA, CEP 43800-000. Essa unidade iniciou suas atividades em 1977, possui 5.2 milhões m² de área e abriga as fábricas de Óxido de Propileno (PO), Propilenoglicol (PG), Percloroetileno (PER), Tetracloroeto de Carbono (TET), Cloro Soda (C/A), e Ácido Clorídrico (HCl).

Ainda opera um terminal marítimo que movimenta cargas para o mercado local, Estados Unidos, Ásia, Europa e América Latina.

A Dow Aratu, como é mais conhecida, é referência em segurança, saúde, e preservação do meio ambiente e é detentora de diversos prêmios nacionais e internacionais nessa área.

1.1.2. Histórico da Tenace Engenharia e Consultoria

A Tenace foi fundada em 1986 na Bahia e é uma empresa dinâmica, prestadora de serviços técnicos nos segmentos de construção civil, montagem e manutenção industrial. Iniciou-se nas atividades de elétrica e instrumentação, atuando nestas disciplinas durante longo período e conquistando a confiança e fidelização do mercado. Devido à performance alcançada nos serviços executados, os clientes incentivaram sua participação nas atividades de tubulação, mecânica e construção civil, o que aconteceu em 1998, quando a empresa reestruturou-se e expandiu seu mercado para atividades multidisciplinares.

A sede administrativa da Tenace fica na Rua Itatuba, 201. Ed. Cosmopolitan Mix, Andar 4º e 12º, Brotas, Salvador, BA, CEP 40279-700. A Tenace ainda possui uma sede de apoio na cidade de Camaçari – BA, onde concentra alguns serviços na área de segurança, treinamento e recursos humanos.

A Tenace possui um quadro de mais de 2.000 funcionários entre administrativos, técnicos, inspetores de qualidade, especialistas em segurança e meio ambiente, eletricitas, instrumentistas, soldadores, caldeireiros, mecânicos, pedreiros, etc.

Empresa certificada na ISO-9001-2000 – Qualidade, na OHSAS 18001:1999 – Segurança e Saúde Ocupacional e no Sistema de Gestão Ambiental – ISO 14001:2004.

Possui atuação Geográfica no Brasil em São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Pará e Amazonas. No exterior na Argentina e Angola.

Tem como principais clientes: BAHIAGÁS, CARAÍBA METAIS, CETREL, GRUPO BRASKEM (Petroquímicas), DETEN, DOPEC (*DOW Automotive*), DUSA BRASIL, GRUPO DOW (Químicas / Petroquímicas), MG POLÍMEROS, OXITENO, PETROBRÁS (Produção *On/Off-Shore*, Refinarias), POLITENO, PROMON e TRANSPETRO (Dutos e Terminais).

A Tenace apresenta um crescimento anual de 15%, e faturamento no ano de 2007 de 20 milhões se consolida como referência em manutenção industrial especialmente manutenção elétrica.

1.2. Objetivo

Este relatório apresenta os conhecimentos adquiridos durante a realização do estágio, bem como mostra os conhecimentos aplicados para execução das tarefas envolvidas.

Serão abordados aspectos da manutenção elétrica em um site de uma indústria química, bem como a tendência de adequação as normas regulamentadoras NR-10 – Segurança em serviços elétricos, e NR-17 – Ergonomia.

Constará um projeto luminotécnico para as instalações da Tenace a fim de adequação as normas de ergonomia e níveis de iluminância de um dado ambiente e por fim será abordado o principal tema desse relatório que é a determinação da Energia Incidente, energia essa que incide sobre o funcionário quando da ocorrência de arco elétrico em painéis elétricos sob manutenção, com a finalidade de determinar a roupa de proteção mais adequada a cada painel da empresa.

Para isso será mantido o sigilo profissional e os dados aqui apresentados serão somente para fim de estudo, não tendo relação com a realidade dos cálculos realizados na Dow.

A importância do cálculo da energia incidente fica notória com os exemplos que serão apresentados de valores de energia que um painel, aparentemente inofensivo, pode emitir em ocasião de um curto, devido às várias contribuições dos equipamentos elétricos componentes do sistema elétrico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Manutenção Elétrica

O serviço de manutenção elétrica, de uma forma geral, constitui-se na conservação de todos os equipamentos, de forma que todos estejam em condições ótimas de operação quando solicitados ou, em caso de defeitos, estes possam ser reparados no menor tempo possível e da maneira tecnicamente mais correta. Ao longo do tempo a manutenção industrial passou de mero reparo de equipamentos que apresentam defeito a uma ciência que estuda a confiabilidade das instalações e equipamentos e analisa os custos da manutenção versus adoção de novas tecnologias.

O quadro 2.1 abaixo nos dá uma idéia sobre a manutenção através dos tempos.

Quadro 2.1 – Evolução da manutenção através do tempo

Primeira Geração Antes de 1940	Segunda Geração 1940 1970	Terceira Geração Após 1970
Aumento da expectativa em relação à manutenção		
Conserto após a falha	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior disponibilidade e confiabilidade • Melhor custo-benefício • Maior segurança • Melhor qualidade dos produtos • Preservação do meio ambiente
Mudanças nas técnicas de manutenção		
Conserto após a falha	<ul style="list-style-type: none"> • Computadores grandes e lentos • Sistemas manuais de planejamento e controle do trabalho • Monitoração por tempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoração por condição • Projetos voltados para confiabilidade e manutenibilidade • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Análise de modos e efeitos de falha (FMEA) • Grupos de trabalhos multidisciplinares

Fonte: (adaptado de Pinto e Xavier, 2001)

Na Figura 2.1, apresentamos um breve diagrama dos principais processos que integram a função Manutenção:

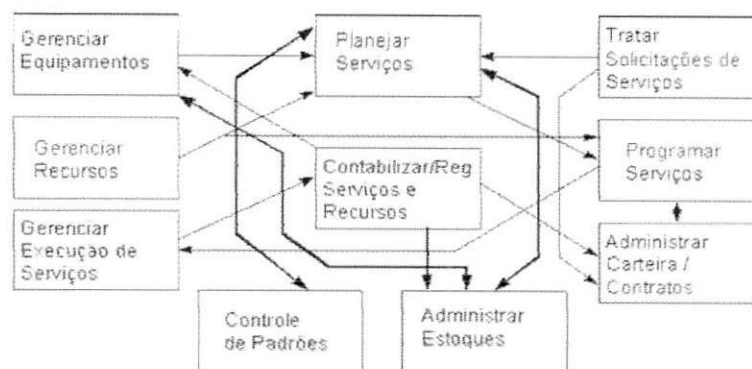


Figura 2.1 – Diagrama das Etapas da Manutenção.

Fonte: (CÂMARA; ARAÚJO e SANTOS, 2008).

2.1.1. Gerenciar Equipamentos

Engloba desde o controle dos equipamentos industriais até máquinas e ferramentas utilizadas pela manutenção. No caso da Empresa todo o processo de gerenciamento é eletrônico utilizando uma rede eletrônica privada de acesso restrito aos funcionários da empresa e aos funcionários de empresas terceirizadas responsáveis pelas diversas etapas de manutenção, existem softwares específicos para gerenciar equipamentos.

2.1.2. Tratar Solicitações de Serviços

Este processo trata das solicitações que chegam à manutenção. Estas solicitações incluem os pedidos da área operacional, as recomendações de inspeção, os pedidos da preventiva e da preditiva. A programação de preventiva e/ou preditiva pode ser tratada como solicitação de serviços. No caso da Empresa existem softwares que já registram a os serviços de manutenção preventiva e preditiva como serviço planejado e na fila de execução, a Tenace programa a manutenção preventiva e preditiva baseada nesse banco de dados.

2.1.3. Planejar Serviços

Este processo é quase instantâneo para serviços simples, mas pode demandar até meses, no caso de planejamento de uma complexa parada de manutenção. Assim, para melhor entendê-lo, convém analisarmos os processos internos de que ele é composto. Mas antes, vejamos o significado do termo “serviço” no contexto aqui exposto:

Um “serviço” é um conjunto de atividades inter-relacionadas, com um objetivo bem definido, e que, como um todo, incorpora um benefício de valor e para o qual se deseja um controle de recursos consumidos (também denominado Empreendimento ou Obra). Assim um Serviço pode ser uma Ordem de Serviço ou muitas Ordens de Serviço com um dado fim.

2.1.3.1 Definir as tarefas de um Serviço

Um serviço, numa visão macro, é composto de vários serviços menores, até que, na menor unidade de serviço tenhamos a “tarefa” (em alguns softwares é denominada de item ou etapa). Uma tarefa é caracterizada como uma atividade contínua, executada por uma mesma equipe, com início e fim definidos no tempo. Em softwares de planejamento de paradas, por exemplo, o conceito de Work Breakdown Structure (WBS) é uma espécie de subdivisão de serviços até chegar ao conceito de tarefa.

Existem softwares que contêm Serviços Padrões (ou Ordens de Serviço Padrões). Estes softwares, neste processo, permitem gerar as tarefas a partir de itens dos serviços padrões. Convém avaliar a facilidade/dificuldade para realizar esta operação.

2.1.3.2. Definir interdependência entre tarefas

Para a execução de serviços mais complexos, é necessário um número razoável de tarefas. Torna-se também necessário definir a seqüência que as tarefas devem ser executadas. Para isto, é necessário definir quais etapas devem ser executadas primeiro, e qual o tipo de vinculação entre elas. As vinculações possíveis entre duas tarefas são:

- Término-Início - Uma tarefa só inicia quando sua antecessora é concluída.
- Início-Início - Uma tarefa só pode iniciar quando outra a ela vinculada também inicia.
- Término-Início/retardo - Uma tarefa só inicia após X intervalos de tempo do término de outra etapa (ou antes de outra terminar em X intervalos de tempo).
- Início-início/retardo - Uma tarefa só inicia após ter decorrido X intervalos de tempo do início de outra tarefa.

Os sistemas que gerenciam os serviços do dia a dia normalmente usam apenas a vinculação término/início. Já, os mais modernos sistemas de gerência de serviços de parada (e/ou projetos) usam os 4 tipos de vinculações acima.

Naturalmente, estruturas simples de manutenção, onde há poucos serviços complexos, podem conviver sem necessidade de definir interdependência entre tarefas. A interdependência entre tarefas já está, como experiência de trabalho, na cabeça dos executantes.

2.1.3.3. Microplanejar Tarefas

Por microplanejar tarefas entende-se definir com antecedência (e registrar num sistema mecanizado) os materiais que serão utilizados no serviço, as ferramentas, os recursos humanos, duração estimada, detalhar instruções, associar procedimentos. Obviamente, para associar estas facilidades ao serviço planejado, o sistema deverá dispor de um módulo de material (ou uma interface com um sistema externo de materiais), um banco de procedimentos (separados por categoria de serviços ou classe de equipamentos para facilitar a pesquisa), algum cadastro de ferramentas e possibilidade de associar às tarefas um texto livre (para instruções) que possa ser listado junto com os serviços programados.

2.1.3.4. Determinar níveis de recurso do Serviço

Este processo implica em determinar com quantos recursos e em quanto tempo um ou mais serviços podem ser executados. É muito usado no planejamento de paradas e denomina-se “nivelamento de recursos”. Consiste em calcular, dado um determinado nível de recursos, em quanto tempo o serviço poderá ser executado ou, alternativamente, dado o tempo, qual a quantidade mínima de recursos necessários. As técnicas mais usadas para este cálculo são o PERT e/ou o CPM. Existem sistemas que determinam o nível de recursos (ou histograma de recursos) também na programação de serviços rotineiros. Outros sistemas executam apenas a “programação mecanizada” de serviços em função de recursos definidos.

2.1.3.5. Orçar Serviços

Um processo útil à manutenção é o que permitiria uma orçamentação prévia dos serviços sem maiores dificuldades. Para viabilizar este processo por computador, é necessário que as tabelas de recursos (humanos e de máquinas) tenham os custos (facilmente atualizáveis) por hora (ou pelo menos que permitam facilmente levantar o custo unitário). As tabelas de materiais também devem ter seus custos atualizados, bem como deve-se ter acesso a custos de execução por terceiros. Convém não esquecer que a estrutura tem um custo chamado “indireto” que é o custo da folha das chefias, do staff técnico e administrativo, e que se deve ter uma noção do percentual de acréscimo aos custos diretos que este custo indireto representa.

2.1.4. Gerenciar Recursos

Este processo contempla o controle de disponibilidade de recursos humanos e sua distribuição pelas diversas plantas da fábrica. Por controle de disponibilidade significa saber quantas pessoas de cada função estão disponíveis a cada dia nas diversas plantas. Significa também controlar quem está afastado e por que motivos, além do controle da quantidade e

especialização de equipes contratadas. O processo abrange também o controle de ferramentaria e de máquinas especiais. O controle de materiais é objeto de um outro processo, aqui denominado “Administrar Estoques”.

Este processo é especialmente importante quando se utilizam sistemas que façam a programação mecanizada de serviços, pois a mesma depende da exatidão da tabela de recursos disponíveis.

2.1.5. Programar Serviços

A programação de serviços significa definir diariamente que tarefas dos serviços serão executadas no dia seguinte, em função de recursos disponíveis e da facilidade de liberação dos equipamentos. Se os serviços tiverem prioridades definidas em função de sua importância no processo (o mais usual é atribuir quatro prioridades - A = Emergência, B = Urgência, C = Normal Operacional, D = Normal não operacional), fica fácil programar. Primeiro programa-se os serviços com prioridade mais alta, depois os da segunda prioridade e assim por diante, até esgotar a tabela de recursos. Cabe lembrar que muitos serviços poderão ter data marcada para sua execução, e outros não poderão ser programados por impedimentos (ou bloqueios) diversos (falta material, falta ferramentas, necessita de mais planejamento, não pode liberar).

Esta é a teoria adotada pelos programas que determinam a programação mecanizada de serviços. Outros programas não calculam a programação mecanizada, mas fornecem subsídios para o usuário montar rapidamente uma programação de boa qualidade. Fornecem tabelas com os serviços classificados em ordem decrescente de prioridade, e o usuário rapidamente assinala quais serviços serão feitos no dia seguinte. Caso o usuário assinale mais serviços do que os recursos disponíveis, o sistema emite um alerta. Outros sistemas simplesmente não fazem nada relativo a este processo. O usuário marca o dia que deseja os serviços sejam programados, e, chegado o dia, o sistema simplesmente lista estes serviços. Se o usuário programou mais serviços do que a disponibilidade de recursos, na hora de executá-los, descobrirá que muitos não foram iniciados por absoluta falta de recursos.

A experiência tem mostrado que onde há poucas pessoas para gerenciar muitos serviços, o ideal é um sistema com programação mecanizada. De preferência que permita fazer pequenos ajustes manuais na programação.

Já, para estruturas simples de manutenção, ou estruturas totalmente descentralizadas, com volume de serviços (e equipes) pequenas em cada posto (ate umas 15 a 20 pessoas no total), não há necessidade de programação mecanizada. Um sistema semi-mecanizado como o descrito acima facilita bastante. Em estruturas muito enxutas ou com pequena diversidade de serviços nem há necessidade de apoio de informática para definir a programação.

E nas estruturas que boa parte da manutenção foi terceirizada? Aí depende de como funciona a terceirização. Se a contratada responsável pela manutenção elabora a sua própria programação, o problema passa a ser dela. Caso contrário, dependendo do porte da estrutura, pode até ser recomendável a programação de serviços mecanizada.

2.1.6. Gerenciar o Andamento dos Serviços

Neste item se analisa o processo de acompanhamento da execução de serviços ao longo do dia a dia. Ao longo do dia constata-se que determinados serviços não poderão ser executados. Estes serviços deverão ser considerados como “impedidos”. Paralelamente, é necessário verificar se há serviços que estavam “impedidos”, mas que já podem ser executados. Além disto, é necessário avaliar, se, em função da quantidade de serviços, as equipes definidas estão no tamanho adequado (podem estar superdimensionadas ou subdimensionadas). Além disto, é necessário saber que serviços estão sendo concluídos para fazer a “Apropriação de Serviços”.

2.1.7. Registrar serviços e recursos

Neste processo estão compreendidas a “apropriação” de serviços e recursos e o registro de informações sobre o que foi feito e em que equipamento.

Existem várias formas de se “apropriar” serviços. A apropriação mais simples é a que informa o tipo de executante utilizados, quantos HH foram utilizados no serviço e se o mesmo foi concluído ou não. Se tivermos o valor do custo unitário do HH, podemos levantar o custo real de mão de obra.

Numa “apropriação” detalhada, informa-se o código do serviço e etapa, as matrículas dos executantes e hora de início e fim do trabalho de cada executante. Indica-se que materiais foram utilizados, o valor gasto com sub-contratadas e outras informações relevantes para o serviço. É interessante também a existência de uma interface com o processo “Gerenciar Equipamentos” para o registro de informações úteis para o histórico de manutenção, quando for o caso. Aqui é crucial a facilidade de operação com a tela (acesso a instruções, orientação quanto a códigos a preencher, consistência de valores, devido ao grande número de pessoas que registrará informações nesta tela).

2.1.8. Administrar Contratos / Carga de Serviços

Este processo abrange desde o processo de elaboração, fiscalização e controle de qualidade dos contratos até o acompanhamento orçamentário da manutenção; a análise dos desvios em relação ao previsto; tempos médios para iniciar o atendimento e para atender, por prioridade, por planta, etc.; e a quantificação de benefícios incorporados à organização em função da execução de serviços. Este processo também é chamado de “informações gerenciais”.

Para que este processo funcione adequadamente, tornam-se necessárias as seguintes atividades:

- Acompanhamento orçamentário - previsto x realizado (por conta, área, etc.)
- Durações prevista x executada dos serviços (por tarefa / OT, por área, por planta e outras categorias)
- Tempo médio entre o pedido e início do atendimento das Ots por prioridade
- Duração média dos serviços
- Carga de serviços futuros (backlog independente e condicionado)
- Estatísticas variadas (Percentual de serviços por prioridade, por área, por planta, etc.)
- Alguns outros indicadores de manutenção

2.1.9. Controlar Padrões de Serviços

Este processo abrange o controle de serviços padrões (Ordens de Trabalho Padrão), cadastro de procedimentos e outros padrões pertinentes à manutenção.

Ao criar uma Ordem de Trabalho, as suas tarefas podem ser geradas a partir de uma OT padrão específica, bem como cada tarefa pode ser associada a um determinado procedimento .

Para minimizar o tempo na frente do computador, é recomendável que a manutenção crie um conjunto de OTs padrões que abranja os serviços mais repetitivos de manutenção. E para assegurar qualidade em serviços mais complexos, necessário se faz associar procedimentos aos mesmos.

2.1.10. Administrar Estoques

O controle de Estoques, na maioria das empresas, foi informatizado antes que o restante da manutenção. Adicionalmente, em muitas organizações, a área de Estoques, é organizacionalmente desvinculada da manutenção. Pelo fato de o número de itens a controlar ser significativo e de os algoritmos lógicos relativos a este processo serem mais simples, desde há muito tempo existem sistemas mecanizados de boa qualidade que atendem a estoques.

2.2. Tipos de Manutenção:

2.2.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é a forma mais óbvia e mais primária de manutenção; pode sintetizar-se pelo ciclo “quebra-repara”, ou seja, o reparo dos equipamentos após a avaria.

Constitui a forma mais cara de manutenção quando encarada do ponto de vista total do sistema. Pura e simples, conduz a:

- Baixa utilização anual dos equipamentos e máquinas e, portanto, das cadeias produtivas;
- Diminuição da vida útil dos equipamentos, máquinas e instalações;
- Paradas para manutenção em momentos aleatórios e muitas vezes, inoportunos por corresponderem a épocas de ponta de produção, a períodos de cronograma apertado, ou até a épocas de crise geral.

É claro que se torna impossível eliminar completamente este tipo de manutenção, pois não se pode prever em muitos casos o momento exato em que se verificará um defeito que obrigará a uma manutenção corretiva de emergência.

Apesar de rudimentar, a organização corretiva necessita de:

- Pessoal previamente treinado para atuar com rapidez e proficiência em todos os casos de defeitos previsíveis e com quadro e horários bem estabelecidos;
- Existência de todos os meios materiais necessários para a ação corretiva que sejam: aparelhos de medição e teste adaptados aos equipamentos existentes e disponíveis, rapidamente, no próprio local;
- Existência das ferramentas necessárias para todos os tipos de intervenções necessárias que se convencionou realizar no local;
- Existência de manuais detalhados de manutenção corretiva, referentes aos equipamentos e às cadeias produtivas, e sua fácil acessibilidade;
- Existência de desenhos detalhados dos equipamentos e dos circuitos que correspondam às instalações atualizados;
- Almoxarifado racionalmente organizado, em contato íntimo com a manutenção e contendo, em todos os instantes, bom número de itens acima do ponto crítico de encomenda;
- Contratos bem estudados, estabelecidos com entidades nacionais ou internacionais, no caso de equipamentos de alta tecnologia cuja manutenção local seja impossível;
- Reciclagem e atualização periódicas dos chefes e dos técnicos de manutenção;
- Registros dos defeitos e dos tempos de reparo, classificados por equipamentos e por cadeias produtivas (normalmente associadas a cadeias de manutenção);

- Registro das perdas de produção (efetuado de acordo com a operação-produção) resultantes das paradas devidas a defeitos e a parada para manutenção.

2.2.2. Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva, como o próprio nome sugere, consiste em um trabalho de prevenção de defeitos que possam originar a parada ou um baixo rendimento dos equipamentos em operação. Esta prevenção é feita baseada em estudos estatísticos, estado do equipamento, local de instalação, condições elétricas que o suprem, dados fornecidos pelo fabricante (condições ótimas de funcionamento, pontos e periodicidade de lubrificação, etc.), entre outros. Dentre as vantagens, podemos citar:

- Diminuição do número total de intervenções corretivas, aligeirando o custo da corretiva;
- Grande diminuição do número de intervenções corretivas ocorrendo em momentos inoportunos como por ex: em períodos noturnos, em fins de semana, durante períodos críticos de produção e distribuição, etc;
- Aumento considerável da taxa de utilização anual dos sistemas de produção e de distribuição.

A organização preventiva: Para que a manutenção preventiva funcione é necessário:

- Existência de um escritório de planejamento da manutenção (Gabinete de Métodos) composto pelas pessoas mais altamente capacitadas da manutenção e tendo funções de preparação de trabalho e de racionalização e otimização de todas as ações. Daqui advém uma manutenção de maior produtividade e mais eficaz.
- Existência de uma biblioteca organizada contendo: manuais de manutenção, manuais de pesquisas de defeitos, catálogos construtivos dos equipamentos, catálogos de manutenção (dados pelos fabricantes) e desenhos de projeto atualizados (*as built*).
- Existência de fichários contendo as seguintes informações:

- Fichas históricas dos equipamentos contendo registro das manutenções efetuadas e defeitos encontrados;
- Fichas de tempos de reparo, com cálculo atualizado de valores médios;
- Fichas de planejamento prévio normalizado dos trabalhos repetitivos de manutenção. Nestas fichas contém-se: composição das equipes de manutenção, materiais, peças de reposição e ferramentas, PRRT, com a seqüência lógica das várias atividades implicadas;
- Existência de *planning's* nos quais se mostram os trabalhos em curso e a realizar no próximo futuro. Devem existir *planning's* locais nas oficinas;
- Existência de um serviço de emissão de requisições ou pedidos de trabalho, contendo a descrição do trabalho, os tempos previstos, a lista de itens a requisitar e a composição da equipe especializada;
- Emissão de mapas de rotinas diárias;
- Existência de um serviço de controle, habilitado a calcular dados estatísticos destinados à confiabilidade e à produção;
- Existência de um serviço de emissão de relatórios resumidos das grandes manutenções periódicas;
- Existência de interações organizadas com o almoxarifado e os serviços de produção.

2.2.3. Manutenção Preditiva

Manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de CONDIÇÃO ou DESEMPENHO, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

O objetivo deste tipo de manutenção é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. É a primeira grande quebra de paradigma na manutenção, e tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitam avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento.

A Figura 2.2 ilustra o processo de manutenção preditiva: quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite estabelecido, é tomada a decisão de intervenção.

Normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas relacionadas com a produção.

