

Manutenção robotizada em linhas de transmissão

A. de Souza, EPUSP; L. A. Moscato, EPUSP; M.F. dos Santos, EPUSP; W. B. Vidal Filho, EPUSP; D.Y. Kikuchi, EPUSP; G. A. N. Ferreira, EPUSP; J.K.C. Pinto, EPUSP; M.A. Luqueze, EPUSP; A. G. Ventrella, CTEEP¹.

O presente trabalho tem como finalidade aprimorar o robô móvel de manutenção, desenvolvendo um sistema visual por câmeras para identificação automática de falhas, transmissão de imagens via satélite possibilitando visualizar os cabos e controlar o robô pela internet e, por fim, foram estudados os cabos guarda e desenvolvido uma ferramenta protótipo capaz de realizar automaticamente seu reparo.

Palavras-chave: robôs móveis, inspeção de linhas de transmissão, inspeção visual, visão artificial, processamento de imagens e reparo de cabos.

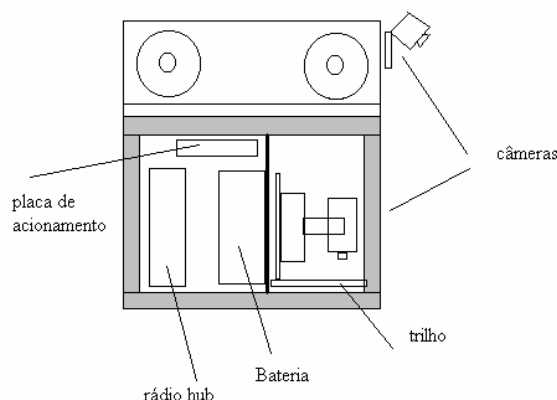
I. INTRODUÇÃO

Foram desenvolvidas duas arquiteturas mecânicas de robôs de inspeção, em seguida o sistema de comunicação e eletrônica de controle empregado neste desenvolvimento, assim como o estudo dos atrasos produzidos para a disponibilização, via satélite, das imagens e comandos, duas abordagens empregadas para o reconhecimento automático de falhas em cabos guarda e, por fim, serão relatados um estudo sobre os cabos guarda, das emendas pré-formadas empregadas atualmente e a proposta de uma ferramenta capaz de realizar o reparo automatizado dos cabos com o uso de robôs.

II. ARQUITETURA MECÂNICA

O protótipo aqui detalhado corresponde a segunda versão do robô de inspeção de linhas de transmissão.

Figura 1- Segunda versão do protótipo



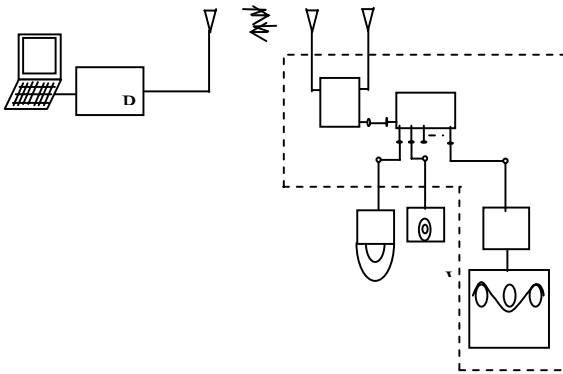
RÁDIOS PADRÃO IEEE802.11b

Apresenta a tecnologia IEEE802.11b como uma alternativa viável para aplicação de monitoramento de imagens e controle de robô e câmera de manutenção corretiva em linha de transmissão. São apresentadas os testes realizadas em bancada e no campo sob severas condições de indução eletromagnética para avaliar a tecnologia.

CÂMERAS IP

Estas câmeras operam como servidores de imagens, sendo que as mais modernas se destacam por possuírem zoom óptico elevado além de permitirem controle à distância pela rede, que é realizado por um software de controle de comandos PTZ (pan, tilt e zoom), ou: rotação, elevação e zoom. Encontram-se hoje no mercado câmeras com zoom óptico de até 25X capacidade de rotação de 360° e de elevação de 0 a -90° (19). A interface de rede é 10/100 BaseT.