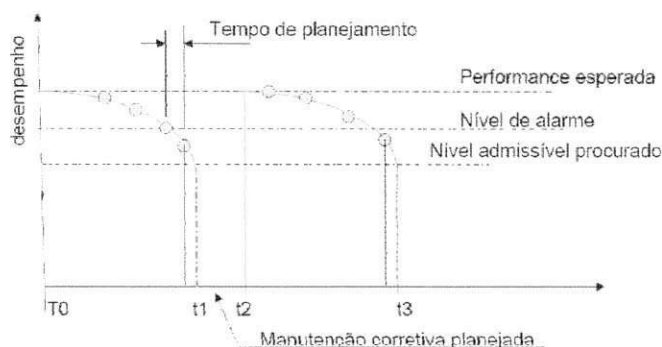


Figura 2.2 – Gráfico ilustrativo da manutenção preditiva.

Fonte: Adaptado de (CÂMARA; ARAÚJO e SANTOS, 2008).

Condições básicas:

- O equipamento, o sistema ou a instalação deve permitir algum tipo de monitoramento / medição;
- O equipamento, o sistema ou a instalação deve merecer esse tipo de ação, em função dos custos envolvidos;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;

Deve ser estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado;

É fundamental que a mão-de-obra da manutenção responsável pela análise e diagnóstico seja bem treinada. Não basta medir; é preciso analisar os resultados e formular diagnósticos.

2.2.4. Manutenção Detectiva

Manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar FALHAS OCULTAS ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.

Ex.: o botão de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis.

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação.

É cada vez maior a utilização de computadores digitais em instrumentação e controle de processo nos mais diversos tipos de plantas industriais.

São sistemas de aquisição de dados, controladores lógicos programáveis, sistemas digitais de controle distribuídos - SDCD, multi-loops com computador supervisor e outra infinidade de arquiteturas de controle somente possíveis com o advento de computadores de processo.

A principal diferença é o nível de automatização. Na manutenção preditiva, faz-se necessário o diagnóstico a partir da medição de parâmetros; na manutenção detectiva, o diagnóstico é obtido de forma direta a partir do processamento das informações colhidas junto à planta.

Há apenas que se considerar, a possibilidade de falha nos próprios sistemas de detecção de falhas, sendo esta possibilidade muito remota. De uma forma ou de outra, a redução dos níveis de paradas indesejadas por manutenções não programadas, fica extremamente reduzida.

2.2.5. Engenharia de Manutenção

É uma nova concepção que constitui a segunda quebra de paradigma na manutenção. Praticar engenharia de manutenção é deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar feedback ao projeto, interferir tecnicamente nas compras. Ainda mais: aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção de primeiro mundo.

Em seguida temos o quadro 2.2, comparativo com relação aos custos dos diversos tipos de manutenção.

Quadro 2.2 – Comparação de custos (1998)

Tipo de Manutenção	Custo USS/HP/ano
Corretiva Não Planejada	17 a 18
Preventiva	11 a 13
Preditiva e Monitoramento de Condição / Corretiva Planejada	7 a 9

Obs: HP (Horse Power) é a potência instalada.

2.3. Informatização do Setor de Manutenção

2.3.1. Introdução: Os Sistemas de Controle

Para harmonizar todos os processos que interagem na manutenção, é fundamental a existência de um Sistema de Controle da Manutenção. Ele permitirá, entre outras coisas, identificar claramente:

- Que serviços serão feitos;
- Quando os serviços serão feitos;
- Que recursos serão necessários para a execução dos serviços;
- Quanto tempo será gasto em cada serviço;
- Qual será o custo de cada serviço, custo por unidade e custo global;
- Que materiais serão aplicados;
- Que máquinas, dispositivos e ferramentas serão necessárias.

Além disso, o sistema possibilitará:

- Nivelamento de recursos - mão-de-obra;
- Programação e máquinas operatrizes ou de elevação e carga;
- Registro para consolidação do histórico e alimentação de sistemas especialistas;
- Priorização adequada dos trabalhos.

2.3.2. Estrutura dos Sistemas de Controle

Com base nas estruturas da manutenção, discutidas no capítulo anterior, foi desenvolvido o Diagrama de Fluxo e dados da Figura 2.3. O diagrama apresentado permite visualizar, de modo global, os processos que compõem a estrutura do controle e planejamento da manutenção.

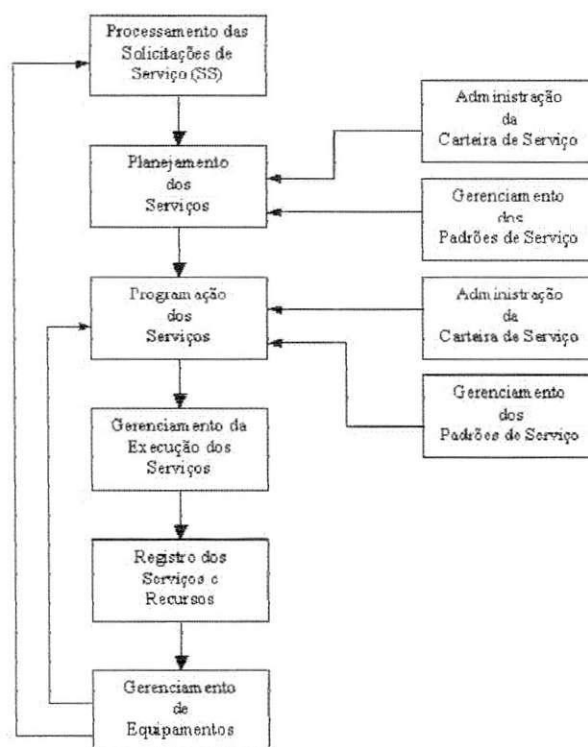


Figura 2.3 – Diagrama de Fluxo de Dados

A seguir estão detalhados os principais processos, constantes no diagrama, que costumam ser referidos nos softwares disponíveis no mercado como “módulos”.

2.4. Sistema de Manutenção Planejada

O sistema de Manutenção Planejada (SMP), constituído por instruções, listas e detalhamento de tarefas e de recursos necessários ao seu cumprimento, constitui-se em uma sistemática dentro do escopo da manutenção preventiva.

2.4.1. Conceitos

O Sistema de Manutenção Planejada é um método que tem como propósito permitir a máxima disponibilidade, confiabilidade e desempenho dos equipamentos e sistemas por ele abrangidos, através da otimização dos recursos disponíveis para a manutenção.

As avarias ou degradações de desempenho do material podem ocorrer basicamente por duas razões:

- a) Desgaste ou Deterioração;
- b) Falhas aleatórias.

Os sinais de desgaste ou deterioração podem ser identificados através de testes e verificações, realizados em intervalos adequados, de modo a permitir as competentes ações de manutenção corretiva. Tais atividades de manutenção, de carácter preventivo, permitirão aumentar a disponibilidade do material, reduzindo os riscos de falhas decorrentes de desgastes ou defeitos progressivos.

As falhas aleatórias, por sua própria natureza, não podem ser previstas, e o Sistema de Manutenção Planejada não se propõe a eliminar completamente as avarias do material. O sistema, no entanto, deve proporcionar as informações necessárias para o início das atividades de manutenção corretiva.

O Sistema de Manutenção Planejada consiste, essencialmente, na consolidação dos procedimentos de manutenção preventiva dos diversos equipamentos e sistemas de várias origens existentes na organização, de forma padronizada e eficiente, e com a máxima economia de meios.

2.4.2. Características

As principais características de um SMP típico são:

- As atividades de manutenção são conduzidas através de uma estrutura organizacional com vários níveis de operação. Por exemplo: Departamentos, Divisões, Seções, etc.
- As atividades de manutenção são planeadas para cada nível de operação, considerando as demais atividades da organização;

- A execução das tarefas de manutenção é descentralizada, cabendo a cada indivíduo a responsabilidade pelo cumprimento da tarefa que lhe foi atribuída;
- As atividades de cada nível de operação do sistema são controladas, de forma a assegurar a realimentação da informação;
- O funcionamento do SMP é baseado na existência, em níveis estabelecidos pelo próprio sistema, dos seguintes requisitos:
 - Documentação;
 - Equipamentos e Ferramental de Teste;
 - Sobressalentes;
 - Qualificação do Pessoal.
- Um sistema de Manutenção Planejada não entra em funcionamento por si só, nem produz resultados automaticamente. É indispensável a existência, em todos os níveis de operação do sistema, de uma atitude mental positiva, de crença e confiança na eficiência do SMP;
- Um SMP deve ter condições para permitir o início imediato das atividades de manutenção corretiva, ao ser identificada avaria durante a execução de rotinas de manutenção preventiva;
- A existência de elementos para uma contínua avaliação da eficiência do sistema, e de instrumentos para seu aperfeiçoamento, são obrigatórios para um SMP.

2.4.3 Organização do SMP

A organização de um Sistema de Manutenção Planejada pode ser visualizada, preliminarmente, através da descrição das etapas do sistema e da documentação envolvida.

2.4.3.1 *As Etapas do Sistema*

O funcionamento de um Sistema de Manutenção Planejada é composto das seguintes etapas:

a) PLANEJAMENTO

Consiste na distribuição das atividades de manutenção (rotinas de manutenção) ao longo de um período considerado como ciclo para a organização.

b) PROGRAMAÇÃO

Trata-se da programação, dentro do período básico estabelecido para a organização, das tarefas de manutenção, a partir do planejamento realizado.

c) EXECUÇÃO

É a realização, propriamente dita, das tarefas de manutenção programadas.

d) REGISTRO

Consiste no lançamento, em registros próprios, das informações relevantes obtidas durante a execução das atividades de manutenção.

e) CONTROLE

Inclui o acompanhamento das atividades, em cada nível de operação do sistema; a análise dos resultados obtidos; e a apresentação das conclusões decorrentes dessa análise.

f) ACESSÓRIOS

São os arquivos, caixas, etiquetas e demais materiais utilizados na operação do SMP.

2.4.4. O Projeto de um SMP

O Projeto de um SMP deverá seguir a seguinte seqüência:

- Definição da Lista de Equipamentos a serem incluídos no Sistema;
- Estabelecimento do Ciclo Operativo da Organização;
- Estabelecimento do período básico ou de referência do SMP;
- Definição da Hierarquia do Material;
- Definição dos níveis de Operação do SMP;
- Caracterização da Periodicidade das Rotinas;
- Definição da Documentação Básica (Plano Mestre, Programas, Tabelas, Quadros, etc.);
- Definição das Saídas do Sistema;
- Elaboração das Instruções para funcionamento.

2.4.5. A Documentação do SMP

Os documentos básicos para a operação de um sistema de Manutenção Planejada são os seguintes:

PLANO MESTRE DE MANUTENÇÃO

Contém a distribuição de todas as rotinas de manutenção ao longo do ciclo determinado.

PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO

Constam de documentos que permitem a programação, para cada dia do período básico da organização, da manutenção preventiva constante do planejamento estabelecido para o ciclo.

TABELAS E CARTÕES DE MANUTENÇÃO

São documentos em formato padronizado, extremamente detalhados, e que consistem os instrumentos para a execução de rotinas de manutenção.

REGISTROS DIVERSOS

Permitem registrar o cumprimento ou não das rotinas de manutenção; as informações relevantes para o histórico dos sistemas e equipamentos; e demais dados de interesse para o SMP.

QUADROS DIVERSOS

Têm a finalidade de permitir a programação, divulgação e acompanhamento da manutenção planejada, através da apresentação visual e de fácil acesso aos interessados.

INSTRUÇÕES PARA O FUNCIONAMENTO

Estas instruções estabelecem o ciclo de operação e o período básico do SMP; os níveis de operação; a composição hierárquica das rotinas de manutenção; descrição do sistema; e finalmente as instruções e fluxograma de funcionamento.

2.5. Projeto Luminotécnico

2.5.1. O que é Luz ?

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas. Elas possuem diferentes comprimentos, e o olho humano é sensível a somente alguns. Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual. A sensibilidade visual para a luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade.

2.5.2. Luz e Cores

Podemos ver que a luz é composta por três cores primárias. A combinação das cores vermelho, verde e azul permite obtermos o branco. A combinação de duas cores primárias produz as cores secundárias - magenta, amarelo e cyan. As três cores primárias dosadas em diferentes quantidades permite obtermos outras cores de luz. Da mesma forma que surgem diferenças na visualização das cores ao longo do dia (diferenças da luz do sol ao meio-dia e no crepúsculo), as fontes de luz artificiais também apresentam diferentes resultados. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, tendem a reproduzir com maior fidelidade as cores vermelha e amarela do que as cores verde e azul, aparentando ter uma luz mais “quente”.

2.5.3. Fluxo Luminoso φ

Fluxo Luminoso é a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda mencionados. O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento. (Figura 2.4) Símbolo: φ
Unidade: lúmen (lm)

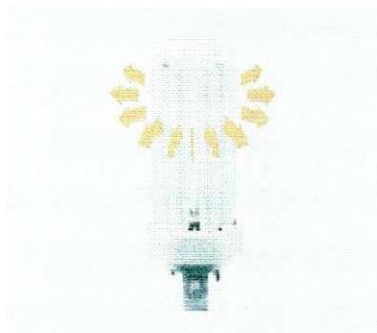


Figura 2.4 – Fluxo luminoso de uma lâmpada fluorescente compacta.

2.5.4. Intensidade Luminosa

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o Fluxo Luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor dos lúmens emitidos em cada direção. Essa direção é representada por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa. (Figura 2.5) Portanto é o Fluxo Luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Símbolo: I . Unidade: candela (cd)

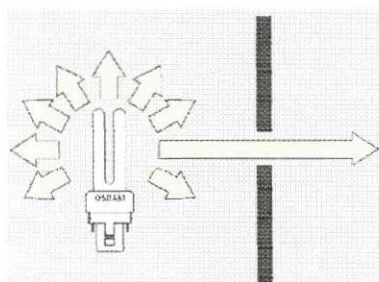


Figura 2.5 – Intensidade Luminosa.

2.5.5. Curva de distribuição luminosa CDL

Se num plano transversal à lâmpada, todos os vetores que dela se originam tiverem suas extremidades ligadas por um traço, obtém-se a Curva de Distribuição Luminosa (CDL). Em outras palavras, é a representação da Intensidade Luminosa em todos os ângulos em que

ela é direcionada num plano (Figura 2.6). Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar-se o valor encontrado na CDL pelo Fluxo Luminoso da lâmpada em questão e dividir o resultado por 1000 lm. Símbolo: CDL. Unidade: candela (cd).

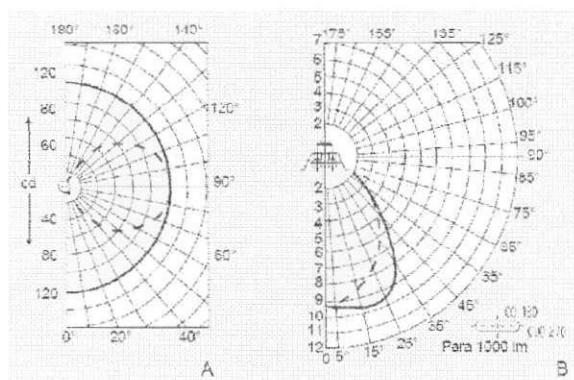


Figura 2.6: Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).

2.5.6. Iluminância (Iluminamento) E

A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície a qual incide, define uma nova grandeza luminotécnica, denominada de Iluminamento ou Iluminância (Figura 2.7). Expressa em lux (lx), indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância desta fonte. Em outras palavras a equação que expressa esta grandeza é:

$$E = \varphi / A$$

Unidade: lux (lx)

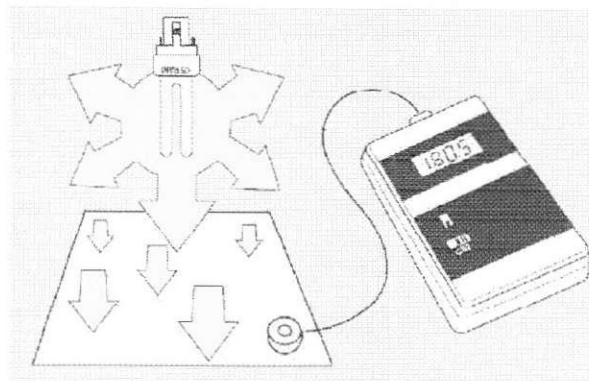


Figura 2.7 – Iluminância ou iluminamento medido através de um luxímetro.

E também a relação entre intensidade luminosa e o quadrado da distância ($1/d^2$). Na prática, é a quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro. Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se por isso a iluminância média (E_m). Existem normas especificando o valor mínimo de E_m , para ambientes diferenciados pela atividade exercida relacionados ao conforto visual.

2.5.7. Luminância L

Das grandezas mencionadas, nenhuma é visível, isto é, os raios de luz não são vistos, a menos que sejam refletidos em uma superfície e aí transmitam a sensação de claridade aos olhos. Essa sensação de claridade é chamada de Luminância (Figura 2.8). Em outras palavras, é a Intensidade Luminosa que emana de uma superfície, pela sua superfície aparente (Figura 2.9).

A equação que permite sua determinação é:

$$L = I / A \cdot \cos a$$

Unidade: cd/m^2

Onde:

L = Luminância, em cd/m^2

I = Intensidade Luminosa, em cd

A = área projetada, em m^2

a = ângulo considerado, em graus

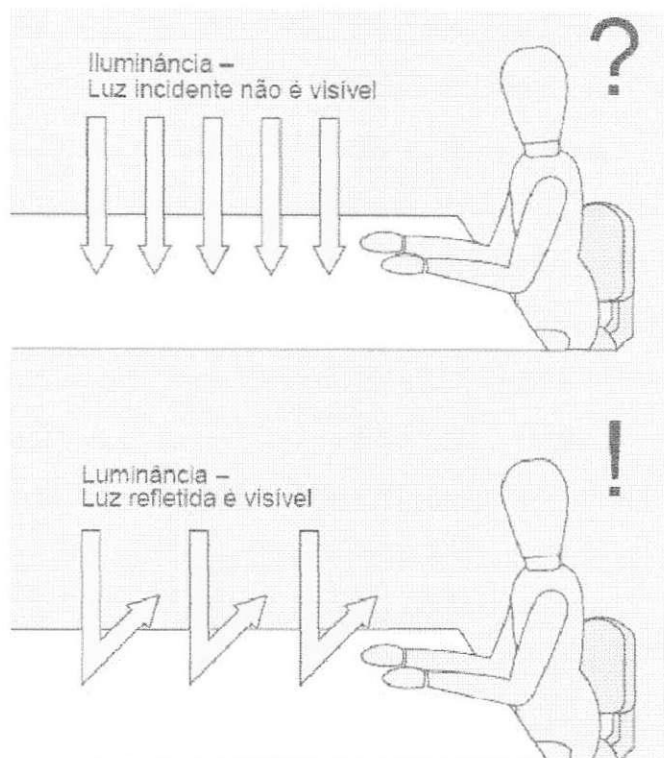


Figura 2.8 – Diferença entre iluminância e luminância.

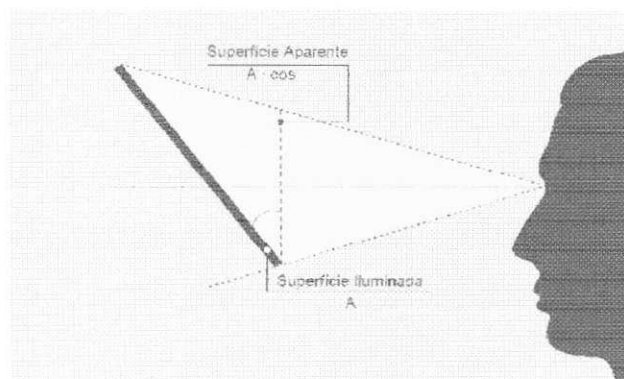


Figura 2.9 – Representação da superfície aparente e ângulo considerado para cálculo da Luminância.

Como é difícil medir-se a Intensidade Luminosa que provém de um corpo não radiante (através de reflexão), pode-se recorrer a outra fórmula, a saber:

$$L = r \cdot E / p$$

Onde:

r = Refletância ou Coeficiente de Reflexão

E = Iluminância sobre essa superfície

Como os objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, fica explicado porque a mesma Iluminância pode dar origem a Luminâncias diferentes. Vale lembrar que o Coeficiente de Reflexão é a relação entre o Fluxo Luminoso refletido e o Fluxo Luminoso incidente em uma superfície. Esse coeficiente é geralmente dado em tabelas, cujos valores são função das cores e dos materiais utilizados.

2.5.8. Eficiência Energética η_w

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes Fluxos Luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência Energética (antigo “Rendimento Luminoso”). (Figura 2.10)

Símbolo: η_w (ou K, conforme IES)

Unidade: lm / W (lúmen / watt)

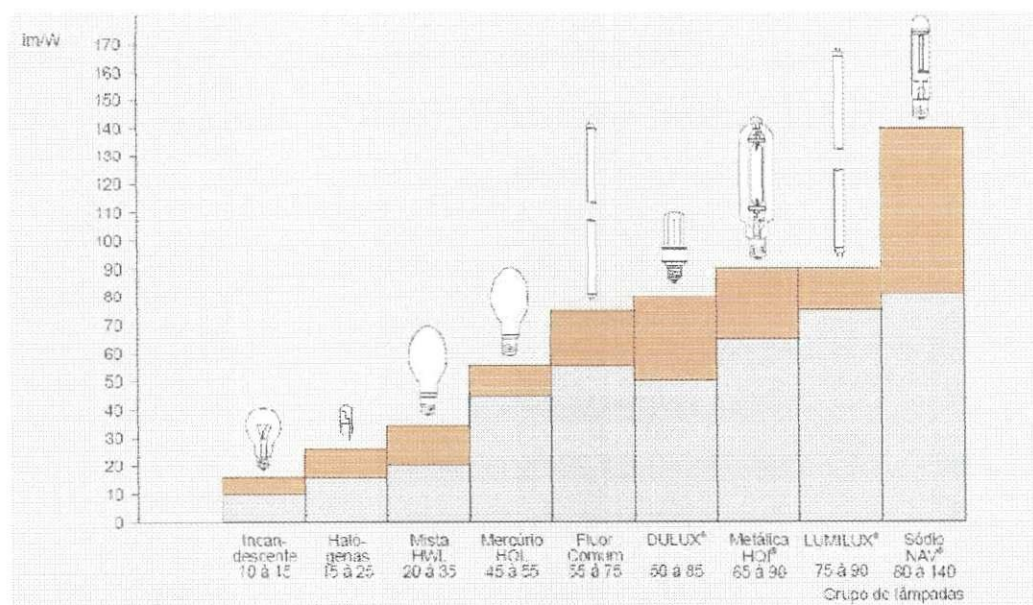


Figura 2.10 – Eficiência energética de diferentes tipos de lâmpadas. (Fonte: Osram).

2.5.9. Temperatura de cor T

Em aspecto visual, admite-se que é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de Tonalidade de Cor de diversas lâmpadas (Figura 2.11). Para estipular um parâmetro, foi definido o critério Temperatura de Cor (Kelvin) para classificar a luz. Assim como um corpo metálico que, em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco, quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a Temperatura de Cor (aproximadamente 6500K). A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700 K. É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na Eficiência Energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada. Símbolo: T. Unidade: K (Kelvin).

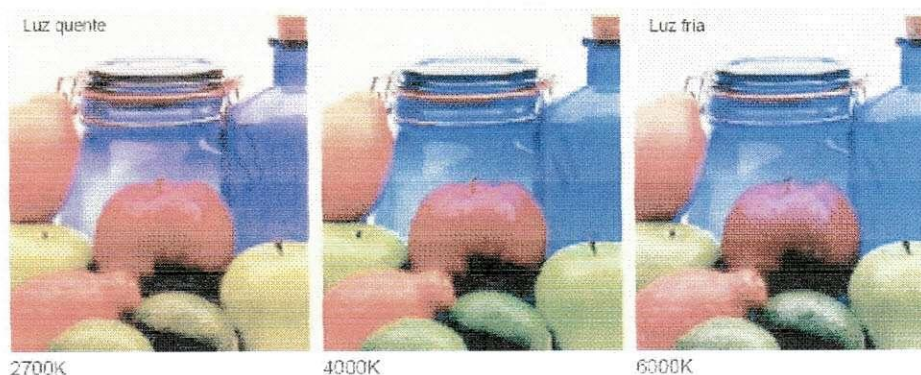


Figura 2.11 – Fotos ilustrativas da Temperatura de Cor.

2.5.10. Índice de reprodução de cores IRC

Objetos iluminados podem nos parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade. As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através de um outro conceito, Reprodução de Cores, e de sua escala qualitativa Índice de Reprodução de Cores (Ra ou IRC). O mesmo metal sólido, quando aquecido até irradiar luz, foi utilizado como referência para se estabelecer níveis de Reprodução de Cor. Define-se que o IRC neste caso seria um número ideal = 100. Símbolo: IRC ou Ra Unidade: R

2.5.11. Fatores de Desempenho

Como geralmente a lâmpada é instalada dentro de luminárias, o Fluxo Luminoso final que se apresenta é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido à absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais com que são construídas. O Fluxo Luminoso emitido pela luminária é avaliado através da Eficiência da Luminária. Isto é, o Fluxo Luminoso da luminária em serviço dividido pelo Fluxo Luminoso da lâmpada.

2.5.12. Eficiência de luminária (rendimento da luminária) η_l

“Razão do Fluxo Luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas especificadas, para a soma dos Fluxos individuais das lâmpadas funcionando fora da luminária em condições específicas.” Esse valor é normalmente, indicado pelos fabricantes de luminárias. Dependendo das qualidades físicas do recinto em que a luminária será instalada, o Fluxo Luminoso que dela emana poderá se propagar mais facilmente, dependendo da absorção e reflexão dos materiais e da trajetória que percorrerá até alcançar o plano de trabalho. Essa condição de mais ou menos favorabilidade é avaliada pela Eficiência do Recinto.

2.5.13. Eficiência do Recinto η_R

O valor da Eficiência do Recinto é dado por tabelas, contidas no catálogo do fabricante onde se relacionam os valores de Coeficiente de Reflexão do teto, paredes e piso, com a Curva de Distribuição Luminosa da luminária utilizada e o Índice do Recinto.

2.5.14. Índice do Recinto K

O Índice do Recinto é a relação entre as dimensões do local, dada por:

$$Kd = a \cdot b / h (a + b)$$

para iluminação direta

$$Kd = 3 \cdot a \cdot b / 2 \cdot h' (a + b)$$

para iluminação indireta

sendo

a = comprimento do recinto

b = largura do recinto

h = pé-direito útil

h' = distância do teto ao plano de trabalho

Pé-direito útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho (h_{pl.tr.}), menos a altura do pendente da luminária (h_{pend}). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho (Figura 2.12).

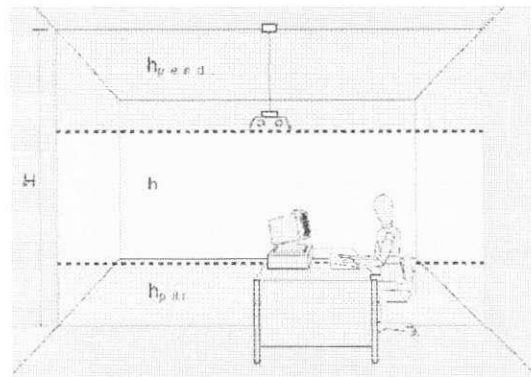


Figura 2.12 – Representação do pé-direito Útil.

Como já visto, o Fluxo Luminoso emitido por uma lâmpada sofre influência do tipo de luminária e a conformação física do recinto onde ele se propagará.

2.5.15. Fator de Utilização F_u

O Fluxo Luminoso final (útil) que incidirá sobre o plano de trabalho, é avaliado pelo Fator de Utilização. Ele indica, portanto, a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto. O produto da Eficiência do Recinto (η_R) pela Eficiência da Luminária (η_L) nos dá o Fator de Utilização (F_u).

$$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$$

Determinados catálogos indicam tabelas de Fator de Utilização para suas luminárias. Apesar de estas serem semelhantes às tabelas de Eficiência do Recinto, os valores nelas encontrados não precisam ser multiplicados pela Eficiência da Luminária, uma vez que cada tabela é específica para uma luminária e já considera a sua perda na emissão do Fluxo Luminoso.

2.5.16. Eficiência do Recinto

Uma vez que se calculou o Índice do Recinto (K), procura-se identificar os valores da Refletância do teto, paredes e piso. Escolhe-se a indicação de Curva de Distribuição Luminosa que mais se assemelha à da luminária a ser utilizada no projeto. Na interseção da coluna de Refletâncias e linha de Índice do Recinto, encontra-se o valor da Eficiência do Recinto (η_R).

2.5.17. Eficiência da Luminária

Certos catálogos fornecem a Curva de Distribuição Luminosa junto à Curva Zonal de uma luminária. A Curva Zonal nos indica o valor da Eficiência da Luminária em porcentagem.

2.5.18. Fator de Utilização

Para se determinar o Fator de Utilização (Fu), deve-se multiplicar o valor da Eficiência do Recinto pelo valor da Eficiência da Luminária. Muitas vezes, esse processo é evitado, se a tabela de Fator de utilização for também fornecida pelo catálogo. Esta tabela nada mais é que o valor da Eficiência do Recinto já multiplicado pela Eficiência da Luminária, encontrado pela interseção do Índice do Recinto (K) e das Refletâncias do teto, paredes e piso (nesta ordem).

2.6. Arco Elétrico e Energia Incidente

2.6.1. Introdução

Desde a publicação de Ralph Lee em 1982, quando foi apresentado um modelo teórico para cálculo do calor liberado por arco elétrico numa falha a fim de proteger o trabalhador, foram realizados vários estudos e ensaios em laboratórios para estabelecer um modelo que pudesse obter resultado o mais próximo da realidade, simulando varias configurações de equipamentos e sistemas elétricos de distribuição.

Em 2000, foi publicado no Brasil um artigo com resumo dos trabalhos publicados até então conhecidos. Várias indústrias realizam os estudos para análise de riscos provenientes do calor para escolha adequada dos Equipamentos de Proteção Individual para proteção do trabalhador contra a queimadura.

Em setembro de 2002 o IEEE, publicou um documento, mais completo e atualizado com recomendações e métodos de cálculo para determinação da energia do arco que um trabalhador fica exposto nos seus locais de trabalho. As fórmulas para cálculos foram obtidas pela modelagem dos resultados de ensaios até então realizados.

Este artigo tem como objetivo apresentar resumidamente o modelo matemático desenvolvido para determinação da energia do arco e as considerações feitas na análise dos resultados dos ensaios e um resumo das metodologias para determinar o desempenho de tecidos e roupas para proteção contra queimaduras por arcos elétricos do IEC- (International

Electrotechnical Commission), CENELEC - (Comitê Européen de Normalisation Electrotechnique), e ASTM. – American Society for Testing and Materials.

Deve ser enfatizado que a determinação da energia do arco e a escolha da roupa de proteção adequada (EPI) é uma análise de risco que envolve um estudo complexo de engenharia elétrica para determinação dos parâmetros a serem utilizados nas formulas. A aplicação do modelo apresentado deve ser sempre realizado e supervisionado por profissionais legalmente qualificados e habilitados considerando a natureza das falhas, características dos equipamentos e sistema elétricos e as respectivas tecnologias e operabilidade dos dispositivos de proteção.

2.6.2. EPI – Equipamento de Proteção Individual – Proteção contra arcos elétricos

No Brasil, a NR-6 - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego estabelece as exigências legais para Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para proteção dos trabalhadores contra riscos susceptíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. Nesta NR não está explícita a necessidade de proteção contra arcos elétricos, mas estabelece que o EPI deve proteger os trabalhadores contra agentes térmicos tanto para cabeça, face, membro superior e inferior e corpo inteiro. É entendimento do autor que o arco elétrico é um agente térmico, assim como superfícies de equipamentos e chamas e o calor pode ser quantificado, portanto o arco elétrico é um risco susceptível de ameaça a segurança e a saúde do trabalhador e este deve ser protegido pelo EPI da mesma maneira que é feito com capacete, calçado, óculo de segurança, luvas e outros equipamentos de segurança utilizados para serviços em eletricidade.

Nos Estados Unidos e na Europa, em função da necessidade e obrigatoriedade legal para proteção contra os efeitos térmicos do arco elétrico, foram desenvolvidos normas para verificar e determinar o desempenho dos tecidos e vestimentas utilizados como EPI's pelas entidades como a ASTM nos EUA, a CENELEC na Europa e o IEC com abrangência internacional (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 – Guia para escolha da roupa de proteção em função da energia calculada, e valores típicos de ATPV.

Faixa de Energia Incidente cal/cm ²	Classe da Roupa	Descrição da Roupa (Número total de camadas)	Gramatura Total Grama/m ²	ATPV OU E _{BT}
0-2	0	Algodão Não tratado (1)	153 - 237	NÃO APLICÁVEL
2-5	1	Camisa e Calça com Fibra de Nomex® (1)	153-271	5-7
5-8	2A	Roupa Interna de algodão mais Calça e Camisa de Fibra de Nomex® (2)	305-407	8-18
5-16	2B	Roupa de baixo mais a Calça e Camisa de Fibra de Nomex® (2)	340-476	16-22
8-25	3	Roupa Interna de algodão, mais Calça e Camisa, mais avental de Fibra de Nomex® (3)	542-678	25-50
25-40	4	Roupa Interna de algodão, mais Calça e Camisa e mais avental duplo de Fibra de Nomex® (4)	813-1107	40 - >60

Nota: O número entre parênteses refere-se ao número de camadas do tecido.

2.6.3. Equipamento elétrico à prova de arco.

As normas técnicas internacionais e brasileiras prescrevem que os equipamentos elétricos devem ser dimensionados e construídos para suportar os esforços mecânicos e térmicos em casos de curto-circuito sem danificar o equipamento. No caso de equipamentos a prova de arco todo o material da combustão deve ser direcionado para cima para não atingir o trabalhador de modo que as portas e coberturas de proteção não abram, não haja rajadas de fragmentos, o arco não provoque furos no painel, a integridade do aterramento seja mantida, e amostra de tecido colocada a uma certa distância na posição vertical e horizontal não inflame. Esta condição é encontrada em situações normais de operação, onde o equipamento é mantido fechado, porém para manutenção ou inspeção e verificação, muitas vezes precisamos abrir a porta, remover as coberturas de proteção, ou remover ou inserir componentes, como disjuntores, alterando toda a condição de segurança estabelecida pelas normas. Portanto,

mesmo para equipamentos a prova de arco ainda o trabalhador especializado fica exposto ao risco (Figura 2.13).



Figura 2.13 – Danos causados a um switchgear devido ocorrência de arco elétrico.

2.6.4. Corrente de curto-circuito - proteção de equipamento e circuitos elétricos

O cálculo da corrente de curto-circuito e o estudo de coordenação e seletividade de proteção é uma prática básica para qualquer engenharia de projeto elétrico, e tem como objetivo principal dimensionar e proteger os equipamentos e instalação elétrica em caso de falhas e aumentar a continuidade operacional através da segregação da área afetada pela falha.

A metodologia de cálculo da corrente de curto-circuito é consagrada e conhecida na engenharia elétrica. Existem várias ferramentas e metodologias que conseguem resultados muito próximos do real, uma vez que os parâmetros de cálculo são mais conhecidos e fixos.

Este mesmo cálculo e estudo de coordenação podem e devem ser utilizados como base para proteger as pessoas como veremos mais adiante.

2.6.5. Arcos Elétricos.

O arco elétrico é um fenômeno da eletricidade inerente dos sistemas elétricos. Podem liberar calor intenso e controlado como nos casos de solda elétrica e fornos industriais ou com liberação de pequena quantidade de calor como nos casos de interruptores para lâmpadas.

A falha elétrica, ou curto-circuito, com formação de arco é um fenômeno indesejável que libera uma enorme quantidade de calor. Este fenômeno, além do calor, libera partículas de metais ionizadas que podem conduzir correntes, provocar deslocamento de ar com aparecimento de alta pressão prejudicial ao sistema auditivo, emitir raios ultravioletas prejudiciais à visão e liberação de gases tóxicos como resultado da combustão dos materiais internos ao painel (Figura 2.14).

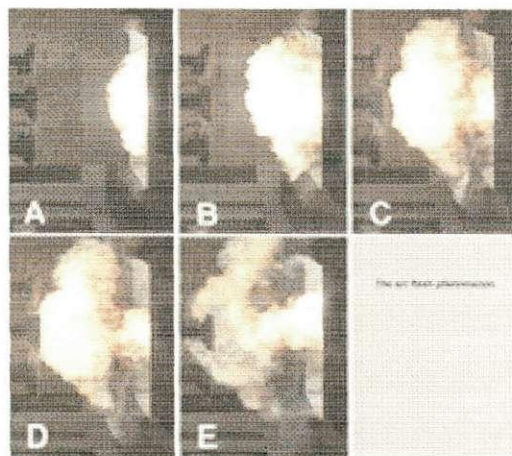


Figura 2.14 – Expansão do fogo em arco elétrico.

As falhas elétricas com arcos em equipamentos elétricos podem aparecer em consequência de mau contato, depreciação da isolamento, defeito de fabricação de componentes e equipamento ou mau dimensionamento, projeto e manutenção inadequada, contatos acidentais ou inadvertidos de ferramentas ou quedas de peças soltas durante manobras etc. Todos estes fatores podem contribuir para o aparecimento do arco elétrico no momento ou durante a intervenção nos equipamentos como aberturas de portas, remoção de componentes etc. Numa eventualidade de uma pessoa estar presente durante a ocorrência do arco sem o equipamento de proteção adequado, o calor poderá provocar a queima da roupa e ferir gravemente podendo levar a morte por queimadura. Se conseguirmos quantificar o calor do arco, podemos tomar medidas de proteção e procurar medidas eficientes de proteção do trabalhador, como fazemos para proteger os equipamentos (Figura 2.15).

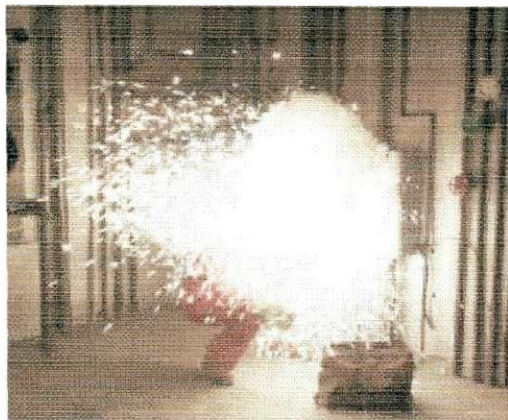


Figura 2.15 – Arco elétrico em painel. Energia incidindo sobre funcionário com EPI adequado.

2.6.6. O novo modelo matemático

O modelo publicado anteriormente, foi baseado no modelo teórico de Ralph Lee e nos resultados dos ensaios realizados até então, e apresenta limitações quanto à aplicabilidade e precisão para situações mais reais.

O novo modelo foi desenvolvido baseado na avaliação de engenharia e nos ensaios anteriores e levando em consideração os fatores que mais influenciam no nível de energia incidente liberado na forma de calor, são eles:

- a) tempo do arco
- b) distância do arco
- c) tensão do circuito
- d) corrente de curto-circuito sólido
- e) relação X/R do circuito
- f) distância dos eletrodos (barramento)
- g) número de fases
- h) aterramento do sistema (isolado ou aterrado)
- i) arco enclausurado ou em área aberta
- j) tamanho do invólucro
- k) formato do invólucro
- l) configuração dos eletrodos (em triângulo ou alinhados)
- m) distância dos eletrodos com o invólucro

n) frequência.

O método escolhido para verificar e avaliar o inter-relacionamento de todos estes fatores foi o método estatístico denominado “Design of Experiments” (DOE) ou Plano de Experimentos. Este método consiste em obter os dados (energia incidente), através de ensaios, para cada combinação dos fatores, alterando os respectivos valores de uma forma organizada e preestabelecida. A maneira ideal seria estabelecer a máxima faixa de variação de cada fator, selecionar um ou mais pontos intermediários e realizar os ensaios para cada combinação possível e medir o resultado.

Pela quantidade de fatores, mesmo que fossem escolhidos 3 valores para cada fator e analisasse a influencia dos demais, significaria aproximadamente 4.800.000 ensaios diferentes, uma missão impraticável em função do tempo e de custo. Assim o grupo de estudos, utilizando os conhecimentos de engenharia elétrica em relação ao comportamento do arco, metodologia do DOE e analisando os resultados dos ensaios anteriores, fracionaram as combinações eliminando algumas delas para reduzir o número de ensaios sem afetar a precisão do resultado final. Por exemplo, foi verificado que a energia variava linearmente com o tempo em todas as situações e o fator tempo poderia ser utilizado como multiplicador no cálculo, então foi fixado o tempo de 0,20 segundos (200 ms) para realização de todos os ensaios. Da mesma maneira, a energia variava na forma inversamente proporcional com a distância e assim foi fixada a distância de 610 mm.

Resumindo, o resultado da modelagem foi validado para as seguintes condições:

- Tensão entre 208 e 15.000 V – trifásico
- Frequência de 50 hz e 60 hz
- Corrente de curto-circuito sólido entre 700 A e 106.000 A
- Aterramento de sistema sólido e isolado com e sem resistência
- Arco dentro do invólucro de equipamentos e em locais abertos
- Espaçamento entre condutores entre 13 mm e 152mm
- Curtos-circuitos trifásicos.

Para situações fora destas condições é recomendado o uso do modelo teórico de Ralph Lee (1), enquanto não forem realizados para estas situações.

Definidos os principais fatores e suas respectivas faixas de variação a ser consideradas e definidos os valores e combinações para ensaios, o grupo procurou um modelo matemático que pudesse expressar os resultados na forma de equações, utilizando as técnicas de análise estatística e teoria dos erros. As equações foram ajustadas através software

específico para obter o melhor valor dentro de uma faixa de tolerância e precisão aceitável conseguindo assim resultado mais próximo do valor verdadeiro.

Assim o modelo foi fracionado em primeiro determinar uma equação para cálculo da corrente do arco elétrico, normalmente menor do que a corrente de curto-circuito sólido, em seguida, uma equação para calcular a energia normalizada para a distância de 610 mm e tempo de 0,2 segundos (200 ms), e finalmente uma equação para cálculo da energia com introdução do fator distância e tempo.

2.6.7. Cálculo da energia do arco – Tensão entre 208 V e 15.000 Volts e configuração do equipamento dentro do modelo

2.6.7.1. Corrente de arco elétrico

O estudo demonstrou que para tensão do sistema abaixo de 1.000 Volts a energia do arco dependia do confinamento do arco em invólucro, da tensão do sistema, da corrente de curto-circuito sólido e da distância entre os barramentos (condutores), enquanto que para sistema com tensão entre 1.000 Volts e 15.000 Volts a corrente do arco era função somente da corrente de curto-circuito sólido, e assim foi ajustada uma equação para tensão menor que 1.000 Volts e outra para tensão do sistema entre 1.000 Volts e 15.000 Volts.

a) Tensão do sistema menor que 1.000 V

Para tensão do sistema abaixo de 1.000 Volts, o estudo chegou na equação {1} para cálculo da corrente de arco.

$$\text{Log } I_a = K + 0,662 \times \text{Log}(I_{bf}) + 0,0966 \times V + 0,000526 \times G + 0,5588 \times V \times \text{Log}(I_{bf}) - 0,00304 \times G \times \text{Log}(I_{bf}) \quad \{1\}$$

e

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

Onde

Log = Logaritmo na base 10

I_a = Corrente do arco elétrico (kA)

K = (- 0,153) para configuração aberta (sem invólucro)

(- 0,097) para configuração em caixa fechada

I_{bf} = Corrente presumida de curto-circuito sólido trifásico simétrico valor r.m.s (kA)

V = Tensão do sistema (kV)

G = Distância dos condutores (mm) – ver tabela 2.1.

b) Tensão do sistema entre 1.000 V e 15.000 V

Para tensão do sistema entre 1.000 Volts e 15.000 Volts, deve se usada a equação {2} para cálculo da corrente de arco.

$$\text{Log } I_a = 0,00402 + 0,983 \times \text{Log } (I_{bf})$$

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

c) Tensão do sistema acima de 15.000 V

Como os ensaios não foram realizados para sistema acima de 15.000 Volts, o IEEE – 1584TM recomenda utilizar o modelo teórico de Ralph Lee, considerando a corrente de arco igual à corrente de curto-circuito sólido, ou seja, a equação {3}.

$$I_a = I_{bf}$$

2.6.7.2. Energia Incidente Normalizada

O segundo passo é determinar a energia normalizada do arco para distância de 610 mm e duração do arco de 0,2 segundos (200 ms), cujo estudo chegou na equação {4}.

$$\text{Log } E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \times \text{Log } (I_a) + 0,0011 \times G$$

e

$$E_n = 10^{\text{Log } E_n}$$

Onde:

E_n = energia incidente (J/cm^2) para tempo de 200 ms e distância de 610 mm.

K_1 = (- 0,792) para configuração aberta (sem invólucro)

(- 0,555) para configuração em caixa fechada

K_2 = (0) para sistema isolado e aterrado por alta resistência

(- 0,113) para sistema solidamente aterrado

G = a distância dos condutores em mm (barramento) – ver tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Distância dos condutores em mm (barramento).

Tensão do sistema (kV)	Tipo de equipamento	Distância típica dos condutores / barramentos (mm)	Expoente de distância x
0,208 - 1	Painel de distribuição	32	1,473
	CCM	25	1,641
>1-5	Painéis	13-102	0,973
>5 - 15	Painéis	153	0,973

2.6.7.3. Energia Incidente

E finalmente introduziram-se as variáveis tempo e distância e os respectivos coeficientes de ajuste sobre a energia normalizada, obtendo se a equação {5} para determinar a energia liberada pelo arco em função da energia normalizada.

$$E_{\text{Jou}} = 4,184 \times C_f \times E_n \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

Onde

$E = \acute{E}$ a energia incidente (J/cm^2)

$C_f = \acute{E}$ o fator de cálculo:

1,5 para tensão igual ou menor do que 1 kV

1,0 para tensão acima de 1 kV

E_n = É a energia incidente normalizada

t = Tempo do arco (segundos)

D = Distância do ponto do arco (mm)

x = É o expoente de distância (ver tabela 1)

O fator de cálculo foi determinado por regressão linear dos resultados dos ensaios para ajustar a equação e atingir 95 % de nível de confiança no resultado do cálculo com base nos dados experimentais.

O expoente de distância foi determinado por regressão, pois os ensaios mostraram que em locais abertos a energia diminui inversamente proporcional ao quadrado da distância, mas no caso de arcos em compartimentos, o expoente variava em função da configuração do equipamento e da tensão.

Na situação de linhas aéreas e cabos sobre bandejas ou em locais fora dos painéis, o expoente de distância continua sendo igual a 2.

Nota:

1- O expoente para painel de distribuição de 208 volts a 1.000 Volts foi obtido pela regressão dos valores experimentais obtidos com arco em caixas de 508x508x508 mm

2- O expoente para CCM de 208 volts a 1.000 Volts foi obtido pela regressão dos valores experimentais obtidos com arco em caixa de 305 x 356 x 191 mm

3- O expoente para painéis para tensão do sistema entre 1.000 e 5.000 volts, como para tensão do sistema entre 5.000 volts e 15.000 volts foi obtido pela regressão dos valores experimentais obtidos com ensaios na tensão de 2.400 volts e caixa de 1.143 x 762 x 762 mm.

2.6.7.4. *Ajuste da corrente de arco para definição da energia do arco.*

Como a energia é proporcional à intensidade da corrente e do tempo de extinção do arco e o tempo de extinção depende da magnitude da corrente para acionar o dispositivo de proteção, verificou-se que, para uma pequena variação na corrente o tempo de interrupção poderia sofrer uma grande variação e conseqüentemente a energia do arco também sofreria uma grande variação. Os ensaios demonstraram que esta variação pode ser significativa dentro da faixa de 100% a 85 % da corrente do arco calculado, portanto se utilizarmos uma segunda

corrente igual a 85% da corrente de arco calculada e determinarmos o respectivo tempo de interrupção e calcularmos a segunda energia, podemos obter um segundo valor e comparar os dois resultados e escolher o de maior valor para ser mais conservador e a favor da segurança.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O acompanhamento das etapas da manutenção será feito de maneira presencial, acompanhando, e interagindo com os executantes da manutenção bem como com os programadores de serviços elétricos da Tenace. Serão utilizados ferramentais tais como microcomputador e softwares de planejamento de serviços como Ms Project ® e o software de acompanhamento à manutenção pertencente a Dow química.

O projeto luminotécnico foi feito à luz das normas brasileiras e foram coletados dados através da utilização de luxímetro digital e utilizou-se como ferramenta o computador e os softwares Softlux ® da Itaim e Dialux ®, disponíveis gratuitamente na Internet.