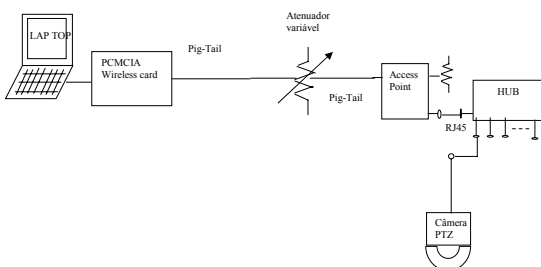
A conexão com a rede pública ou com a rede da empresa é o grande atrativo desta proposta uma vez que o tráfego de dados seria muito mais barato do que por exemplo através rede celular, satélite ou mesmo, por canais de rádio alugados das operadoras.



MONTAGEM DO PROTÓTIPO DE BANCADA

A avaliação de desempenho do sistema proposto foi realizada em duas etapas. Numa primeira etapa foi avaliado somente o sistema de transmissão de imagens e controle de câmera, portanto sem o robô. Numa segunda etapa foram realizados testes em campo em ambiente de alta indução eletromagnética que é o ambiente de uma sub-estação de transmissão de energia elétrica de 440 KV, buscou-se desta forma reproduzir em boa medida as condições reais de operação previstas para o sistema.

Montagem no laboratório para a estimativa do alcance



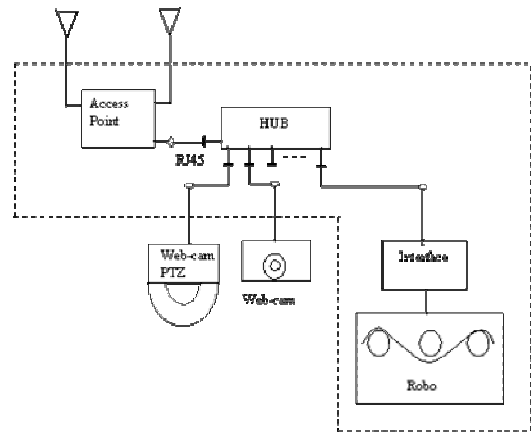
III. TRANSMISSÃO DE IMAGENS VIA SATÉLITE

Apresenta-se os testes efetuados para avaliar o uso da Internet via satélite como uma alternativa para a

centralização das operações de monitoramento de linhas de transmissão por equipamento robotizado.

CONFIGURAÇÃO DOS TESTES

A configuração adotada permitiu a transmissão das imagens das duas câmeras web, uma destinada a monitorar o cabo guarda e outra (PTZ) destinadas aos cabos de transmissão, durante os testes utilizou-se a imagem de apenas uma delas, a fixa. Foi necessário também configurar o sistema operacional do notebook para a criação de um Gateway para disponibilizar as imagens do servidor de imagens da câmera na Internet.



Detalhe das câmeras no robô

A Tabela lista os componentes integrantes do sistema em teste.

TABELA 3.

Equipamento	Fabricante	Código
ACCESS POINT	LINKSYS	WAP54G
WEB-CAM	AXIS	
PCMCIA- WIRELESS CARD-802.11g	LINKSYS	
PTZ WEB CAM -ZOOM 16X	AXIS	
Modem Satellite	COMTECH	SDM-300L
Roteador	Sisco	1605-R
Acessórios		
Antena tipo painel- 18 dBi	DME	DM-P240-18
PIG TAILSAMSUNG(Transição para N)	SAMSUNG	

O serviço de comunicação via satélite foi fornecido pela empresa COMSAT International que forneceu os equipamentos e mão de obra técnica para o estabelecimento do enlace. A solução fornecida é conhecida como VICOM-EasyFly e caracteriza-se por oferecer comunicação via satélite com mobilidade. O enlace de satélite opera na banda Ku, faixas de 12 GHz na descida e 14 GHz na subida, utiliza

uma antena com 1,10m de diâmetro e um amplificador de potência de 4 Watts. A taxa contratada foi de 256 Kbits/seg.