O cálculo da energia incidente é baseado nos artigos da área e foi executado sob orientação do engenheiro eletricitista Varela da empresa Engepower, também prestadora de serviços a Dow química. O cálculo será realizado para as instalações elétricas da Planta A, unidade produtora de PO / PG, que tem como coordenador de elétrica Jorge Lúcio Albino, que também forneceu importantes informações e suporte para realização das tarefas.

Será utilizado como material uma pasta do Excel ®, que auxiliará nos cálculos de corrente de curto, corrente de arco e energia incidente, em todas as etapas. Todos os dados foram coletados em inspeções realizadas na planta de PO / PG, nas instalações elétricas, em arquivos técnicos no setor de engenharia da Dow, na rede eletrônica de arquivos técnicos da Dow, incluindo o próprio software de gerenciamento de manutenção da empresa, que continha informações sobre equipamentos e serviços de manutenção nos mesmos.

Após a realização dos cálculos será determinada a roupa de proteção contra arco elétrico (ATPV) adequada que o trabalhador responsável pela manutenção deve utilizar em virtude de execução de manobra ou manutenção em cada um dos vários equipamentos, painéis, e CCM's da Planta A. Essa determinação segue padrões internacionais estabelecidos para a Dow química como um todo e será encaminhada para os setores responsáveis pela aprovação e aplicação dos dados levantados.

Encerrando será feita a identificação dos painéis em CCM's, segundo as normas de sinalização, para informar ao profissional habilitado o nível de energia incidente e a roupa de proteção necessária para se manobrar ou dar manutenção naquele equipamento, a fim de evitar acidentes elétricos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Manutenção

A manutenção elétrica da Dow química pode ser considerada como engenharia de manutenção uma vez que todos os dados estão em uma Intranet mundial e são acessados por qualquer funcionário que possua o nível de acesso a essas informações, isso inclui responsáveis por manutenção elétrica, supervisão elétrica e engenharia em geral.

A Dow química é dividida em Plantas que produzem diferentes produtos químicos, ou realizam diferentes tarefas. Em todas essas áreas existe um plano de manutenção preventiva que deve ser, na medida do possível, seguido rigorosamente. Nas plantas onde existem linhas de produção críticas, eventualmente há manutenção preditiva e em último caso corretiva. Existe uma tendência de adequação a engenharia de manutenção, onde todos, desde o executante mais simples ao engenheiro mais capacitado buscam soluções e sugerem melhoras tornando o processo de manutenção mais eficiente.

A Tenace segue todo um padrão de qualidade, onde a busca pela otimização dos recursos e serviços empenhados na manutenção é considerada como marco inicial de qualquer empreendimento. Todo o serviço de manutenção e engenharia de manutenção executada pela Dow química tem a importante contribuição da organização da Tenace. Sendo a Dow química referência em segurança, saúde e meio ambiente, existe uma série de exigências que são feitas às empresas contratadas que vão desde a simples utilização de EPI pelo funcionário até a revisão de procedimentos de execução de tarefas.

4.1.1. Ordens de Serviços

A Dow química é responsável por informar quais ordens de serviço estão liberadas para execução de manutenção preventiva pela contratada Tenace. Isso é feito através de uma lista de OS para cada planta do site. A partir dessa lista a Tenace aloca mão de obra em cada Planta da Dow química para executar as tarefas. Todas as tarefas possuem um tempo predeterminado para execução (por exemplo, a manutenção de uma luminária levaria 2 horas

de serviço de um electricista). A partir desses valores de tempo de execução predefinidos em contrato, a Tenace loca sua mão de obra disponível de maneira tal que, em virtude de algum serviço de manutenção corretiva, essa mesma mão de obra, já familiarizada com os problemas específicos daquela planta ou equipamento, possa executar esse reparo em tempo hábil, fazendo com que a manutenção preventiva não seja prejudicada.

4.1.2. Planejar Serviços

Existem planejadores de serviço da própria Dow química, bem como planejadores terceirizados que planejam serviços para a Dow química e planejadores que planejam serviço para a empresa terceirizada.

Os planejadores de planta, como são conhecidos os planejadores da Dow química, são responsáveis pela programação dos serviços a serem executados na planta. Todo serviço é previamente programado e planejado por eles, para que seja executado com o máximo de eficiência possível.

Os planejadores da Tenace executam o planejamento interno da mão de obra e materiais necessários para execução das tarefas passadas pelo planejador da Dow. Todas as tarefas são lançadas em planilhas do Ms Project indicando tempo de execução e mão de obra utilizada.

4.1.2.1 Definir as tarefas de um Serviço

Para se definir as tarefas de um serviço é necessário experiência, pois muitas vezes uma tarefa está ligada a muitas outras que à primeira vista nada têm a ver com o serviço de manutenção, mas que se não forem levadas em conta gerarão um desperdício ou uma carência de mão de obra e material além de atrasarem a produção. Para se definir interdependência entre tarefas é necessária uma visão macro e a utilização de gráficos de Gant é muito difundida entre as empresas de manutenção. Uma vez acertado o planejamento do serviço é gerado um documento chamado de cronograma do serviço que contém a descrição do serviço,

etapa a etapa, incluindo a mão de obra de cada etapa e o tempo de execução que é o cronograma gerado no Ms Project.

4.1.2.2. Orçamento

Quando a manutenção não é planejada, ou seja, temos um serviço de manutenção como a substituição de um transformador devido à necessidade de expansão, isso se inclui no que se chama de serviços de capital, ou seja, serviços que precisam de uma espécie de licitação chamada de proposta de serviço onde constam os serviços a serem executados e os valores em espécie cobrados pela execução do serviço. É lógico que nesse orçamento, deve-se ser o mais preciso possível para que a Tenace ganhe a licitação e, em ganhando a licitação possa executar o serviço sem prejuízo para seus acionistas.

4.1.3. Gerenciamento dos Equipamentos

Cabe a empresa contratada (Tenace) o gerenciamento de ferramentas necessárias para execução de manutenção em serviços elétricos. Essa tarefa é realizada pelo almoxarife que procura manter o estoque de equipamentos sob controle através de software específico. Em nível de planejamento é o planejador ou supervisor de elétrica que define quantas e quais ferramentas e materiais de consumo serão utilizados em dado serviço. Existe uma programação automática através desse banco de dados que nos informa quando deve ser executada a próxima manutenção preventiva em um dado equipamento.

O material usado na manutenção como peças, fios, componentes elétricos são de responsabilidade da Dow química que no caso de manutenção recebe a lista de equipamentos feita pelos planejadores da Tenace e solicita ao almoxarifado central que entrega em tempo hábil. No caso de serviços de capital todo o material é listado pela empresa que fez o projeto e o material é solicitado em outro almoxarifado conforme a lista.

4.1.4. Gerenciar Recursos

Cabe ao Gerente de Contrato da Tenace gerenciar os recursos de mão de obra, quanto à qualificação, quantidade de funcionários necessários para cada planta e serviço.

4.1.5. Programar Serviços

Como já foi relatado existe uma programação mecanizada de serviços que é alimentada pelos executantes das tarefas. Quando um técnico faz a calibração de um relé, por exemplo, ele lança no sistema da Dow um relatório que informa todos os dados da calibração inclusive a data da execução da tarefa. A partir dessa data é gerada automaticamente a próxima data que pode ser mensal, trimestral, semestral, anual, etc. Daí quando chegar o tempo em que deve ser executado novamente essa calibração o programa mostrará na lista de tarefas a executar essa calibração.

Além disso existem problemas que são identificados através da operação, que nota alguma sinalização de defeito, e avisa ao setor de manutenção que programa a manutenção preditiva desse equipamento. Também existem os equipamentos que param e precisam de manutenção corretiva. Na maioria dos casos isso é feito automaticamente pelo responsável de elétrica da planta.

4.1.6. Padrões de Serviços

Na Dow química a maioria das tarefas a ser executada em manutenção elétrica necessita de procedimento específico aprovado por profissional habilitado na área elétrica e revisto pelos líderes de segurança em serviços elétricos da Dow.

Todos os serviços da Tenace possuem um procedimento específico, por exemplo, manutenção em circuito de iluminação, que possui todas as informações necessárias para execução da tarefa, como risco envolvidos, descrição das etapas cronológicas da tarefa,

explicação sobre uso de equipamentos, manobra em chaves, maneiras de contenção dos riscos, etc.

O trabalhador deve ser treinado no procedimento, e este por sua vez deve ser revisado tendo em vista a engenharia de manutenção que visa à otimização das tarefas de manutenção.

4.2. Tipos de Manutenção Encontradas no Site

4.2.1. Manutenção Corretiva

Um exemplo de manutenção corretiva ocorreu no softstarter SMC-3 da Allen Bradley (Figura 4.1) de uma draga recém instalada. O softstarter controla a partida e parada do motor de 50HP que draga o rejeito do processo químico. Essa draga da LWT Pit Hog executa a sucção de detritos de um tanque localizado na unidade de tratamento de efluentes. (Figura 4.2).

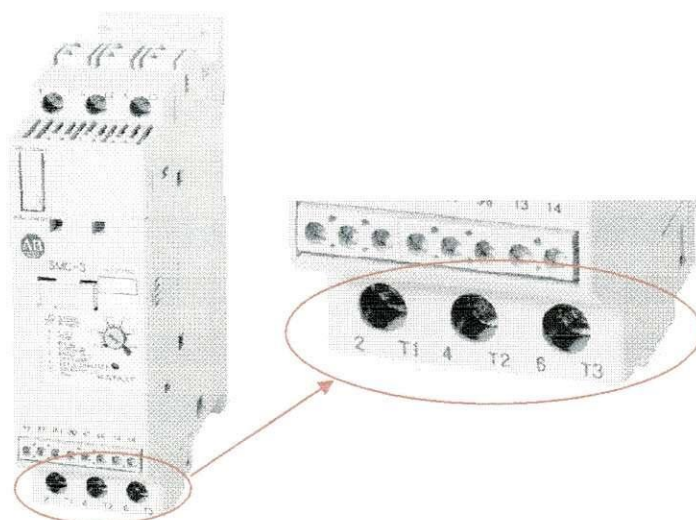


Figura 4.1 – Softstarter SMC-3 da Allen Bradley (detalhe: conexões de saída para o motor).

Foi detectado no painel de controle da draga um defeito e a draga não conseguia partir. Foi contatada a Tenace para executar a manutenção corretiva desse equipamento. Em visita técnica o técnico responsável seguiu os procedimentos para manutenção e identificou

visualmente o dano no equipamento. Tratava-se de pontos quentes nas conexões T1, T2 e T3 que ligavam o softstarter ao motor de 50 HP da draga. Esses pontos quentes destruíram a isolamento em PVC que existia entre os barramentos do softstarter. Foi solicitado um novo softstarter que foi colocado em substituição ao danificado que foi encaminhado a manutenção.



Figura 4.2 – Draga elétrica com comando remoto LWT Pit Hog da Dow Brasil.

4.2.2. Manutenção Preventiva

Um ótimo caso de manutenção preventiva foi detectado na área do Tank Farm I, onde existia um plano de manutenção programada de luminárias gerado eletronicamente e planejado pelo planejador da Tenace. Essa manutenção chama-se roteiro de iluminação e é feita de três em três meses. Os pontos onde as luminárias estavam com defeito ou muito sujas foram anotados. Todos os dados foram implantados no sistema Dow para que os planejadores planejassem a manutenção das luminárias apagadas bem como a limpeza das luminárias sujas.

4.2.3. Manutenção Preditiva

Um exemplo de manutenção preditiva foi a substituição do transformador de 2000 kVA, 14,4Δ – 2,4Y kV da Planta A. Foi analisado que esse transformador deveria ser trocado

e mesmo estando em condições de uso, em virtude de uma parada geral da planta que só é realizada de 3 em 3 anos ele foi substituído. O serviço foi planejado e executado dentro do planejado e evitou que o processo fosse parado em outro momento menos favorável.

4.2.4. Manutenção Detectiva

Na Planta B uma fornalha apresentou um defeito na sala de controle detectado através de sensores ligados a um CLP – Controlador Lógico Programável. Apesar de esse defeito ser evidente na tela de controle, no campo verificou-se a normalidade das funções do equipamento. Então se iniciou um processo de manutenção preditiva onde foi planejado o serviço de *as built* do painel de controle da fornalha. Primeiramente por se tratar de dois painéis de comando com extra baixa tensão, menor que 50 Vac foi realizado um levantamento visual com o auxílio de desenhos dos painéis levantados em arquivo na engenharia da Dow.

Visualizou-se a necessidade de executar um *as built* mais detalhado que só poderia ser executado com o equipamento parado. Foi programada uma manutenção em virtude da parada da planta que foi realizada na semana seguinte. Foi feito o *as built* completo dos painéis identificando, com auxílio de multímetro digital, os circuitos existentes, tanto os novos quanto os antigos e os circuitos que foram desativados.

Os desenhos foram atualizados e lançados no sistema de manutenção da Dow para que em virtude de algum defeito posterior fosse identificado o problema com maior rapidez.

E o defeito que existia foi localizado em campo e não passava de um erro de interpretação de dados por parte do programa do CLP, o que foi corrigido por profissional habilitado.

4.2.5. Engenharia de Manutenção

A engenharia de manutenção é praticada na Dow química pela Tenace. Todos os processos de manutenção são registrados e as informações que possibilitam descobrir o motivo do defeito são armazenadas em bancos de dados da Dow química e também da Tenace.

Um caso ocorrido foi o da rota de iluminação da planta B. Todas as luminárias da planta B receberam uma identificação chamada TAG, que possibilitava a exata localização da luminária e através de uma planilha desenvolvida pela Tenace ficava registrada todas as ocorrências daquela luminária, última manutenção, intervenções executadas, observações importantes, etc.

A partir desse banco de dados será possível identificar o motivo da queima de determinada lâmpada em determinada luminária, localizada em um dado local e daí será possível propor uma adequação para evitar a queima da lâmpada ou deterioração da luminária, por exemplo.

Fazendo assim usa-se a engenharia de manutenção o que garante uma economia final na manutenção e uma diminuição no tempo parado de produção.

4.2.6. Informatização do Setor de Manutenção

A Dow química possui um sistema de informatização de todas as informações necessárias à manutenção elétrica. Está disposto em forma de programa, lembrando o antigo MS-DOS, conectado a uma rede interna mundial. Todos os processos de manutenção são registrados eletronicamente através desse programa por funcionários da Dow, ou por pessoas das empresas terceirizadas autorizadas a acessar esse domínio.

A Tenace em 2005 implantou o sistema ARTEC que visa reunir todas as informações sobre manutenção elétrica do ponto de vista técnico, como relatórios, fichas de inspeção e etc. que facilitam a pesquisa, em formato de banco de dados do Access® que é alimentado pelos técnicos que executam a manutenção. É obrigação de cada técnico registrar todas as suas ações eletronicamente através dessa ferramenta.

4.3. Cálculo Luminotécnico

Em virtude da adequação da Tenace e Dow às normas regulamentadoras em especial a NR-17 Ergonomia foi levantado todos os dados luminotécnicos da coordenação da Tenace no site da Dow em Aratu.

Para tal foi feito o levantamento da luminosidade de cada ambiente da coordenação da Tenace através de medição com luxímetro. Depois disso foi executado o projeto luminotécnico com o auxílio do software Softlux® e Dialux®. Por fim os resultados foram apresentados sob forma de relatório aos responsáveis pela adequação do ambiente.

4.3.1. Levantamento do iluminamento médio de cada ambiente

Para efetuar o levantamento do iluminamento médio de cada ambiente usamos um luxímetro e efetuamos as medições em cada ambiente em pontos igualmente espaçados de 60 cm formando uma grade de valores de luminância onde foram efetuadas medições e calculada a média aritmética desses valores o que nos garante uma boa precisão e é um procedimento recomendado pela norma NR-5413 – Iluminação de interiores. Os dados de cada ambiente estão dispostos a seguir.

SALA DOS TÉCNICOS

195	215	236	217	210
213	315	350	325	236
193	216	239	215	209

Iluminamento médio: 238,93 Lux.

SALA DA INTERNET

132	141	143	139	127
128	129	134	131	117

Iluminamento médio: 132,10 Lux.

SALA DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO

332	412	325	414	342
340	415	350	422	356
329	407	322	410	349

Iluminamento médio: 368,33 Lux

SALA DE PLANEJAMENTO DE CAPITAL

227	333	331	218
238	341	349	233
231	331	334	229

Iluminamento médio: 282,92 Lux.

CORREDOR

251	287	320	333	324	286	256	245	251	263	319	338	326	286	256
243	289	327	342	329	287	259	242	254	265	324	343	331	291	257

Iluminamento médio: 290,8 Lux.

SALA DA COORDENAÇÃO

297	326	328	327	296
315	335	339	336	312
298	336	341	337	314
314	338	342	339	316
296	332	337	330	301

Iluminamento médio: 323,28 Lux.

SALA DA ADMINISTRAÇÃO

407	412	415	413	411
415	422	425	421	419
410	415	417	414	412

Iluminamento médio: 415,2 Lux.

SALA DE APOIO

396	427	428	426	397
416	439	442	438	414
414	437	441	436	398
412	436	439	435	415
401	430	437	432	396

Iluminamento médio: 423,28 Lux.

SALA DE MEDIÇÃO

492	572	485	574	502
500	575	510	582	516
489	567	482	570	509

Iluminamento médio: 528,33 Lux.

SALA DA SEGURANÇA E QUALIDADE

411	441	442	441	412
431	453	455	454	429
429	451	454	452	413
427	450	452	451	430
416	444	450	448	411

Iluminamento médio: 437,87 Lux.

Daí pode-se constatar que somente um ambiente está dentro dos limites necessários para luminosidade em um ambiente de escritório.

Ambiente	Iluminamento médio (Lux)	Conformidade à norma
SALA DOS TÉCNICOS	238,93	Não conforme
SALA DA INTERNET	132,10	Não conforme
SALA DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO	368,33	Não conforme
SALA DE PLANEJAMENTO DE CAPITAL	282,92	Não conforme
CORREDOR	290,80	Não conforme
SALA DA COORDENAÇÃO	323,28	Não conforme
SALA DA ADMINISTRAÇÃO	415,20	Não conforme
SALA DE APOIO	423,28	Não conforme
SALA DE MEDIÇÃO	528,33	Conforme
SALA DA SEGURANÇA E QUALIDADE	437,87	Não conforme

Daí pode-se ver a necessidade de adequação do ambiente e para tal precisamos efetuar o projeto luminotécnico de adequação.

4.3.2. Projeto luminotécnico

Com base nas normas brasileiras e com o auxílio do software Softlux®, efetuamos o projeto elétrico para cada ambiente da coordenação.

DADOS DO CLIENTE

Empresa: TENACE ENGENHARIA E CONSULTORIA
Obra: DEPARTAMENTO DE COORDENAÇÃO DA TENACE NA EMPRESA DOW

Dados adicionais:

Autor: REGIS ISRAEL DA SILVA
Data: 1/11/2007
Revisão: 1

RESUMO

Ambiente	Luminária	Código	Qtde	E_{mez} (lx)	E_{méd} (lx)	E_{máx} (lx)	E_{mín} (lx)
SALA DOS TÉCNICOS	2102 4xT26 32W	2102.432.100	2	691	506	647	322
SALA DA INTERNET	2102 4xT26 32W	2102.432.100	1	490	302	349	233

Ambiente	Luminária	Código	Qtde	E_{mez} (lx)	E_{méd} (lx)	E_{máx} (lx)	E_{min} (lx)
SALA DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO	2102 4xT26 32W	2102.432.100	2	691	494	591	344
SALA DE PLANEJAMENTO DE CAPITAL	2102 4xT26 32W	2102.432.100	2	760	525	620	381
CORREDOR	2102 4xT26 32W	2102.432.100	3	518	383	462	211
SALA DA COORDENAÇÃO	2102 4xT26 32W	2102.432.100	3	835	668	877	401
SALA DA ADMINISTRAÇÃO	2102 4xT26 32W	2102.432.100	2	691	506	647	322
SALA DE APOIO	2102 4xT26 32W	2102.432.100	2	557	451	591	267
SALA DE MEDIÇÃO	2102 4xT26 32W	2102.432.100	2	691	506	647	322
SALA DA SEGURANÇA E QUALIDADE	2102 4xT26 32W	2102.432.100	3	835	668	877	401

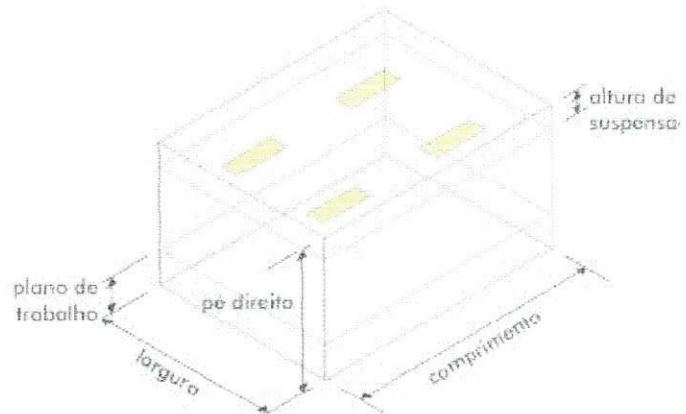
DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DOS TÉCNICOS**Dimensões:**

Comprimento:	3,00 m
Largura:	2,00 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

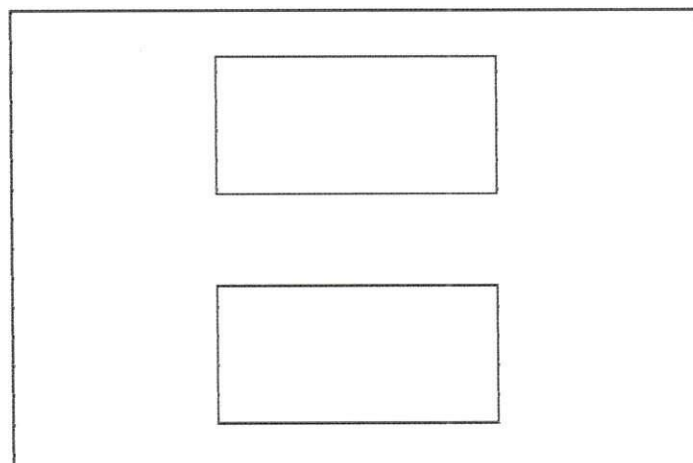
Cores e refletância: Média

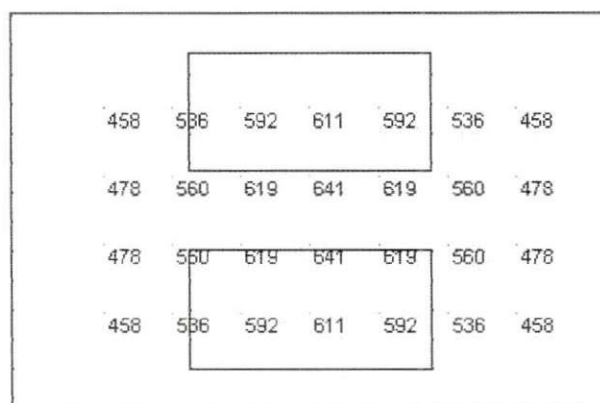
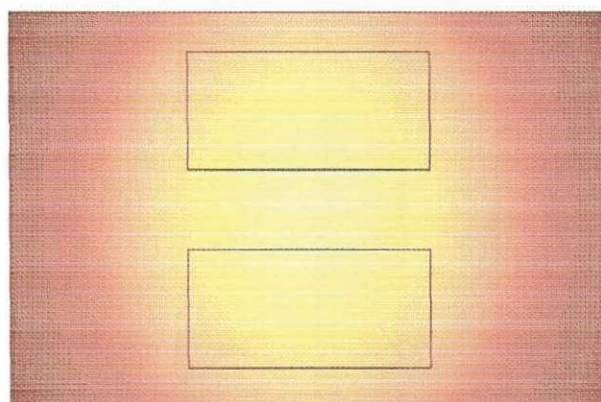
Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

Condições do ambiente:	Limpo
Fator de perdas luminosas:	0,8
Fluxo luminoso:	2700 lm
Fator de reator:	1,00
Tipo de atividade:	Escritório

**DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS****Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:**

2102.432.100

Iluminância solicitada:**Quantidade:** 2**Número de colunas:** 1**Distância entre colunas:****Distância parede-colunas:** 1,5 m**Número de linhas:** 2**Distância entre linhas:** 1 m**Distância parede-linhas:** 0,5 m

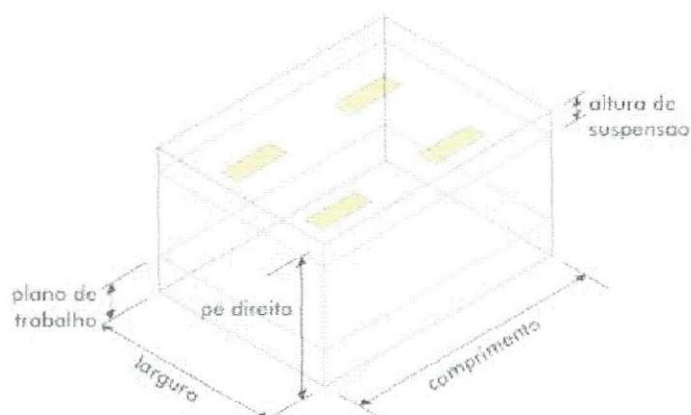
RESULTADOS**Ambiente:** SALA DOS TÉCNICOS**Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:** 2102.432.100**Quantidade:** 2**E médio:** 506 lx**E máximo:** 647 lx**E mínimo:** 322 lx**E mcz:** 691 lx**PONTO A PONTO****ILUMINÂNCIA**

DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DA INTERNET**Dimensões:**

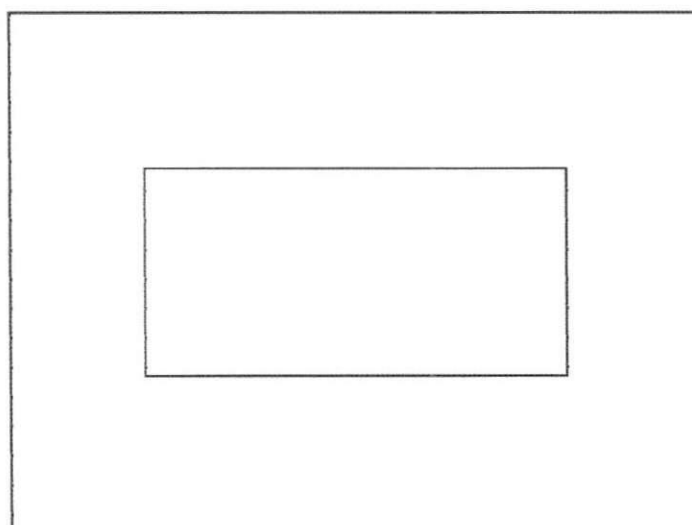
Comprimento:	2,00 m
Largura:	1,50 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

Condições do ambiente: Limpo**Fator de perdas luminosas:** 0,8**Fluxo luminoso:** 2700 lm**Fator de reator:** 1,00**Tipo de atividade:****DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS****Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:**

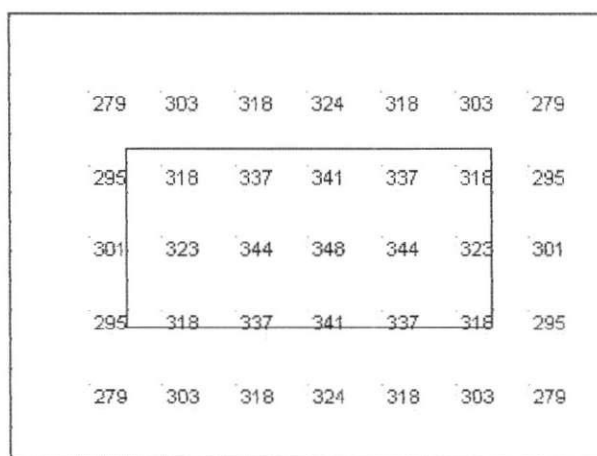
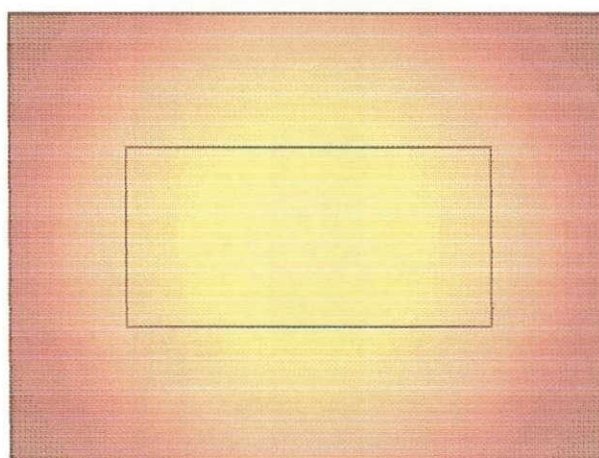
2102.432.100

Iluminância solicitada: 500 lux**Quantidade:** 1**Número de colunas:** 1**Número de linhas:** 1**Distância entre colunas:****Distância entre linhas:****Distância parede-colunas:** 1 m**Distância parede-linhas:** 0,75 m

RESULTADOS

Ambiente: SALA DA INTERNET
Luminária: 2102 4xT26 32W
Código: 2102.432.100
Quantidade: 1

E médio: 302 lx
E máximo: 349 lx
E mínimo: 233 lx
E mcz: 490 lx

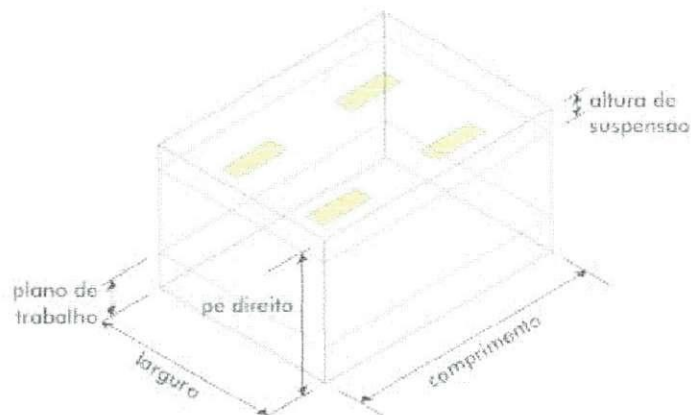
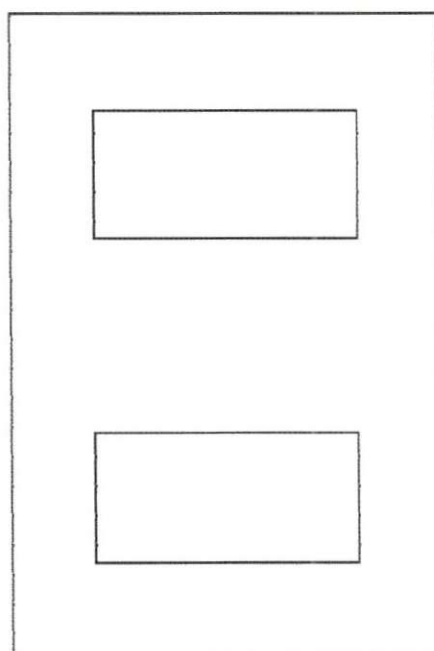
PONTO A PONTO**ILUMINÂNCIA**

DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO**Dimensões:**

Comprimento:	2,00 m
Largura:	3,00 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

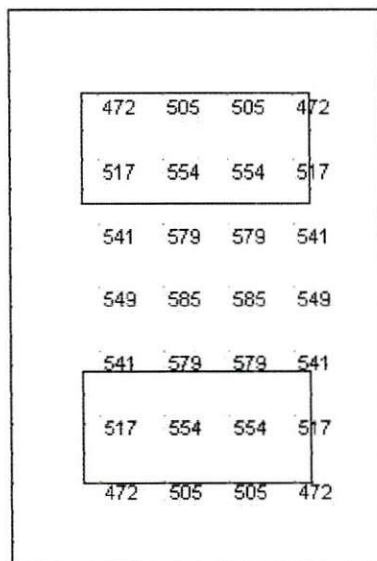
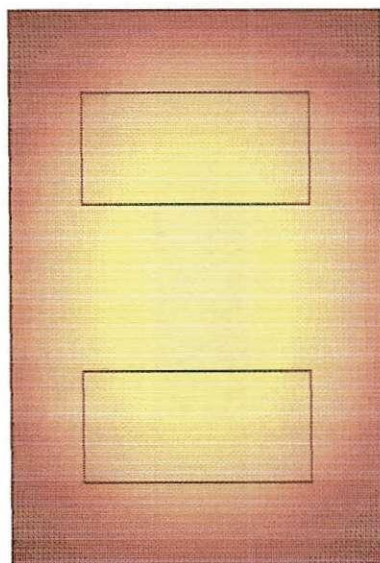
Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

Condições do ambiente: Limpo**Fator de perdas luminosas:** 0,8**Fluxo luminoso:** 2700 lm**Fator de reator:** 1,00**Tipo de atividade:****DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS****Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:** 2102.432.100**Iluminância solicitada:****Quantidade:** 2**Número de colunas:** 1**Distância entre colunas:****Distância parede-colunas:** 1 m**Número de linhas:** 2**Distância entre linhas:** 1,5 m**Distância parede-linhas:** 0,75 m

RESULTADOS

Ambiente:	SALA DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO	E médio:	494 lx
Luminária:	2102 4xT26 32W	E máximo:	591 lx
Código:	2102.432.100	E mínimo:	344 lx
Quantidade:	2	E mcz:	691 lx

PONTO A PONTO**ILUMINÂNCIA**

DADOS DO AMBIENTE

Ambiente: SALA DE PLANEJAMENTO DE CAPITAL

Dimensões:

Comprimento:	2,00 m
Largura:	2,50 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

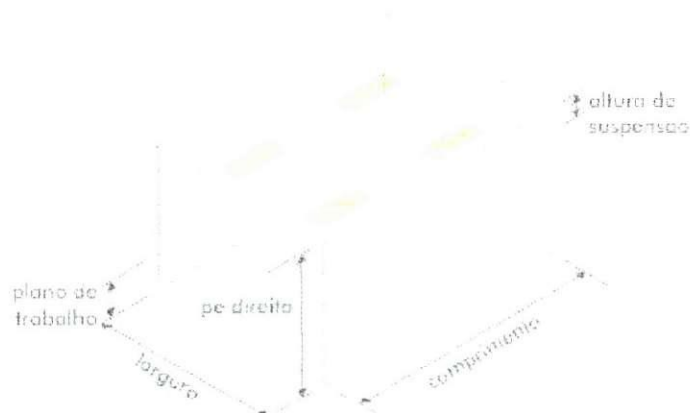
Condições do ambiente: Limpo

Fator de perdas luminosas: 0,8

Fluxo luminoso: 2700 lm

Fator de reator: 1,00

Tipo de atividade: Escritório



DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS

Luminária: 2102 4xT26 32W

Código:

2102.432.100

Huminância solicitada:

Quantidade: 2

Número de colunas: 1

Número de linhas: 2

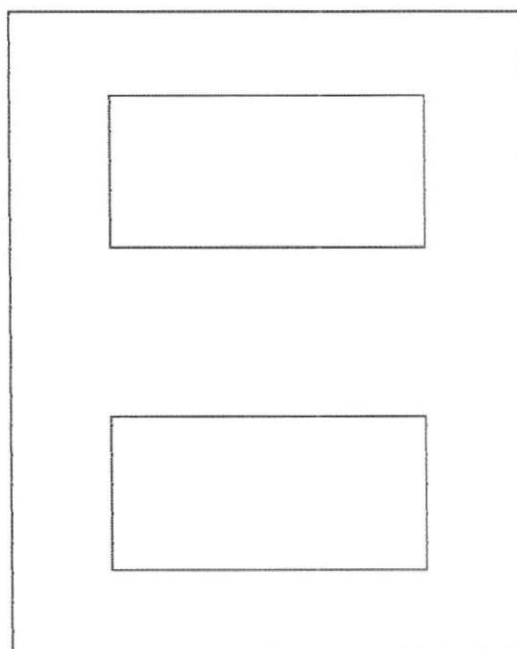
Distância entre colunas:

Distância entre linhas: 1,25 m

Distância parede-colunas: 1 m

Distância parede-linhas:

0,62 m

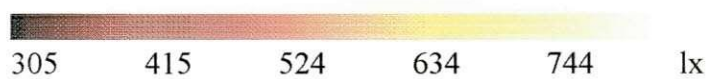
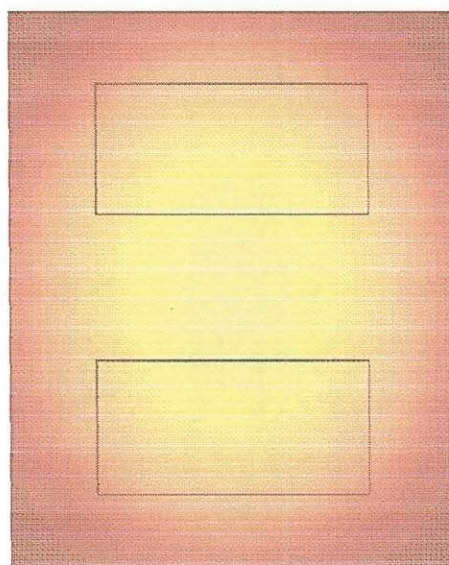


RESULTADOS

Ambiente:	SALA DE PLANEJAMENTO DE CAPITAL	E médio:	525 lx
Luminária:	2102 4xT26 32W	E máximo:	620 lx
Código:	2102.432.100	E mínimo:	381 lx
Quantidade:	2	E mcz:	760 lx

PONTO A PONTO

503	545	560	545	503
537	584	600	584	537
553	600	618	600	553
553	600	618	600	553
536	583	599	583	536
502	544	559	544	502

ILUMINÂNCIA

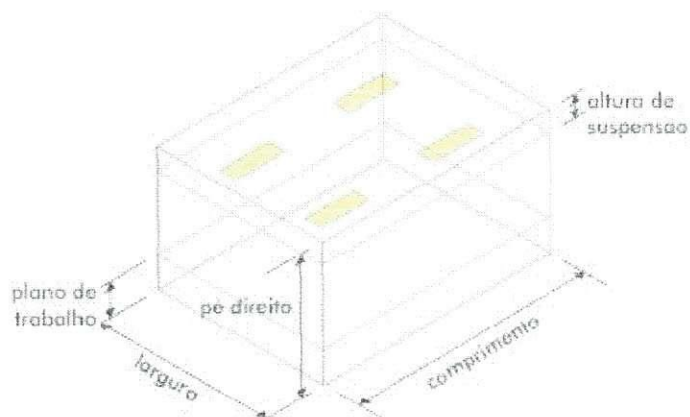
DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** CORREDOR**Dimensões:**

Comprimento:	9,00 m
Largura:	1,00 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

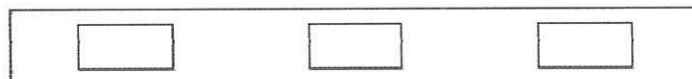
Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

Condições do ambiente:	Limpo
Fator de perdas luminosas:	0,8
Fluxo luminoso:	2700 lm
Fator de reator:	1,00
Tipo de atividade:	Escritório

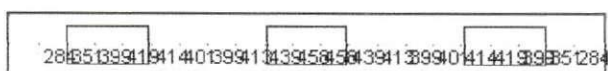
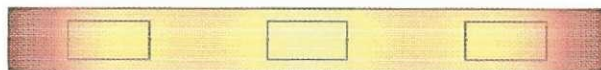
**DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS**

Luminária:	2102 4xT26 32W
Iluminância solicitada:	500 lux
Quantidade:	3
Número de colunas:	3
Distância entre colunas:	3 m
Distância parede-colunas:	1,5 m

Código: 2102.432.100**Número de linhas:** 1**Distância entre linhas:****Distância parede-linhas:** 0,5 m

RESULTADOS

Ambiente:	CORREDOR	E médio:	383 lx
Luminária:	2102 4xT26 32W	E máximo:	462 lx
Código:	2102.432.100	E mínimo:	211 lx
Quantidade:	3	E mcz:	518 lx

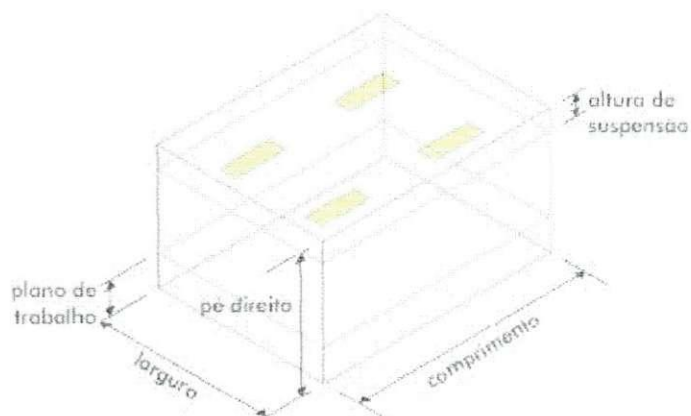
PONTO A PONTO**ILUMINÂNCIA**

DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DA COORDENAÇÃO**Dimensões:**

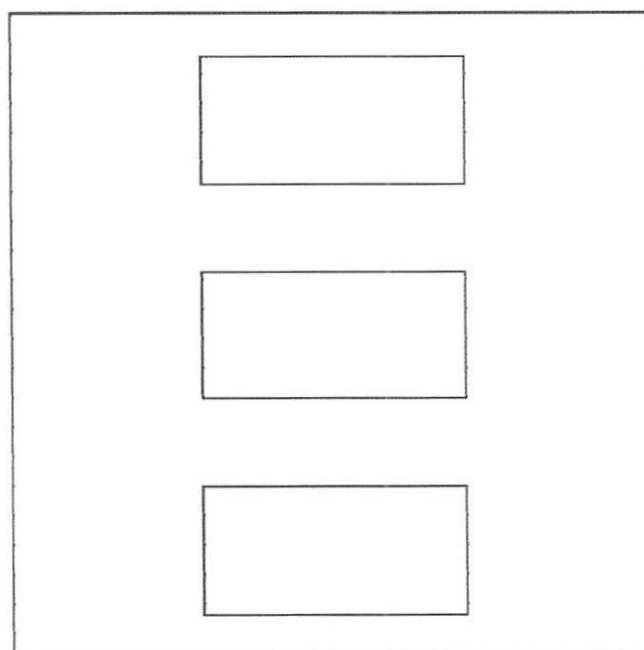
Comprimento:	3,00 m
Largura:	3,00 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

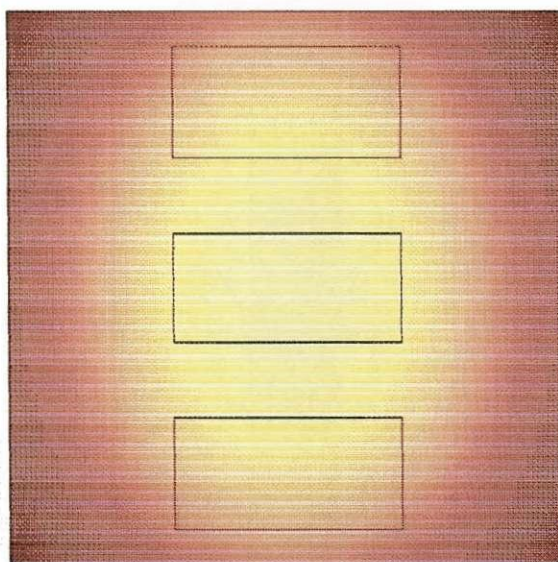
Condições do ambiente: Limpo**Fator de perdas luminosas:** 0,8**Fluxo luminoso:** 2700 lm**Fator de reator:** 1,00**Tipo de atividade:** Escritório**DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS****Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:**

2102.432.100

Illuminância solicitada:**Quantidade:** 3**Número de colunas:** 1**Distância entre colunas:****Distância parede-colunas:** 1,5 m**Número de linhas:** 3**Distância entre linhas:** 1 m**Distância parede-linhas:** 0,5 m

RESULTADOS**Ambiente:** SALA DA COORDENAÇÃO**Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:** 2102.432.100**Quantidade:** 3**E médio:** 668 lx**E máximo:** 877 lx**E mínimo:** 401 lx**E mcz:** 835 lx**PONTO A PONTO**

563	670	736	736	670	563
621	746	820	820	746	621
651	782	861	861	782	651
651	782	861	861	782	651
621	746	820	820	746	621
563	670	736	736	670	563

ILUMINÂNCIA

321 504 687 870 1052 lx

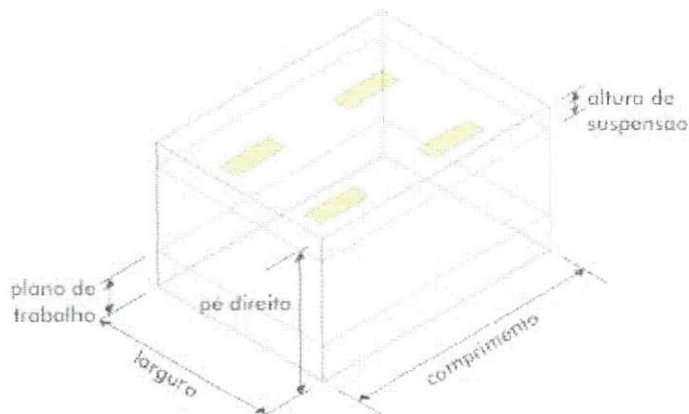
DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DA ADMINISTRAÇÃO**Dimensões:**

Comprimento:	3,00 m
Largura:	2,00 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

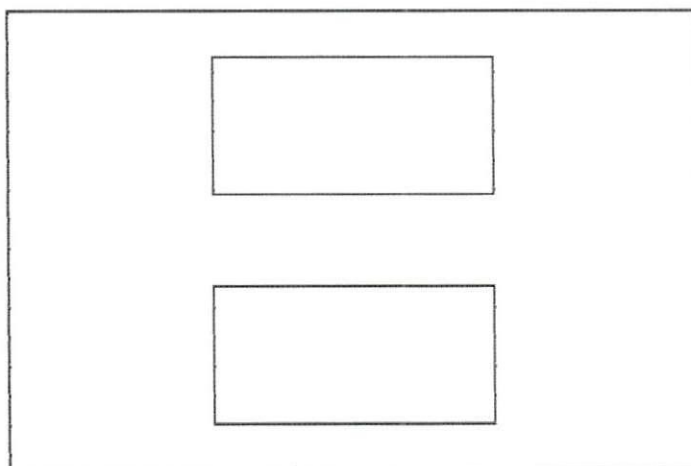
Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

Condições do ambiente:	Limpo
Fator de perdas luminosas:	0,8
Fluxo luminoso:	2700 lm
Fator de reator:	1,00
Tipo de atividade:	Escritório

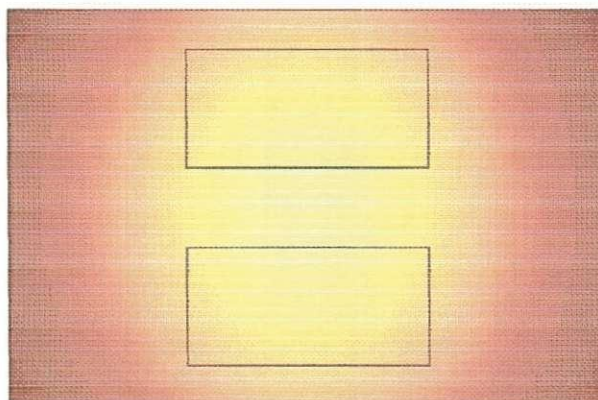
**DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS**

Luminária:	2102 4xT26 32W	Código:	2102.432.100
Illuminância solicitada:			
Quantidade:	2	Número de linhas:	2
Número de colunas:	1	Distância entre linhas:	1 m
Distância entre colunas:		Distância parede-linhas:	0,5 m
Distância parede-colunas:	1,5 m		



RESULTADOS**Ambiente:** SALA DA ADMINISTRAÇÃO**Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:** 2102.432.100**Quantidade:** 2**E médio:** 506 lx**E máximo:** 647 lx**E mínimo:** 322 lx**E mcz:** 691 lx**PONTO A PONTO**

458	586	592	611	592	536	458
478	560	619	641	619	560	478
478	560	619	641	619	560	478
458	586	592	611	592	536	458