RESULTADOS

As imagens captadas durante os testes foram acessadas pela Internet em Bauru, na própria CTEEP, e também na cidade de São Paulo. A primeira constatação foi de recepção de imagens de boa qualidade e definição como as mostradas nas figuras a seguir. Avaliou-se o tempo de latência da comunicação resultando em média :

Tempo de latência ~ 5 a 10 seg.

CONCLUSÕES

Os testes demonstraram a viabilidade da transmissão de imagens através de Internet via satélite a uma central de controle. Ressalva-se no entanto que a conexão deve ser realizada a taxas maiores que 256 Kbits/seg, preferencialmente 512 Kbits/seg ou maiores. Demonstraram também que da mesma forma que nos testes realizados anteriormente com equipamentos de rádio padrão IEEE802.11b, a transmissão de comandos e imagens via o novo rádio não sofreram interferências sensíveis dos altos campos eletromagnéticos presentes numa subestação de 440kv.

IV. IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE FALHAS

O algoritmo é baseado na variação de cor. Um cabo ao ser atingido por um raio fica escurecido num ponto ou área em questão.

Baseando-se nesta informação, o sistema de variação de cor efetua uma análise de uma área (compreendida pelo cabo em questão) dentro de um quadro da imagem obtida pela câmera. É retirada uma amostragem de uma média aritmética desta área por pixel. Cada pixel (ponto de uma imagem digital), contendo valores de R (Red/vermelho), G(Green/verde) e B(Blue/azul) representam as cores primárias. Cada uma dessas cores do pixel, com variações de 0 à 255, identificam-se como cores primárias, que combinadas fabricam 16581375 cores por pixel. Nessa estratégia, uma média de um único pixel, representa uma área de vários outros.

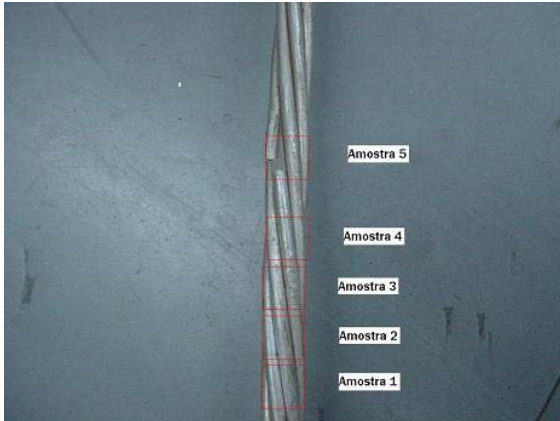
Fabricou-se um rompimento de cabo por computador (artificialmente por software) de uma imagem para que pudessemos testar a eficácia do programa, a imagem com o rompimento no entanto não possui “escurecimento”, só um rompimento:



Imagem fabricada para teste de falhas.

Foram efetuadas análises nos resultados utilizando-se de áreas na amostra do cabo, os quais foi possível observar diferentes áreas do cabo, “sem defeito”, e a área defeituosa em questão. Claro que, num estudo real onde observássemos os cabos em perspectiva, obteríamos diferentes amostras em quadros diferentes dada a movimentação do robô observando uma área fixa.

Inicialmente o estudo compreendeu em analisar “áreas quadráticas” do cabo. Observamos 5 segmentos do cabo e fizemos o reconhecimento da variação.



Áreas observadas pelo software para reconhecimento de rompimentos por descargas elétricas

Esses testes possibilitaram a identificação das deficiências do programa no caso do rompimento não gerar o “escurecimento” da área em questão, fugindo do escopo do nosso software.

Um outro algoritmo estudado é baseado na textura do cabo guia. O desenvolvimento deste software de reconhecimento de defeitos tem como base uma imagem de entrada similar à da figura.



Imagem do cabo guia adquirida pela câmera do robô.

OBS.: A imagem da figura é apenas uma amostra a ser utilizada para o desenvolvimento do projeto. Ela não corresponde a uma situação real de funcionamento do robô.