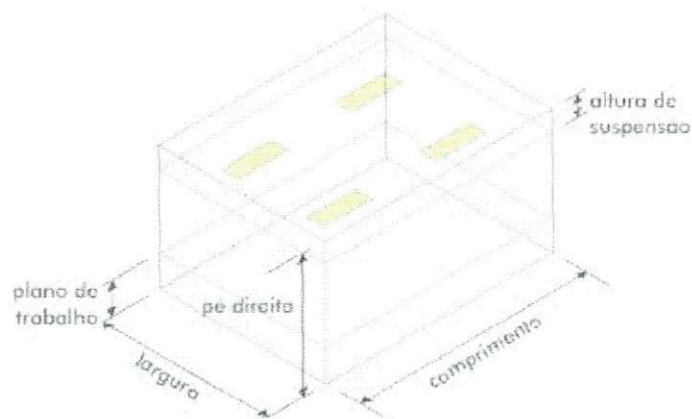
ILUMINÂNCIA

DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DE APOIO**Dimensões:**

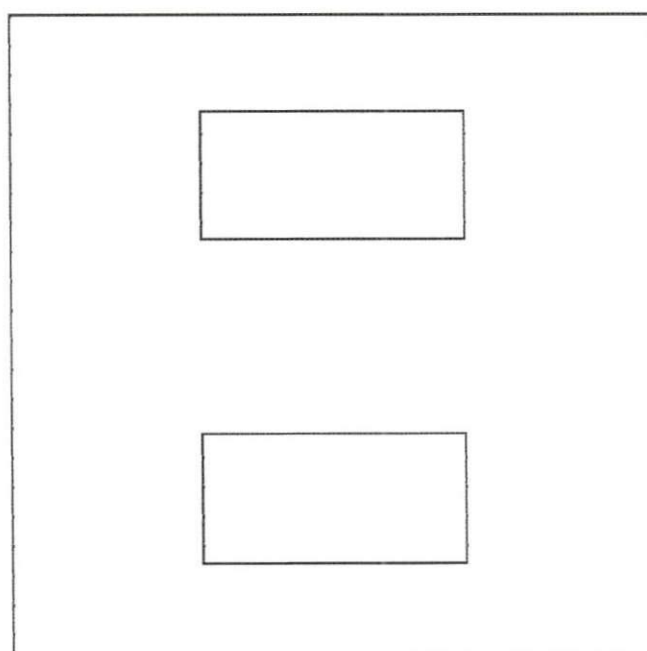
Comprimento:	3,00 m
Largura:	3,00 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

Condições do ambiente: Limpo**Fator de perdas luminosas:** 0,8**Fluxo luminoso:** 2700 lm**Fator de reator:** 1,00**Tipo de atividade:****DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS****Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:**

2102.432.100

Iluminância solicitada:**Quantidade:** 2**Número de colunas:** 1**Distância entre colunas:****Distância parede-colunas:** 1,5 m**Número de linhas:** 2**Distância entre linhas:** 1,5 m**Distância parede-linhas:** 0,75 m

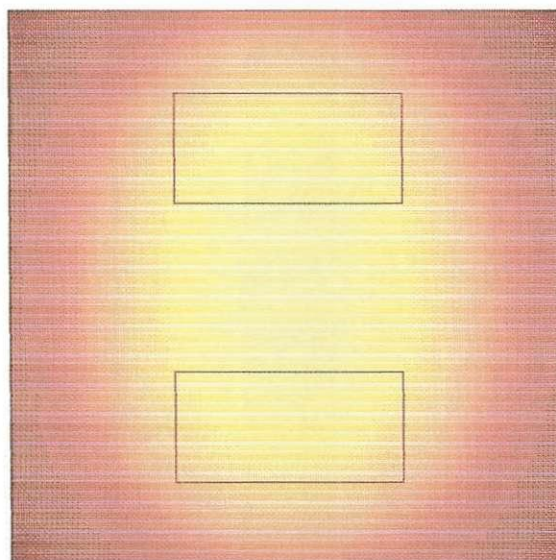
RESULTADOS

Ambiente: SALA DE APOIO
Luminária: 2102 4xT26 32W
Código: 2102.432.100
Quantidade: 2

E médio: 451 lx
E máximo: 591 lx
E mínimo: 267 lx
E mcz: 557 lx

PONTO A PONTO

380	454	500	500	454	380
420	506	557	557	506	420
441	529	582	582	529	441
441	529	582	582	529	441
420	506	557	557	506	420
380	454	500	500	454	380

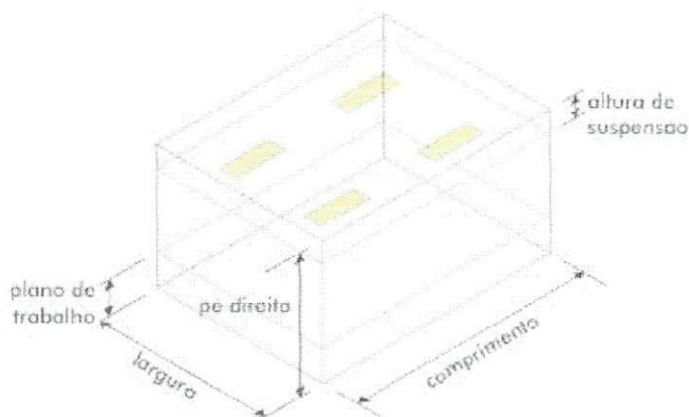
ILUMINÂNCIA

DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DE MEDIÇÃO**Dimensões:**

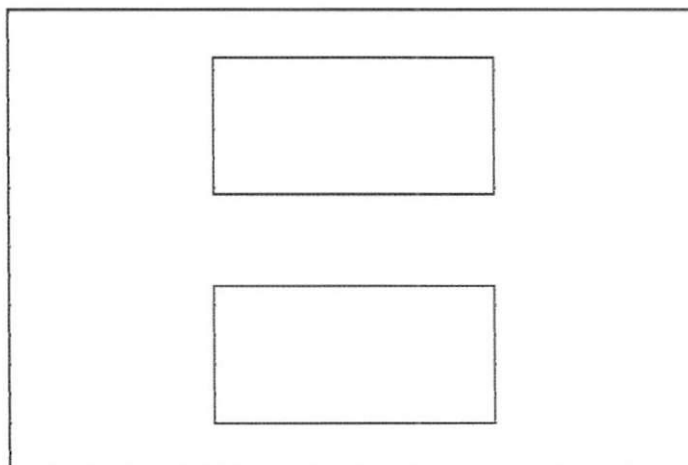
Comprimento:	3,00 m
Largura:	2,00 m
Pé direito:	3,10 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

Cores e refletância: Média

Teto:	50
Parede:	30
Piso:	10

Condições do ambiente: Limpo**Fator de perdas luminosas:** 0,8**Fluxo luminoso:** 2700 lm**Fator de reator:** 1,00**Tipo de atividade:****DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS****Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:**

2102.432.100

Illuminância solicitada:**Quantidade:** 2**Número de colunas:** 1**Distância entre colunas:****Distância parede-colunas:** 1,5 m**Número de linhas:** 2**Distância entre linhas:** 1 m**Distância parede-linhas:** 0,5 m

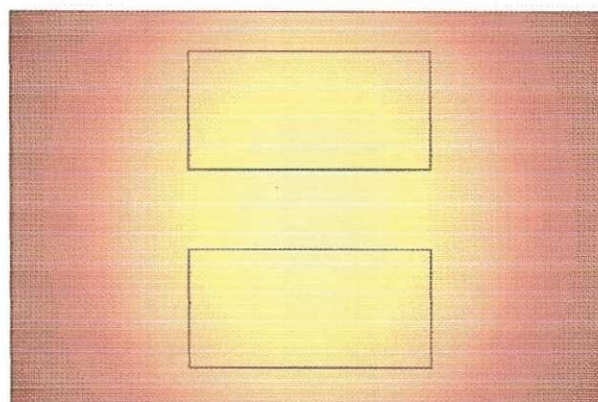
RESULTADOS

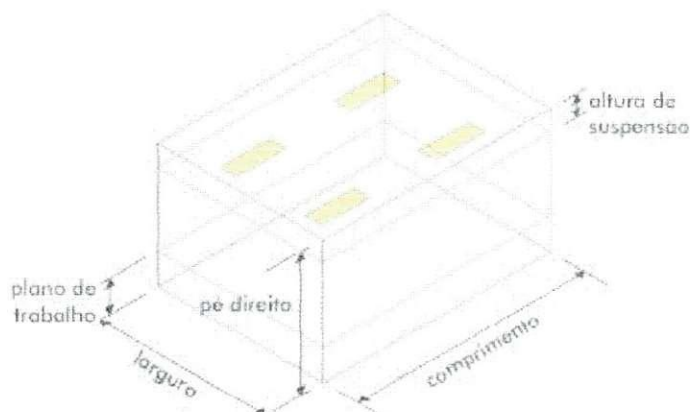
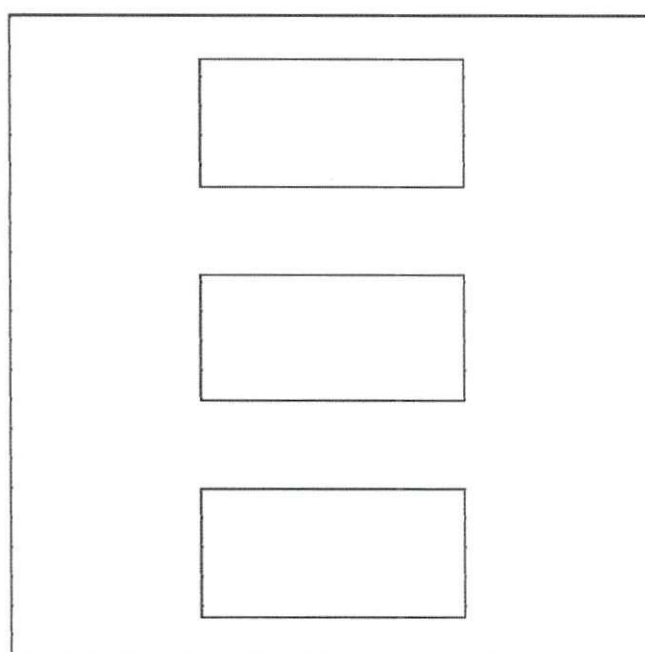
Ambiente: SALA DE MEDIÇÃO
Luminária: 2102 4xT26 32W
Código: 2102.432.100
Quantidade: 2

E médio: 506 lx
E máximo: 647 lx
E mínimo: 322 lx
E mcz: 691 lx

PONTO A PONTO

458	536	592	611	592	536	458
478	560	619	641	619	560	478
478	560	619	641	619	560	478
458	536	592	611	592	536	458

ILUMINÂNCIA

DADOS DO AMBIENTE**Ambiente:** SALA DA SEGURANÇA E QUALIDADE**Dimensões:****Comprimento:** 3,00 m**Largura:** 3,00 m**Pé direito:** 3,10 m**Plano de trabalho:** 0,75 m**Altura de suspensão:** 0,00 m**Cores e refletância: Média****Teto:** 50**Parede:** 30**Piso:** 10**Condições do ambiente:** Limpo**Fator de perdas luminosas:** 0,8**Fluxo luminoso:** 2700 lm**Fator de reator:** 1,00**Tipo de atividade:** Escritório**DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS****Luminária:** 2102 4xT26 32W**Código:** 2102.432.100**Illuminância solicitada:****Quantidade:** 3**Número de colunas:** 1**Distância entre colunas:****Distância parede-colunas:** 1,5 m**Número de linhas:** 3**Distância entre linhas:** 1 m**Distância parede-linhas:** 0,5 m

RESULTADOS

Ambiente: SALA DA SEGURANÇA E
QUALIDADE

Luminária: 2102 4xT26 32W

Código: 2102.432.100

Quantidade: 3

E médio: 668 lx

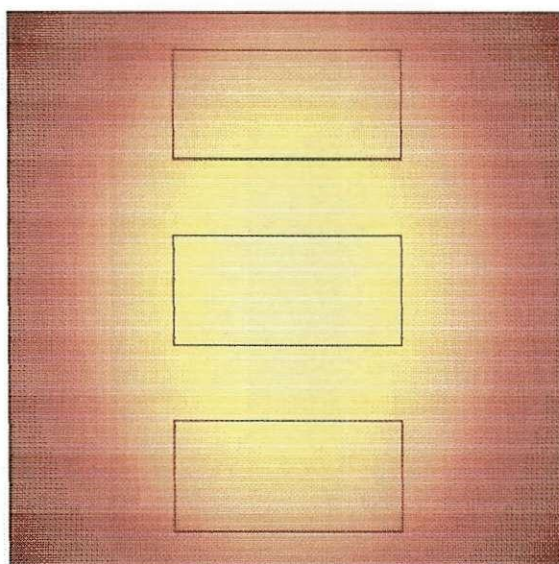
E máximo: 877 lx

E mínimo: 401 lx

E mcz: 835 lx

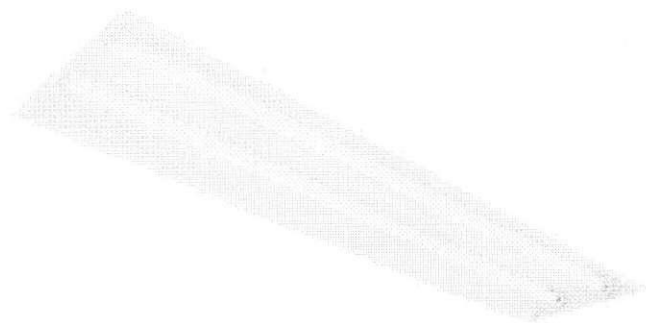
PONTO A PONTO

563	670	736	736	670	563
621	746	820	820	746	621
651	782	861	861	782	651
651	782	861	861	782	651
621	746	820	820	746	621
563	670	736	736	670	563

ILUMINÂNCIA

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

2102 4XT26 32W



2102.432.100

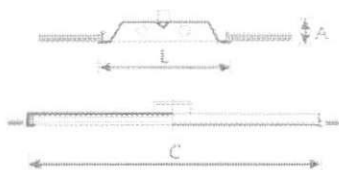
Especificação: Luminária de embutir em forro de gesso ou modulado para 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W. Corpo e refletor em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Uso geral, onde exerçam tarefas com requisitos visuais normais como loja de serviço, cozinha, refeitório, sala de aula, banco, escritório, almoxarifado, etc.

Rendimento: 86%

Dimensões: A= 50 x L= 618 x C= 1243 mm. / Modulação: 625 x 1250 mm. / Nicho: 605 x C= 1230 mm.

DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TIPO DE PAREDE	DISTÂNCIA (L) [mm]									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
50	PAREDE LISA (A, B) [mm]									
50	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
100	39	31	26	22	19	16	14	12	10	9
150	51	38	32	27	23	20	17	15	13	11
200	63	46	38	32	27	23	20	17	15	13
250	75	57	47	40	34	29	25	22	19	17
300	88	67	55	47	40	34	29	25	22	19
350	101	77	63	54	46	39	33	29	25	22
400	114	87	71	61	52	44	37	32	28	25
450	127	96	78	67	57	48	41	35	31	28
500	140	105	85	73	62	52	44	38	33	30

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

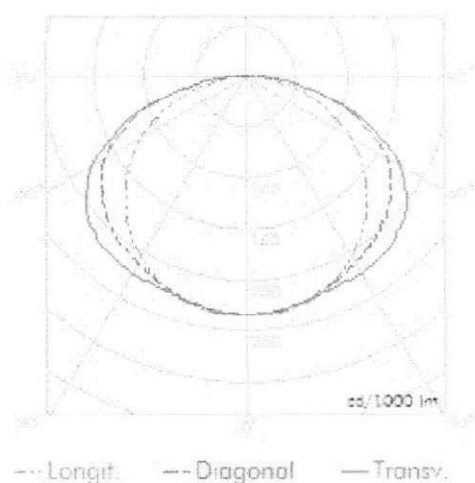
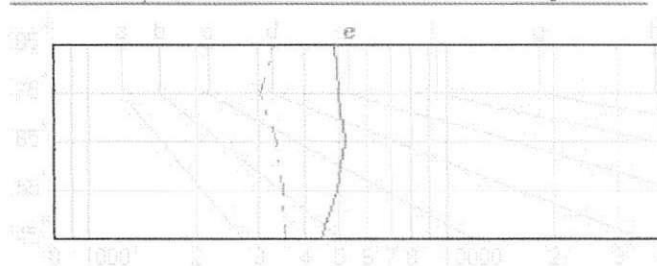


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO [lx]							
	a	b	c	d	e	f	g	h
A	2000	1000	500	<=300				
B		2000	1000	500	<=300			
C			2000	1000	500	<=300		
D				2000	1000	500	<=300	
E					2000	1000	500	<=300



Esse projeto luminotécnico foi encaminhado ao coordenador da Tenace e ao departamento de segurança e saúde ocupacional para devida avaliação.

4.4. Energia Incidente

Em virtude do cumprimento de metas dos líderes de elétrica de plantas da Dow foi solicitado o serviço de cálculo de energia incidente em painéis elétricos da planta A, para determinação da roupa de proteção para serviços elétricos (ATPV) mais adequada para cada local tendo em vista a segurança dos próprios executantes de manutenção elétrica da Tenace.

Primeiramente foram levantados os desenhos elétricos da planta A. Também foram levantados os dados dos transformadores, disjuntores, fusíveis, relés, maiores motores, CCM's e outros equipamentos envolvidos na rede elétrica dessa planta.

A partir daí foram determinados os valores de corrente de curto-circuito em barramentos do sistema elétrico da planta. Com esses valores de corrente foi determinado a corrente de arco para cada equipamento e com essa determinou-se a energia incidente em cada ponto do sistema elétrico da planta, levando em consideração a contribuição do alimentador (Chesf) até a contribuição dos motores e tempo de atuação da proteção (disjuntores, fusíveis e relés de proteção). Com posse desses valores foi realizado a determinação da roupa de proteção seguindo os critérios de segurança da Dow química.

Finalmente esses valores foram apresentados para aprovação do corpo de engenheiros da Dow química, e provisoriamente foram fabricadas identificações e coladas em todos os painéis da planta informando o nível de energia incidente e a roupa de proteção necessária.

Vamos detalhar todos os passos a seguir.

4.4.1. Corrente de Curto-circuito

Foi feito o levantamento de dados, tanto de desenhos da rede Dow, como em inspeções em equipamentos da planta. Esses valores de potência, impedância foram compilados em um diagrama unifilar. (Figura 4.3).

Para que pudéssemos utilizar os dados com maior rapidez foi atribuída uma numeração a cada barra componente do sistema (Ex.: #01, #02) para poder identificá-la, também foi observado o nível de tensão em cada uma dessas barras. É visível que algumas dessas barras representam barramentos, de painéis, outras terminais de equipamentos como motores e transformadores e até para cada fusível definimos uma barra antes e após o fusível para que pudéssemos comparar os dados experimentais e determinar a eficácia do dispositivo de proteção.

Os alimentadores foram identificados com uma numeração distinta contendo a letra F e o número correspondente (Ex. F01, F02) para facilitar a identificação de cada alimentador.

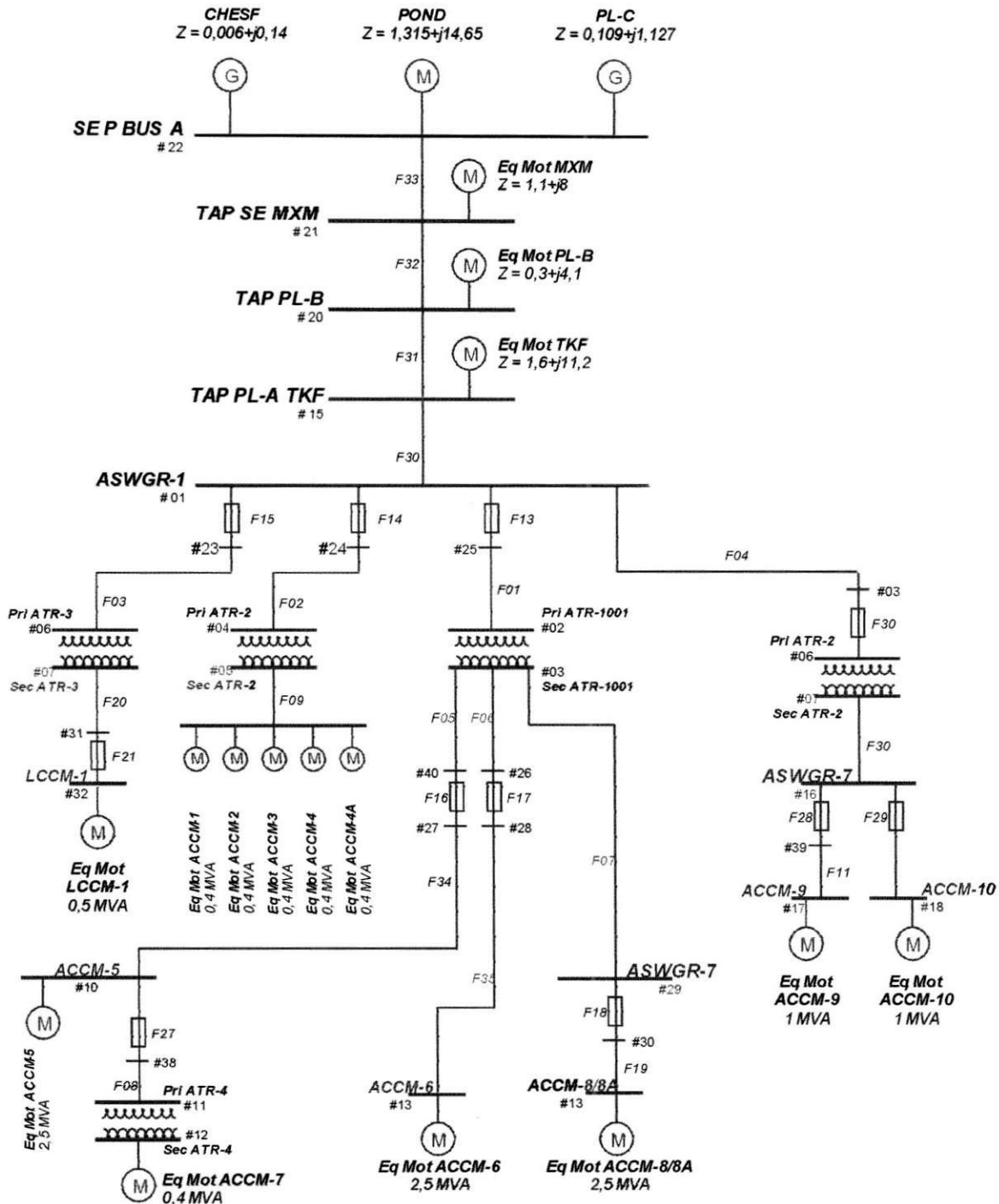


Figura 4.3 – Diagrama unifilar representando a carga instalada na planta em estudo.

Os dados de cada barramento foram inseridos na pasta de trabalho do Excel[®] para cálculo de curto-circuito e energia incidente, na planilha *Lts_Bus* que é a guia de lista de barramento, suportando até 40 barramentos. Escolhemos uma potencia base de 100 MVA e consideramos a contribuição do sistema Chesf e dos motores de todo o site. (Figura 4.4)

As células da planilha em amarelo são os campos de entrada e as em branco são informações e cálculos internos da planilha. Toda a planilha foi desenvolvida a luz da literatura tradicional para cálculo de corrente de curto-circuito trifásica e energia incidente.

Para cada barra entramos com os valores de tensão de linha de cada barra V_{bs} , Identificação e número da barra. A planilha já demonstra o cálculo da corrente de curto-circuito em cada barra I_{cc} e a Impedância equivalente Z_{eq} , mas para tal ela usa inúmeros outros dados e cálculos que serão detalhados a seguir.

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A	
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado	
Curto-circuito e da Energia Incidente	(Sistema + Motores)

BARRAMENTOS = 40 - (Max. = 40)

Potência Base (S_b) **100 MVA**

Item	Bus de Conexão			Zeq @ Vbs, Sb	
	#	Identificação	Vbs	Icc	(R+jX)
			[kV]	[A]	[pu]
B1	1	ASWGR-1	14,40	26.209	0,0301 0,1500
B2	2	Pri ATR-1001	14,40	26.054	0,0311 0,1507
B3	3	Sec ATR-1001	2,40	45.530	0,0555 0,5254

Figura 4.4 – Planilha *Lst_Bus* que identifica os barramentos do sistema elétrico.