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do algoritmo foi o Scilab, software de computação matemática

desenvolvido pelo instituto de pesquisa INRIA, França, através do pacote SIP (Scilab Image Processing toolbox).

CONCLUSÃO:

Os resultados obtidos foram satisfatórios. A região caracterizada como defeito foi corretamente classificada como defeituosa. Entretanto, foi também encontrada uma falha abaixo dessa região, correspondente a uma “mancha” no plano de fundo da imagem.

Embora a imagem de entrada não corresponda a uma situação real, o algoritmo se mostrou válido. Para a sua aplicação real, seria necessário obter novos valores de limiar (para a binarização e para o detector de defeitos) a partir de testes a serem realizados com o robô. A dificuldade de implementação deste algoritmo está relacionada ao fato de ser específico para uma determinada aplicação (funciona somente para tipos de cabo como o do exemplo) e ser bastante sensível a alterações nas condições de iluminação. Devido a dificuldades em se manter estas condições para a realização de testes, o algoritmo não foi implementado.

V. FERRAMENTAS PROTÓTIPO PARA REPARO DE CABOS

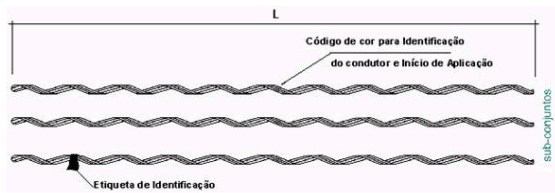
A correção em cabos guarda de linhas de transmissão é atualmente feita com “emendas preformadas”, que são arames rígidos já conformados com um enrolamento e diâmetro para uma determinada bitola de cabo (fig.1). Existem emendas preformadas para cabos de aço e cabos de alumínio.



Emenda preformada

As correções em cabos danificados são feitas com um jogo de emendas, de forma a cobrir toda a superfície do cabo.

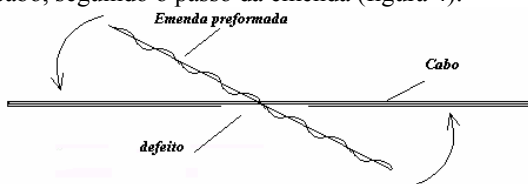
Na superfície interna das emendas existe uma cobertura de grãos abrasivos aglutinados por uma cola fixa aos arames. Estes abrasivos servem para aumentar o atrito e garantir a fixação da emenda no cabo, sem deslizamento desta.



Conjunto de emendas

A aplicação das emendas é manual, necessitando o desligamento da linha de transmissão e o acesso do eletricitista ao cabo. Com o intuito de evitar estes custos a mais, foi idealizado um meio de correção dos cabos guardas danificados sem a necessidade de deslçamento da linha., para tanto, o sistema robotizado será equipado com uma ferramenta que possibilite isto.

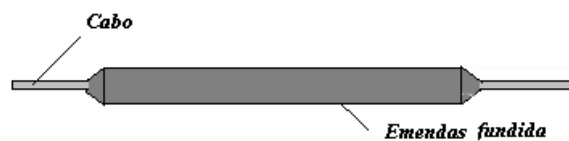
Inicialmente pensou-se em automatizar a técnica já empregada utilizando os preformados convencionais, contudo a forma de colocação destes nos cabos seria difícil de automatizar. Os preformados são aplicados no cabo, a partir da marca de cor de início da aplicação (figura 3), situada no meio da emenda. Esta marca deve ficar sobre a área do defeito, sendo as duas partes da emenda enroladas no cabo, seguindo o passo da emenda (figura 4).



Colocação da emenda preformada

A dificuldade de aplicação da emenda atual pelo robô, em um cabo sobre as torres de transmissão incentivou a busca de novas formas de reparo.

Uma outra forma utilizada manualmente para reparos de cabos é a fundição de um metal sobre o defeito. O metal fundido deve ser do mesmo material do cabo. Esta técnica é bastante difícil de ser aplicada em um cabo suspenso. Além de não poder ser aplicada a cabos OPGW, pois os mesmos contem fibras óticas na sua alma, ou centro. A emenda assume a forma do molde (figura.35)



Emenda fundida

Na busca por novas soluções chegou-se as seguintes possibilidades:

- a- Aplicação de um arame maleável que fosse facilmente enrolado no cabo guarda.
- b- Aplicação de um adesivo que ao endurecer ficaria parecido com a emenda fundida.
- c- Aplicação de uma luva parafusada

A escolha de uma ou outra técnica depende das especificações técnicas que devem ser atendidas por uma emenda em cabos guarda. quantitativos.

Uma informação obtida destes contatos afirma que a emenda restitui a resistência nominal do cabo antes do defeito ocorrer. Desta forma supôs que a resistência à tração e ao escorregamento deve ser igual ou próxima à resistência a tração para a carga de trabalho dos cabos.

Analisando o ponto de vista mecânico para escolha de umas das técnicas sugeridas, a resistência à tração é a mais importante. Se a resistência à tração da emenda for próxima à necessária para resistir à carga de trabalho de um cabo, inviabiliza a utilização de adesivos, pois os adesivos comerciais analisados possuem baixa resistência à tração.

Analisando a questão 2, ou seja, do ponto de vista elétrico, a condutibilidade de uma emenda por adesivo não restituiria a condutividade do cabo antes do defeito. Observando do ponto de vista de automação, o emprego do adesivo seria mais fácil. Contudo descartou-se o emprego do adesivo.

Para início dos testes de um mecanismo robotizado foi escolhido a emenda por arame maleável. Em segundo lugar foi analisado o emprego de emendas parafusadas.

VI. ESTUDO DO CABO GUARDA E EMENDAS PREFORMADAS

. Uma visita técnica a Pirelli, fábrica de cabos, também foi realizada, sendo bastante esclarecedora das características mecânicas desejadas e obtidas nos cabos guarda.

Os cabos guarda, também conhecidos como cabos para-raios, são fabricados com três configurações básicas:

Aço zincado (ou galvanizado)

Ligas de alumínio (CA)

Alumínio com alma de aço (CAA)

Aço- alumínio

O fabricante fornece duas características de resistência mecânica, a RMC (resistência mecânica calculada) e a Máxima carga. A RMC é a tração de ruptura do cabo, enquanto a Máxima carga é a máxima tração de trabalho recomendada. Geralmente a máxima carga de trabalho é 40% da RMC. Como se pode observar, quando se projeta uma linha de transmissão, os cabos são superdimensionados. Isto é necessário para fornecer confiabilidade aos projetos de linhas de transmissão, garantindo que as mesmas não sejam desligadas quando os cabos guardas receberem descargas atmosféricas. Quando um cabo guarda é atingido por descargas atmosféricas danos ocorrem, tais como, fundição e fragilização de tentos ou até ruptura de tendos. Desta forma os cabos são especificados a resistir a determinadas classes de descargas atmosféricas e pra isso devem passar por rigorosos testes. Um dos quais, aplicados nos cabos Pirelli, traciona o cabo a 15% da RMC e aplica-se uma descarga simulando a atmosférica. Em seguida verificam-se os danos, contando-se o numero de tentos rompidos pela descarga. Logo depois aumenta-se gradualmente a tração até 60% RMC, quando ocorrer novos rompimento de tentos. Analisando alguns testes apresentados, verifica-se que a resistência remanescente é proporcional a quantidade de tentos remanescente.

Foi feito um ensaio com uma máquina de tração na CTEEP e constatou-se que a redução da resistência é diretamente proporcional ao numero de tentos rompidos em

relação ao total. Sendo assim a escolha de uma emenda deveria ser proporcional a quantidade de tentos rompidos, contudo na pratica emprega-se a mesma emenda independente dos tentos rompidos. No caso da correção robotizada se poderia aplicar uma emenda proporcional ao defeito.

Foi realizado na CTEEP um teste de tração com uma emenda preformada, e constatou-se que os preformados convencionais agüentam a carga de trabalho recomendada sem romper-se ou deslizar.