Depois disso é necessário alimentar os valores das cargas e do alimentador principal. Isso é feito na planilha *Fontes*, onde são colocados os dados principais, como a planta onde está instalado o equipamento, nome do equipamento, tipo que pode ser sistema (Sist), no caso do alimentador da Chesf, ou motor (Mot) no caso de ser uma carga de instalação industrial. Inserimos o número do barramento ao qual o motor ou sistema está interligado (Ex.: o sistema da Chesf está ligado no barramento #22 que é o *SE P BUS A*). E também inserimos a tensão nominal do equipamento ou sistema em kV (Figura 4.5 A).

Resta inserirmos a potencia de base em cada equipamento, tipo da potência equivalente utilizada, e a potência equivalente S_{eq} , ou impedância equivalente Z_{eq} , todos em pu. Alguns valores de potência equivalente estavam disponíveis no sistema de documentação da Dow outros foram estimados em virtude da natureza da carga instalada e da potência total de cada equipamento. (Figura 4.5 B) Todos os dados podem ser considerados confiáveis já que foram adotadas margens de segurança para garantir a validade dos cálculos.

Por fim a planilha calcula a admitância equivalente e impedância equivalente para cada componente a fim de determinar a matriz admitância usada no cálculo da corrente de curto-circuito trifásico. (Figura 4.5 C).

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

FONTES E MOTORES EQUIVALENTES = 18 - (Max. = 40) Potência

Item	Planta	Identificação da Fonte	Tipo		Bus de Conexão			
			Sist	Ref	#	Identificação	Vf	Vbs
			Mot				[kV]	[kV]
S1	Planta A	Eq ACCM-5	Mot	0	10	ACCM-5	2,30	2,40
S2	Planta A	Eq ACCM-6	Mot	0	13	ACCM-6	2,30	2,40
S3	Planta A	Eq ACCM-8 / 8A	Mot	0	14	ACCM-8 / 8A	2,30	2,40

(A)

Capacidade Base (Sb) = 100 MVA

Sf ou SbZ	Tipo do Equival.	Seq CC (Seq)		Zeq CC (Zeq)		Contrib. ao Curto-circuito		
		Scc/Sf	X/R	Zf @ Vf, SbZ		Valor Máximo no Terminal		
		S equiv		(R+jX)		[MVA]	(r, θ)	
[kVA]	Z equiv	[pu]	[pu]	[pu]		[kA] / [grau]		
2.500	S equiv	5,00	18,00			13,61	3,27	-86,82
2.500	S equiv	5,00	18,00			13,61	3,27	-86,82
2.500	S equiv	5,00	8,00			13,61	3,27	-82,87

(B)

Item	Bus Referênc	Bus Conexão	Admitância		Impedância	
			Yf @ Vbs, Sbs		Zf @ Vb, Sb	
			(G+jB)		(R+jX)	
			[pu]		[pu]	
S1	0	10	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S2	0	13	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S3	0	14	0,0169	-0,1351	0,9113	7,2905

(C)

Figura 4.5 – Planilha *Fontes* para cálculo de contribuição de motores e sistema.

Os dados dos alimentadores foram inseridos na planilha *Alim* e além da identificação da planta e identificação do alimentador foi inserido o número dos barramentos de saída e chegada de cada alimentador, e a tensão do alimentador Val. (Figura 4.6 A)

No caso dos alimentadores existe a possibilidade de se informar a impedância equivalente (*Zequiv*) ou os parâmetros físicos dos cabos que compunham cada alimentador (*Par Fis*). No nosso estudo não foi necessário já que os alimentadores eram identificados através de desenhos da própria Dow. Para efeitos de cálculo consideramos os fusíveis e disjuntores como alimentadores de impedância desprezível ($Z_{eq} = 0,0001 + j0,0001$), o que não introduz erros no nosso cálculo (Figura 4.6 B).

Por fim a planilha nos retorna os valores de admitância e impedância de cada alimentador para fins de cálculos da corrente de curto (Figura 4.6 C).

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

ALIMENTADORES = 35 - (Max = 100) Potência Base (Sb) 100

Item	Planta	Identificação	Bus de Saída		Bus de Chegada		Val [kV]	Vbs [kV]
			#	Identificação	#	Identificação		
F1	Planta A	AI 14.4 ATR-1001	25	Fus ATR-1001	2	Pri ATR-1001	14,40	14,40
F2	Planta A	AI 14.4 ATR-01	24	Fus ATR-02	4	Pri ATR-02	14,40	14,40
F3	Planta A	AI 14.4 ATR-02	23	Fus ATR-03	6	Pri ATR-03	14,40	14,40

(A)

MVA

Sbs ou SbZ	Dados do Equiv	Z eq CC (Z equiv)		Dados dos Parâmetros Físicos (Par Fis)			
		Zal @ Vm, SbZ	(R+JX)	Seção	Cond. p/ Fase	Exten.	Z unitária Alim R+JX
[kVA]	Par Fis	[pu]	[pu]	[mm ²]	[m]	[Ω / km]	
100.000	Z equiv	0,0010	0,0007				
100.000	Z equiv	0,0066	0,0043				
100.000	Z equiv	0,1586	0,0579				

(B)

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Impedância	
			Yal @ Vb, Sb	(G+JB)	Zal @ Vb, Sb	(R+JX)
			[pu]	[pu]		
F1	25	2	671,1409	-469,7987	0,0010	0,0007
F2	24	4	106,3658	-69,2990	0,0066	0,0043
F3	23	6	5,5637	-2,0311	0,1586	0,0579

(C)

Figura 4.6 – Planilha *Alim* que parametriza os cabos e linhas de transmissão do sistema.

Os transformadores foram alimentados na planilha *Transf*. Consideramos o primário e secundário do transformador como sendo um barramento, então inserimos o número desse barramento e os valores de tensão no lado de baixa e no lado de alta, respectivamente (Figura 4.7 A).

Os valores de potencia nominal e impedância foram coletados nos dados de placa de cada transformador. A planilha fornece os valores de contribuição máxima ao curto para cada transformador, a admitância e impedância de cada transformador (Figura 4.7 B).

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

TRANSFORMADORES = 5 - (Max. = 15) Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Planta	Identificação	Bus do Primário				Bus do Secundário			
			#	Identificação	VnP [kV]	VbP [kV]	#	Identificação	VnS [kV]	VbS [kV]
T1	Planta A	ATR-1001	2	Pri ATR-1001	14,40	14,40	3	Sec ATR-1001	2,40	2,40
T2	Planta A	ATR-02	4	Pri ATR-02	14,40	14,40	5	Sec ATR-02	0,48	0,48
T3	Planta A	ATR-03	6	Pri ATR-03	14,40	14,40	7	Sec ATR-03	0,48	0,48
T4	Planta A	ATR-04	11	Pri ATR-04	2,40	2,40	12	Sec ATR-04	0,48	0,48
T5	Planta A	ATR-05	8	Pri ATR-05	14,40	14,40	9	Sec ATR-05	0,48	0,48

(A)

Sn [kVA]	Ztf @ Vn, Sn [%]	X/R [pu]	Contrib. Máxima ao Curto		
			[MVA]	(r, θ) [kA] / [grau]	
7.500	5,23	14,00	143,40	34,50 -85,91	
2.000	6,00	8,00	33,33	40,09 -82,87	
750	6,16	5,00	12,18	14,64 -78,69	
500	4,25	4,00	11,76	14,15 -75,96	
2.000	6,00	8,00	33,33	40,09 -82,87	

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Impedância	
			Ytf @ Vb, Sb (G+JB) [pu]	Ztf @ Vb, Sb (R+JX) [pu]		
T1	2	3	0,1022	-1,4304	0,0497	0,6956
T2	4	5	0,0413	-0,3308	0,3721	2,9768
T3	6	7	0,0239	-0,1194	1,6108	8,0538
T4	11	12	0,0285	-0,1141	2,0616	8,2462
T5	8	9	0,0413	-0,3308	0,3721	2,9768

(B)

Figura 4.7 – Planilha *Transf* que agrega as informações sobre transformadores.

Tendo alimentado todos os dados partimos para o cálculo da corrente de curto-circuito. A planilha responsável por esse cálculo é a *Calc_Icc*. Essa planilha nos fornece o cálculo do fluxo da corrente de curto-circuito trifásica I_{cc} em [A] nos alimentadores entre o barramento de saída e de entrada, quando há um curto-circuito em cada barramento do sistema. Ou seja, é fornecida uma matriz onde no topo de cada coluna está o barramento que

está sofrendo o curto e fornece o fluxo das contribuições à corrente de curto para cada alimentador do sistema (Figura 4.8). Assim, se ocorrer um curto-circuito em um motor, podemos saber a corrente que percorrerá nos fusíveis do próprio motor em curto e nos fusíveis de outros equipamentos localizados acima do motor em curto.

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

* Quantidade Total de Elementos: 58
 * Barramentos: 40
 * Fontes e Motores Equivalentes: 18
 * Alimentadores: 35
 * Transformadores: 5

Matriz Fluxo de Icc no Ramos

Matriz Y-BUS:

Matriz G-BUS:

Matriz B-BUS:

Matriz Z-BUS:

Matriz V-BUS:

Células de Icc1:

N15:BA54 N15:BA54

N178:BA217 N178:BA217

BE178:CR217 BE178:CR217

CS178:EF217 CS178:EF217

N223:BA262 N223:BA262

N269:BA308 N269:BA308

N316:BA355 N316:BA355

Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Bus de Saída	Bus de Chegada	
			Yaj @ Vb, Sb	(G+JB)			
			[pu]				
1	2	3					
T5	8	9	0,0913	-0,3308	Pr ATR-05	Sec ATR-05	1
T4	11	12	0,0285	-0,1141	Pr ATR-04	Sec ATR-04	2
T3	5	7	0,0249	-0,1194	Pr ATR-03	Sec ATR-03	3

Fluxo de Icc em [A] nos ALIMENTADORES entre BS e BC, quando de curto-circuito no B1

Fluxo de Icc nos Ramos	1	2	3	4
Referencia: M14	ASWGR-1	Pr ATR-1001	Sec ATR-1001	Pr ATR-02
Vb	14,4	14,4	2,4	14,4
Icc	28.208	28.054	45.532	25.285
0,48	8.577	8.480	27.781	8.367
0,48	1.775	1.773	2.320	1.712
0,48	2.870	2.853	632	2.768

Figura 4.8 – Planilha *Calc_Icc* para o cálculo das contribuições a corrente de curto de cada ramo do sistema.

Com esses valores de corrente de curto será possível calcular a corrente de arco para cada barramento que se deseja calcular.

4.4.2. Corrente de Arco e Energia Incidente

A corrente de arco, como visto, para tensão de linha maior que 208 V e menor que 1000 V será dada pela fórmula:

$$\text{Log } I_a = K + 0,662 \times \text{Log}(I_{bf}) + 0,0966xV + 0,000526 \times G + 0,5588 \times V \times \text{Log}(I_{bf}) - 0,00304 \times G \times \text{Log}(I_{bf})$$

e

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

E para tensão de linha maior que 1000 V e menor que 15000 V, pela fórmula:

$$\text{Log } I_a = 0,00402 + 0,983 \times \text{Log}(I_{bf})$$

e

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

Para o cálculo da corrente de arco e energia incidente analisaremos o caso da barra ASWGR-1 (#1) com tensão de trabalho de 14,4kV, que representa o switchgear principal da planta A.

Um switchgear é um conjunto de painéis contendo de chaves elétricas, fusíveis e/ou de disjuntores utilizados para isolar equipamentos elétricos. São utilizados também para desenergizar o equipamento para permitir o trabalho seguro e eliminar falhas a jusante (Figura 4.9).

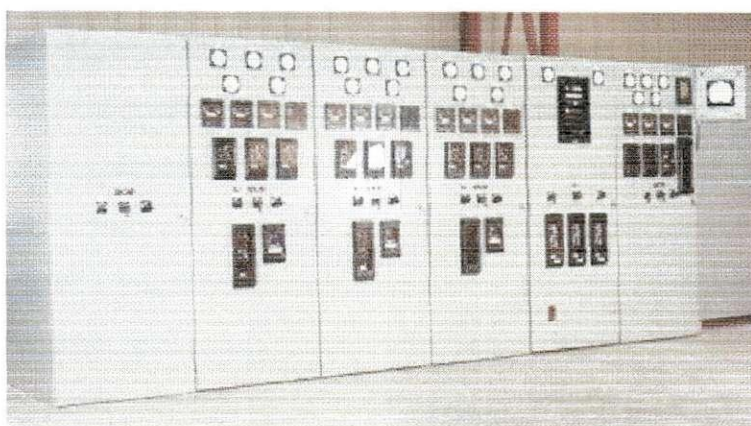


Figura 4.9 – Representação de um switchgear de média tensão.

A planilha responsável pelo cálculo da corrente de arco e da energia incidente é a *Ener_Inc*. Inicialmente inserimos o número da barra aonde se deseja calcular o valor de energia incidente, no nosso caso será o número 1. A tabela retorna além da identificação da barra, e tensão de base, a corrente de curto, onde no ASWGR-1 temos uma corrente de curto-circuito sólido trifásico simétrico de 26,21 kA (rms). O fator real deve ser de 100% e de 85% conforme norma.

Devemos escolher o tipo de aterramento utilizado: equipamento isolado, aterramento através de resistor ou diretamente aterrado. Esse tipo de aterramento é o responsável pela determinação da constante K_2 . Optamos pelo diretamente aterrado apesar de toda instalação das grandes indústrias ser feita através de resistor de aterramento (geralmente de 55 Ohms). Isso nos dá uma garantia de que em caso de curto a energia incidente sempre será menor ou igual do que a calculada, já que o resistor de aterramento serve para diminuir a corrente de curto quando se envolve a terra.

Temos que determinar também a configuração do equipamento se é aberto ou fechado. No nosso caso quase todos os equipamentos serão fechados, por se tratarem de painéis, swithgears, etc. Esse valor determina a constante K.

Por último deve-se informar o tipo de equipamento: Espaço aberto, Switchgear, Pannel / CCM ou Cabo elétrico. Que no caso em demonstração é um Switchgear. Esse tipo de equipamento define o afastamento típico entre as barras, ou seja, o afastamento G. (Figura 4.10)

DOWBRASIL S.A - SITE DE ARATU - Planta A
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE COM CURTO-CIRCUITO NO PONTO F1 Sep

Item	#	Identificação	Barramento / Sistema						
			Vb	I cc	Fator Red	Tipo de	Equipament		
			[kV]	[kA]	I arc - FRIA	Aterram	Config.	Tipo	
				[kA]	[kV]				
1	1	ASWGR-1	14,40	26,21	100	Dtr. Aberr	Fechado	SWGR	
					85				

Figura 4.10 – Planilha *Ener_Inc* responsável pelo cálculo da energia incidente

Para que o cálculo da energia incidente seja mais completo a corrente de arco será considerada como uma soma de contribuição das várias correntes que circulam nos ramos adjacentes a barra onde ocorreu o arco. Isso porque se sabe que a corrente de curto é uma soma das contribuições das fontes de energia (no caso o sistema Chesf) e também dos motores (ou carga indutiva) da instalação.

Para tal usam-se as informações de fluxo de corrente nos ramos onde há dispositivos de proteção, alimentador, ou cargas. No caso do *ASWGR-1* temos um alimentador representado pelo *TAP PL-A TKF* e quatro dispositivos de proteção ligados à barra que são os fusíveis de alta tensão *F15, F14, F13 e F30*. (Figura 4.11)

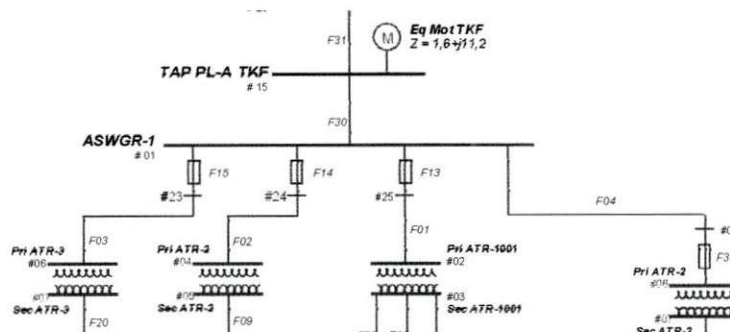


Figura 4.11 – Diagrama unifilar dos ramos adjacentes à barra ASWGR-1.

Inserir-se o número de cada barra adjacente (Ex.: #19 para o *Tap Planta A / TKF*) bem como o barramento de saída e entrada (Ex.: #19 e #01, respectivamente), e daí se insere o valor da corrente de curto que passa entre esses respectivos barramentos que nada mais é do que a corrente que percorre os diversos dispositivos de proteção adjacentes ao curto ou a contribuição dos alimentadores. Esse valor de corrente de curto é facilmente visualizado na planilha *Icc_Alim* que nada mais é do que uma melhor disposição dos cálculos de corrente de curto executados na planilha *Calc_Icc*. Esse valor do fluxo de corrente de curto no dispositivo de proteção não considera o valor da resistência do arco ou seja será um pouco maior dando aos nossos cálculos maior margem de segurança. (Figura 4.12)

Fluxos de Corrente pelos Ramos dos Dispositivos de Proteção

Item	Bus Adjacente ao Defeito				Ramo do Dispositivo de Proteção				Fluxo I cc [kA]	
	#	Identificação	Vb [kV]	I cc pl Arc FI [kA]	Bus Saida		Bus Chegada			Identificação do Disp. de Proteção
					#	Vb [kV]	#	Vb [kV]		
1	19	Tap Planta A / TKF	14,40	24,121	19	14,40	1	14,40	Eq Mot TAP PLA	24,121
2	23	Fus ATR-03	14,40	0,099	23	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-03	0,099
3	24	Fus ATR-02	14,40	0,341	24	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-02	0,341
4	25	Fus ATR-1001	14,40	1,374	25	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-1001	1,374
5	8	Fus ATR-05	14,40	0,289	8	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-05	0,289
6										
7										
8										
9										
10										

Figura 4.12 – Planilha *Ener_Inc* considerando a contribuição dos ramos adjacentes.

As características do dispositivo de proteção são necessárias para determinar o tempo de duração da corrente em cada ramo que contribui para a corrente de arco. (Figura 4.13) Sempre que ocorre um arco em instalações com motores indutivos temos uma contribuição do motor que se comportará como gerador por alguns instantes. Geralmente a contribuição dos motores para o curto dura um tempo equivalente a seis ciclos, ou seja, em 60 Hertz temos 60 ciclos por segundo, daí seis ciclos serão 0,1 segundo. (Figura 4.14)

Características do Dispositivo de Proteção						Fluxo 100 % I arc DP			Fluxo 65 % I arc DP				
Fabric	Modelo	Tipo	I nom [A]	I @ 0,010 s [kA]	Correntes de Pickup			I arc [kA]	top pl I arc [s]	t total [s]	I arc [kA]	top pl I arc [s]	t total [s]
					Unid L [kA]	Unid S [kA]	Unid I [kA]						
		Motor Equiv					23,03	0,100	0,100	19,58	0,100	0,100	
		Motor Equiv					0,09	0,100	0,100	0,08	0,100	0,100	
		Motor Equiv					0,33	0,100	0,100	0,28	0,100	0,100	
		Motor Equiv					1,31	0,100	0,100	1,11	0,100	0,100	
		Motor Equiv					0,28	0,100	0,100	0,23	0,100	0,100	
							0,00		0,000	0,00		0,000	
							0,00		0,000	0,00		0,000	
							0,00		0,000	0,00		0,000	
							0,00		0,000	0,00		0,000	
							0,00		0,000	0,00		0,000	

Figura 4.13 – Característica dos dispositivos de proteção e tempo de contribuição dos motores à falta.

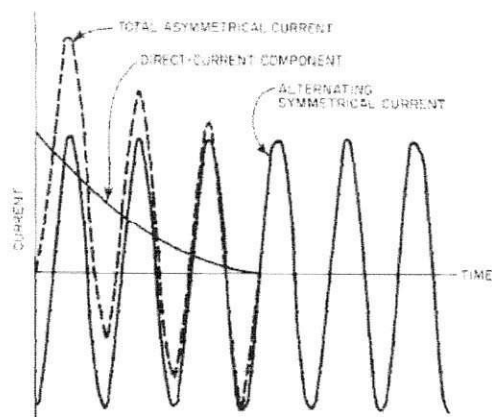


Figura 4.14 – Curva típica de contribuição de motores à falta.

Então a planilha nos fornecerá os valores de energia incidente para 100% e 85% do valor da corrente de curto (Figura 4.15).

Energia Incidente no Ponto de Trabalho E		Fronteira de Prot. do Arco [m]	Coeficientes de Cálculo						
[J/cm ²]	[cal/cm ²]		Fator K	Fator K1	Fator K2	Afast. G [mm]	Dist Arco D [mm]	Cf	Exp x
14,5	3,5		0,000	-0,566	-0,113	152	910	1,0	0,973
12,2	2,9								

Figura 4.15 – Energia incidente para 100% e 85% de I_{cc} .

Como no caso o maior valor de energia incidente é para 100% de I_{cc} escolhemos esse valor como o valor de energia incidente para o ASWGR-1.

O valor de 3,5 cal/cm² pode parecer pequeno se tratando de um switchgear de 14,4 kV, mas é um valor aceitável já que acima de 1,2 cal/cm² se torna obrigatório o uso de roupa contra arco elétrico.

4.4.3. EPI necessário

As empresas Dow seguem rigorosas normas de segurança que reúnem as mais restritivas normas de segurança internacionais ou nacionais e ainda garantido uma margem de segurança.

Para trabalhos elétricos energizados e manobras é obrigatório o uso de roupa contra arco elétrico, não importando se o nível de energia incidente é mínimo.

Mesmo assim existe uma norma interna que especifica os nível de energia incidente e a proteção correspondente obrigatória.

Energia Incidente (cal/cm ²)	EPI necessário
0 – 1,2	Roupa Resistente a Chama não requerida
1,2 – 8	Roupa Resistente a Chama
8 – 25	Roupa contra arco dimensionada para 25 cal/cm ² ou acima
25 – 50	Roupa contra arco dimensionada para 50 cal/cm ² ou acima
Acima de 50	Contate o seu Especialista em Atividades da Disciplina Elétrica.

No caso do ASWGR-1 temos a obrigação de usar roupa resistente à chama (8 cal/cm² ou mais). A roupa resistente à chama é composta por macacão de tecido resistente a chama, luvas de borracha isolante elétrica, luva de couro resistente a chama, capuz com capacete e visor resistente a chama. (Figura 4.16)



Figura 4.16 – Componentes do EPI para trabalhos elétricos energizados e manobras.

Porém em todo CCM nas empresas Dow é disponibilizada uma roupa para 50 cal/cm² que deve sempre ser usada em manobras ou manutenção energizada.

Vale salientar que o funcionário que executar tarefas sem a utilização correta do EPI a ele fornecido pode ser demitido por justa causa, segundo as leis trabalhistas brasileiras. O foco principal da segurança do trabalho é a vida (ou qualidade de vida) do funcionário e o uso da roupa contra arco elétrico pode ser o que determina, quando da ocorrência de arco elétrico, o funcionário retornar para casa depois de um dia de trabalho ou passar meses se tratando de queimaduras em um hospital ou até perder a própria vida.

5. CONCLUSÃO

A manutenção elétrica industrial é um processo que vem se modificando, cada vez mais, e, ao longo do tempo, adquirindo status de engenharia de manutenção. Na engenharia de manutenção todos os processos de manutenção visam justamente diminuir ao máximo as intervenções em equipamentos e também o tempo necessário à intervenção, descobrindo, através da engenharia e pesquisa, o motivo de cada uma das falhas e eliminando o motivo das falhas, para que aquele determinado tipo de falha não ocorra novamente ou ocorra em períodos de tempo mais longos.

É necessária uma maior conscientização das empresas a respeito da economia financeira existente na utilização da engenharia de manutenção, que usa novos conceitos e aprimora cada vez mais a confiabilidade de um sistema elétrico, se mostrando mais eficiente do que os outros tipos de manutenção.

A adequação as normas brasileiras elétricas e de ergonomia são fundamentais para garantir a rapidez e eficiência dos serviços de planejamento e manutenção elétrica. Um ambiente de trabalho bem iluminado diminui a chance de acidentes causados por falta de atenção ou cansaço físico, além de acelerar o processo produtivo como também o processo intelectual.

Infelizmente na maioria das empresas não se leva muito em consideração a iluminação do ambiente como fator de crescimento produtivo ou como fator determinante de uma maior segurança industrial. É necessário um maior empenho e também uma maior fiscalização ao cumprimento das normas brasileiras, por parte do corpo de engenheiros e técnicos.

Na adequação as normas regulamentadoras, em especial à NR-10 – Segurança em serviços elétricos, tornou-se necessária a determinação da energia incidente, sobre o trabalhador, em ocasião de arco elétrico gerado por curto-circuito em painéis elétricos, principalmente. Através desses cálculos pode-se garantir a segurança do trabalhador que executa a manutenção elétrica bem como na execução de uma simples manobra, determinando a roupa de proteção a arco elétrico que ele deve utilizar em caso de manobra ou manutenção.

Por se tratar de uma área nova, muitas empresas têm negligenciado essa proteção, colocando sobre o executante das tarefas de manutenção e manobras a responsabilidade por sua própria segurança. Já outras têm tomado ações super protecionistas e adquirido

equipamentos de segurança com o mais alto nível de proteção, desperdiçando recursos que poderiam ser investidos em pesquisas e cálculos para determinação da proteção necessária em cada ambiente.

Também é necessária a aplicação uma visão protecionista no ponto de vista de segurança em serviços elétricos já que o que está em risco é a vida do funcionário que é insubstituível e pode gerar inúmeros processos judiciais ocasionando perdas não só financeiras, mais de popularidade da indústria.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

Seria uma interessante contribuição se fosse possível estudar o arco elétrico e a energia incidente em laboratório apropriado, garantindo a segurança em primeiro lugar, para fins de comprovação da teoria apresentada.

Outra contribuição interessante seria o desenvolvimento de um programa para cálculo de corrente de curto-circuito trifásico, que pudesse ser utilizado pelos profissionais como mais uma ferramenta de trabalho para o cálculo da energia incidente.

7. BIBLIOGRAFIA

BODDINGTONS ELECTRICAL LTD. *Arc Flash Protective Wear and Equipment*. Essex: 2007. Disponível em: <http://www.boddingtons-electrical.com/arc_protective_equipment/arc_protective_wear.html>. Acesso em: 22 ago 2008.

CAMARA, João Maria; ARAÚJO, Igor Mateus de; SANTOS, Crisluci Karina Souza. *Maintenance Elétrica Industrial*. Departamento de Engenharia Elétrica. UFRN. Disponível em: <<http://www.dee.ufrn.br/~joao/apostila/index1.htm>>. Acesso em: 13 ago 2008.

DOW. *Sobre a Dow*. Disponível em: <<http://www.dow.com/publicreport/2005/local/aratu/overview/overview.htm>>. Acesso em: 14 ago 2008.

LEITE, Fábio Correa; TOMIYOSHI, Luiz K. *Abordagem 6 Sigma para redução de arcos elétricos*. III ESW Brasil 2007 – Seminário Internacional de Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho. IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. - Industry Applications Society - South Brazil & Rio de Janeiro Sections.. Arquivo em pdf: Arc-Flash-6sigma-Fabio-Leite.pdf. 2007.

LIQUID WASTE TECHNOLOGY, LLC. *Automated Dredging Systems for Solids Control Dredging*. New Richmond: 2007. Disponível em: <<http://www.lwtpithog.com/auto.htm>>. Acesso em: 21 ago 2008.

LUZ, Jeanine Marchiori da. *Luminotécnica*. Curso de Luminotécnica. Arquivo pdf: Luminotecnica.pdf. out 2007.

NORTH AMERICAN SERVO LTD. *Arc Flash Safety Awareness Training*. 2008. Disponível em: <<http://www.northamericanservo.com/training.html>>. Acesso em: 16 ago 2008.

OSRAM. *Manual Luminotécnico Prático*. Arquivo pdf: manual_OSRAM.pdf. Ago 2001.

RODRIGUES, Marcelo; HATAKEYAMA, Kazuo. *A Situação dos Recursos Humanos Aplicados em Manutenção na Região de Curitiba*. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

SOFTLUX. Versão 2.1. Itaim Iluminação. Desenvolvido por Arquillum Arquitetura e Iluminação. 2008.

STEVENSON JR, William D. *Elementos de Análise de Sistemas de Potência*. 1ª reimpressão. 1. ed. McGraw Hill: São Paulo, 1975.

TENACE Engenharia e Consultoria. *Empresa*. Disponível em: <<http://www.tenace.com.br/Empresa.asp>>. Acesso em: 12 ago 2008.

THE ELECTRICITY FORUM. *Arc Flash Clothing*. Pickering: 2008. Disponível em: <<http://www.electricityforum.com/arc-flash/arc-flash-clothing.html>>. Acesso em: 22 ago 2008.

TOMIYOSHI, Luiz K. *Proteção contra queimaduras por arcos elétricos: nova metodologia para cálculo de energia*. Junho de 2004

_____. *Proteção contra queimaduras por arcos elétricos: Estimativa de energia e escolha da roupa de proteção*. DuPont do Brasil S.A. Disponível em: <<http://www.viaseg.com.br/artigos/nomex.htm>>. Acesso em 15 ago 2008.

TRAINING PRESS RELEASES. *New arc flash safety training from Coastal Training Technologies*. Coastal Training Technologies. Virginia Beach, VA. Fev 2007. Disponível em: <<http://www.trainingpressreleases.com/newsstory.asp?NewsID=2601>>. Acesso em: 14 ago 2008.

WHITE, Jim. *5 Minute Safety Topic: There's Nothing Common About Common Sense*. NEC Digest, Out 2006. Disponível em: <http://www.c-ad.bnl.gov/esfd/monday/safety_10_19_06.htm>. Acesso em: 15 ago 2008.

8. APÊNDICE

Lista de Barras do Sistema – Planilha: *Lst_Bus*.

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A	
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado	
Curto-circuito e da Energia Incidente	(Sistema +

BARRAMENTOS = 40 - (Max. = 40)

Potência Base (Sb) MVA

Item	Bus de Conexão				Zeq @ Vbs, Sb	
	#	Identificação	Vbs	Icc	(R+jX)	
			[kV]	[A]	[pu]	
B1	1	ASWGR-1	14,40	26.209	0,0301	0,1500
B2	2	Pri ATR-1001	14,40	26.054	0,0311	0,1507
B3	3	Sec ATR-1001	2,40	45.530	0,0555	0,5254
B4	4	Pri ATR-02	14,40	25.284	0,0366	0,1543
B5	5	Sec ATR-02	0,48	51.822	0,2975	2,3019
B6	6	Pri ATR-03	14,40	14.329	0,1871	0,2080
B7	7	Sec ATR-03	0,48	17.799	1,3727	6,6167
B8	8	Pri ATR-05	14,40	25.299	0,0366	0,1542
B9	9	Sec ATR-05	0,48	158.022	0,0917	0,7556
B10	10	ACCM-5	2,40	44.877	0,0595	0,5327
B11	11	Pri ATR-04	2,40	11.468	1,7223	1,1974
B12	12	Sec ATR-04	0,48	14.599	2,7605	7,7628
B13	13	ACCM-6	2,40	44.336	0,0623	0,5390
B14	14	ACCM-8 / 8A	2,40	44.341	0,0625	0,5389
B15	15	ASWGR-2	0,48	48.673	0,3162	2,4509
B16	16	ASWGR-7	0,48	224.461	0,0593	0,5326
B17	17	ACCM-9	0,48	224.374	0,0595	0,5328
B18	18	ACCM-10	0,48	224.419	0,0594	0,5327
B19	19	Tap Planta A / TKF	14,40	26.470	0,0292	0,1486
B20	20	Tap Planta B	14,40	27.941	0,0244	0,1414
B21	21	Tap Se MxM	14,40	28.804	0,0218	0,1375
B22	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	34.704	0,0065	0,1153
B23	23	Fus ATR-03	14,40	26.189	0,0302	0,1501
B24	24	Fus ATR-02	14,40	26.189	0,0302	0,1501
B25	25	Fus ATR-1001	14,40	26.190	0,0302	0,1501
B26	26	ASWGR-3 (6)	2,40	44.352	0,0622	0,5388
B27	27	Fus ACCM-5	2,40	44.885	0,0594	0,5327
B28	28	Fus ACCM-6	2,40	44.344	0,0622	0,5389
B29	29	ASWGR-6	2,40	44.357	0,0623	0,5387
B30	30	Fus ACCM-8/8A	2,40	44.349	0,0624	0,5388
B31	31	LCCM-1	0,48	17.799	1,3728	6,6168
B32	32	Fus LCCM-1	0,48	17.799	1,3728	6,6169
B33	33	Fus ACCM-1	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B34	34	Fus ACCM-2	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B35	35	Fus ACCM-3	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B36	36	Fus ACCM-4	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B37	37	Fus ACCM-4A	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B38	38	Fus ATR-4	2,40	44.868	0,0596	0,5328
B39	39	Fus ACCM-9	0,48	224.417	0,0594	0,5327
B40	40	ASWGR-3 (5)	2,40	44.892	0,0593	0,5326
40						

(Sistema + Motores)

(Sistema)

(Motores)

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

FONTES E MOTORES EQUIVALENTES = 18 - (Max. = 40) Potência Base (Sb) = 100 MVA

Item	Planta	Identificação da Fonte	Tipo	Bus de Conexão			Sf ou SbZ	Tipo do Equival.	S eq CC (Seq)		Z eq CC (Zeq)		Contrib. ao Curto-circuito					
				Sist	Ref	#			Identificação	Vf	Vbs	S equiv	X/R	Zf @ Vf, SbZ		Valor Máximo no Terminal		
														[kV]	[kV]	[kVA]	Z equiv	[pu]
S1	Planta A	Eq ACCM-5	Mot	0	10	ACCM-5	2,30	2,40	2.500	S equiv	5,00	18,00	13,61	3,27	-86,82			
S2	Planta A	Eq ACCM-6	Mot	0	13	ACCM-6	2,30	2,40	2.500	S equiv	5,00	18,00	13,61	3,27	-86,82			
S3	Planta A	Eq ACCM-8 / 8A	Mot	0	14	ACCM-8 / 8A	2,30	2,40	2.500	S equiv	5,00	8,00	13,61	3,27	-82,87			
S4	Planta A	Eq ACCM-7	Mot	0	12	Sec ATR-04	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	7,00	2,38	2,88	-81,87			
S5	Planta A	Eq ACCM-1	Mot	0	33	Fus ACCM-1	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,88	-82,87			
S6	Planta A	Eq ACCM-2	Mot	0	34	Fus ACCM-2	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,88	-82,87			
S7	Planta A	Eq ACCM-3	Mot	0	35	Fus ACCM-3	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,88	-82,87			
S8	Planta A	Eq ACCM-4	Mot	0	36	Fus ACCM-4	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,88	-82,87			
S9	Planta A	Eq ACCM-4A	Mot	0	37	Fus ACCM-4A	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,88	-82,87			
S10	Planta A	Eq Lime CCM-1	Mot	0	32	Fus LCCM-1	0,44	0,48	500	S equiv	5,00	6,00	2,98	3,58	-80,54			
S11	Planta A	Eq ACCM-9	Mot	0	17	ACCM-9	0,44	0,48	1.000	S equiv	5,00	8,00	5,95	7,16	-82,87			
S12	Planta A	Eq ACCM-10	Mot	0	18	ACCM-10	0,44	0,48	1.000	S equiv	5,00	8,00	5,95	7,16	-82,87			
S13	Se 230	Sistema CHESF	Sist	0	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	14,40	100.000	Z equiv			0,0061	0,1477	678,47	27,12	-87,64	
S14	Se 230	Eq Mot PONDISA	Mot	0	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	14,40	100.000	Z equiv			1,3165	14,6508	8,80	0,27	-84,87	
S15	Se 230	Eq Mot Planta C	Mot	0	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	14,40	100.000	Z equiv			0,1088	1,1271	88,31	3,54	-84,49	
S16	AJ Mot Power	Eq Mot Se MxM	Mot	0	21	Tap Se MxM	14,40	14,40	100.000	Z equiv			1,0991	7,9969	12,39	0,50	-82,17	
S17	AJ Mot Power	Eq Mot Planta B	Mot	0	20	Tap Planta B	14,40	14,40	100.000	Z equiv			0,3596	4,0717	24,46	0,98	-84,95	
S18	AJ Mot Power	Eq Mot Tank Farm	Mot	0	19	Tap Planta A / TKF	14,40	14,40	100.000	Z equiv			1,6031	11,1802	8,85	0,35	-81,84	

Item	Bus Referência	Bus Conexão	Admitância		Impedância	
			Yf @ Vbs, Sbs		Zf @ Vb, Sb	
			(G+jB)	[pu]	(R+jX)	[pu]
S1	0	10	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S2	0	13	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S3	0	14	0,0169	-0,1351	0,9113	7,2905
S4	0	12	0,0034	-0,0236	5,9417	41,5916
S5	0	33	0,0030	-0,0236	5,2112	41,8895
S6	0	34	0,0030	-0,0236	5,2112	41,8895
S7	0	35	0,0030	-0,0236	5,2112	41,8895
S8	0	36	0,0030	-0,0236	5,2112	41,8895
S9	0	37	0,0030	-0,0236	5,2112	41,8895
S10	0	32	0,0049	-0,0293	5,5256	33,1538
S11	0	17	0,0074	-0,0590	2,0845	16,6758
S12	0	18	0,0074	-0,0590	2,0845	16,6758
S13	0	22	0,2791	-6,7580	0,0061	0,1477
S14	0	22	0,0061	-0,0677	1,3165	14,6508
S15	0	22	0,0849	-0,8790	0,1088	1,1271
S16	0	21	0,0169	-0,1227	1,0991	7,9969
S17	0	20	0,0215	-0,2437	0,3596	4,0717
S18	0	19	0,0126	-0,0876	1,6031	11,1802

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

ALIMENTADORES = 35 - (Max = 100) Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Planta	Identificação	Bus de Saída		Bus de Chegada		Val [kV]	Vbs [kV]	Sbs ou SbZ [kVA]	Dados do Equiv Par Fis	Z eq CC (Z equiv) (R+X) [pu]		Dados dos Parâmetros Físicos (Par Fis)				
			#	Identificação	#	Identificação					Seção [mm²]	Cond. pl Fase	Exten. [m]	Z unitária Alim (R+X) [Ω / km]			
														Yaf @ Vb, Sb (G+JB) [pu]	Zaf @ Vb, Sb (R+X) [pu]		
F1	Planta A	Al 14,4 ATR-1001	25	Fus ATR-1001	2	Pri ATR-1001	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0010	0,0007					
F2	Planta A	Al 14,4 ATR-01	24	Fus ATR-02	4	Pri ATR-02	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0066	0,0043					
F3	Planta A	Al 14,4 ATR-02	23	Fus ATR-03	6	Pri ATR-03	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,1586	0,0579					
F4	Planta A	Al 14,4 ATR-05	1	ASWGR-1	8	Pri ATR-05	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0066	0,0043					
F5	Planta A	Al ACCM-5	3	Sec ATR-1001	40	ASWGR-3 (5)	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0079	0,0156					
F6	Planta A	Al ACCM-3	3	Sec ATR-1001	26	ASWGR-3 (6)	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0079	0,0156					
F7	Planta A	Al ACCM-8 / 8A	3	Sec ATR-1001	29	ASWGR-6	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0079	0,0156					
F8	Planta A	Al 2,4 ATR-04	38	Fus ATR-4	11	Pri ATR-04	2,40	2,40	100,000	Z equiv	1,7500	0,6387					
F9	Planta A	Al ASWGR-2	5	Sec ATR-02	15	ASWGR-2	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0442	0,3381					
F10	Planta A	Al ASWGR-7	9	Sec ATR-05	16	ASWGR-7	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0442	0,3381					
F11	Planta A	Al ACCM-9	39	Fus ACCM-9	17	ACCM-9	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F12	Planta A	Al ACCM-10	40	ASWGR-3 (5)	18	ACCM-10	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F13	Planta A	Fus ATR-1001	1	ASWGR-1	25	Fus ATR-1001	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F14	Planta A	Fus ATR-02	1	ASWGR-1	24	Fus ATR-02	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F15	Planta A	Fus ATR-03	1	ASWGR-1	23	Fus ATR-03	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F16	Planta A	Fus ACCM-5	40	ASWGR-3 (5)	27	Fus ACCM-5	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F17	Planta A	Fus ACCM-6	26	ASWGR-3 (6)	28	Fus ACCM-6	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F18	Planta A	Fus ACCM-B/BA	29	ASWGR-6	30	Fus ACCM-B/BA	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F19	Planta A	Fus ACCM-B/BA	30	Fus ACCM-B/BA	14	ACCM-B / 8A	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F20	Planta A	Fus LCCM-1	7	Sec ATR-03	31	LCCM-1	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F21	Planta A	Fus LCCM-1	31	LCCM-1	32	Fus LCCM-1	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F22	Planta A	Fus ACCM-1	15	ASWGR-2	33	Fus ACCM-1	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F23	Planta A	Fus ACCM-2	15	ASWGR-2	34	Fus ACCM-2	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F24	Planta A	Fus ACCM-3	15	ASWGR-2	35	Fus ACCM-3	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F25	Planta A	Fus ACCM-4	15	ASWGR-2	36	Fus ACCM-4	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F26	Planta A	Fus ACCM-4A	15	ASWGR-2	37	Fus ACCM-4A	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F27	Planta A	Fus ATR-4	10	ACCM-5	38	Fus ATR-4	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F28	Planta A	Fus ACCM-9	16	ASWGR-7	39	Fus ACCM-9	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F29	Planta A	Fus ACCM-10	16	ASWGR-7	40	ASWGR-3 (5)	0,48	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F30	Al Mot Power	Al Planta A	1	ASWGR-1	19	Tap Planta A / TKF	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0011	0,0016					
F31	Al Mot Power	Tap Plt A/TKF-Plt B	19	Tap Planta A / TKF	20	Tap Planta B	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0060	0,0087					
F32	Al Mot Power	Planta B - Se MxM	20	Tap Planta B	21	Tap Se MxM	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0035	0,0051					
F33	Al Mot Power	Se MxM - Se P	21	Tap Se MxM	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0202	0,0293					
F34	PLANTA A	AL F-ACCM-5	27	Fus ACCM-5	10	ACCM-5	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					
F35	PLANTA A	AL F-ACCM-6	28	Fus ACCM-6	13	ACCM-6	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001					

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Impedância	
			Yaf @ Vb, Sb (G+JB) [pu]		Zaf @ Vb, Sb (R+X) [pu]	
F1	25	2	671,1409	-469,7987	0,0010	0,0007
F2	24	4	106,3658	-69,2990	0,0066	0,0043
F3	23	6	5,5637	-2,0311	0,1586	0,0579
F4	1	8	106,3658	-69,2990	0,0066	0,0043
F5	3	40	25,8364	-51,0187	0,0079	0,0156
F6	3	26	25,8364	-51,0187	0,0079	0,0156
F7	3	29	25,8364	-51,0187	0,0079	0,0156
F8	38	11	0,5043	-0,1840	1,7500	0,6387
F9	5	15	0,3802	-2,9080	0,0442	0,3381
F10	9	16	0,3802	-2,9080	0,0442	0,3381
F11	39	17	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F12	40	18	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F13	1	25	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F14	1	24	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F15	1	23	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F16	40	27	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F17	26	28	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F18	29	30	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F19	30	14	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F20	7	31	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F21	31	32	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F22	15	33	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F23	15	34	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F24	15	35	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F25	15	36	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F26	15	37	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F27	10	38	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F28	16	39	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F29	16	40	125000,0000	-125000,0000	0,0000	0,0000
F30	1	19	291,7772	-424,4032	0,0011	0,0016
F31	19	20	53,7201	-77,8942	0,0060	0,0087
F32	20	21	91,4794	-133,2985	0,0035	0,0051
F33	21	22	15,9491	-23,1341	0,0202	0,0293
F34	27	10	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F35	28	13	5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001

Lista de alimentadores do sistema. Planilha: Alim.

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
 Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

TRANSFORMADORES = 5 - (Max. = 15) Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Planta	Identificação	Bus do Primário				Bus do Secundário				Sn [kVA]	Zf @ Vn, Sn [%]	X/R [pu]	Contrib. Máxima ao Curto		
			#	Identificação	VnP [kV]	VbP [kV]	#	Identificação	VnS [kV]	VbS [kV]				[MVA]	(r, θ)	
															[kA]	[pu]
T1	Planta A	ATR-1001	2	Pri ATR-1001	14,40	14,40	3	Sec ATR-1001	2,40	2,40	7.500	5,23	14,00	143,40	34,50	-85,91
T2	Planta A	ATR-02	4	Pri ATR-02	14,40	14,40	5	Sec ATR-02	0,48	0,48	2.000	6,00	8,00	33,33	40,09	-82,87
T3	Planta A	ATR-03	6	Pri ATR-03	14,40	14,40	7	Sec ATR-03	0,48	0,48	750	6,16	5,00	12,18	14,64	-78,89
T4	Planta A	ATR-04	11	Pri ATR-04	2,40	2,40	12	Sec ATR-04	0,48	0,48	500	4,25	4,00	11,76	14,15	-75,96
T5	Planta A	ATR-05	8	Pri ATR-05	14,40	14,40	9	Sec ATR-05	0,48	0,48	2.000	6,00	8,00	33,33	40,09	-82,87

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Impedância	
			Yff @ Vb, Sb		Zff @ Vb, Sb	
			(G+JB) [pu]	(B+JG) [pu]	(R+JX) [pu]	(X+JR) [pu]
T1	2	3	0,1022	-1,4304	0,0497	0,6956
T2	4	5	0,0413	-0,3308	0,3721	2,9788
T3	6	7	0,0239	-0,1194	1,6108	8,0538
T4	11	12	0,0285	-0,1141	2,0616	8,2462
T5	8	9	0,0413	-0,3308	0,3721	2,9788
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Lista de Transformadores. Planilha: Transf.

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A
 Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE COM CURTO-CIRCUITO NO PONTO F1 Sep

Item	Barramento / Sistema								Energia Incidente no Ponto de Trabalho E		Fronteira de Prot. do Arco	Coeficientes de Cálculo						
	#	Identificação	Vb	I cc	Fator Red I arc - FRIA	Tipo de Aterran	Equipamento					Fator K	Fator K1	Fator K2	Afast. G	Dist Arco D	Cf	Exp x
			[kV]	[kA]	[%]		Config.	Tipo	[J/cm ²]	[cal/cm ²]	[m]		[mm]	[mm]				
1	1	ASWGR-1	14,40	26,21	100	Dir. Aterr	Fachado	SWGR	14,5	3,5		0,000	-0,555	-0,113	152	910	1,0	0,973
					85				12,2	2,9								

Fluxos de Corrente pelos Ramos dos Dispositivos de Proteção

Item	Bus Adjacente ao Defeito				Ramo do Dispositivo de Proteção				Fluxo I cc	Características do Dispositivo de Proteção					Fluxo 100 % I arc DP			Fluxo 85 % I arc DP					
	#	Identificação	Vb	I cc p/ Arc FI	Bus Saída		Bus Chegada			Identificação do Disp. de Proteção	Fabric	Modelo	Tipo	I nom	I @ 0,010 s	Correntes de Pickup			I arc	top p/ I arc	t total	I arc	top p/ I arc
			[kV]	[kA]	#	Vb	#	Vb					[A]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[s]	[s]	[s]	[kA]	[s]
1	19	Tap Planta A / TKF	14,40	24,121	19	14,40	1	14,40	Eq Mot TAP PLA	24,121		Motor Equiv						23,03	0,100	0,100	19,58	0,100	0,100
2	23	Fus ATR-03	14,40	0,096	23	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-03	0,096		Motor Equiv						0,09	0,100	0,100	0,08	0,100	0,100
3	24	Fus ATR-02	14,40	0,341	24	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-02	0,341		Motor Equiv						0,33	0,100	0,100	0,28	0,100	0,100
4	25	Fus ATR-1001	14,40	1,374	25	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-1001	1,374		Motor Equiv						1,31	0,100	0,100	1,11	0,100	0,100
5	8	Pri ATR-05	14,40	0,289	8	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-05	0,289		Motor Equiv						0,28	0,100	0,100	0,23	0,100	0,100
6																		0,00		0,000	0,00		0,000
7																		0,00		0,000	0,00		0,000
8																		0,00		0,000	0,00		0,000
9																		0,00		0,000	0,00		0,000
10																		0,00		0,000	0,00		0,000