VII. ESTUDO DO MECANISMO DE CORREÇÃO

Mecanismo de correção com arame maleável.

Antes de construir um protótipo de mecanismo que seja capaz de enrolar arames no cabo guarda, de forma a garantir a mesma resistência mecânica do cabo, sem o defeito, é necessário especificar os seguintes pontos:

Bitola do arame

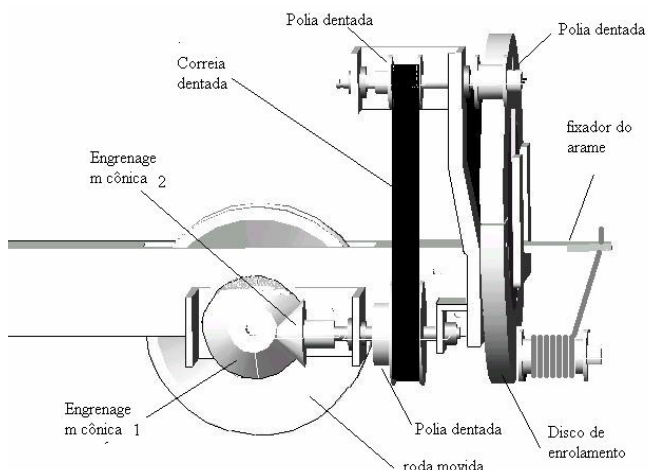
Tipo de material do arame

Passo de enrolamento

Foram testados dois tipos de arames maleáveis, um de aço recosido e outro de aço galvanizado, de espessura de 1.2mm e 1.6mm, respectivamente. Com intuito de saber a resistência destes arames, eles foram ensaiados a tração em uma máquina de tração do departamento de mecânica da Escola Politécnica da USP. Foram obtidos valores de resistência de 40kgf/mm² e 70kgf/mm². Como pode ser observado, são valores bem abaixo dos obtidos nos tentos dos cabos de aço, pois estes arames são maleáveis.

Analisando a cinemática do enrolamento do arame no cabo, verifica-se a composição de dois movimentos: translação e rotação. Portanto uma ferramenta para tal deve possuir estes movimentos.

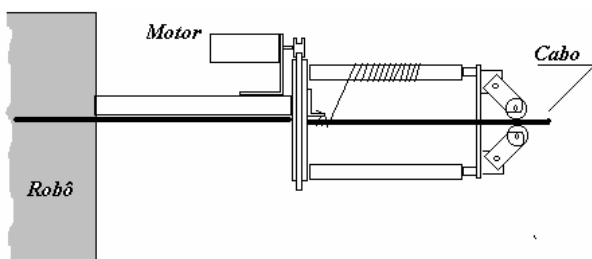
Na figura abaixo apresentamos o esquema do dispositivo, onde uma roda movida capta o movimento e transmite a engrenagens cônicas que giram o disco com o carretel, o qual libera o arame de forma a enrolar toda seção defeituosa do cabo.



Esquema detalhado do dispositivo com sincronismo mecânico

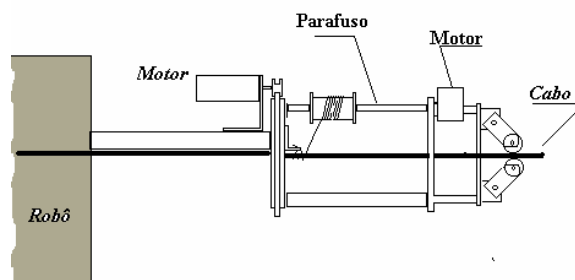
Uma outra possibilidade é o robô ficar parado na posição de correção enquanto a ferramenta faz a correção. Para tanto há duas possibilidades, a ferramenta gira e a translação do arame sobre o cabo guarda se dá passivamente ou ativamente.

A translação passiva ocorre quando o arame é enrolado em um tubo, ou carretel, do comprimento da seção de cabo guarda que deve ser corrigida. Quando o tubo gira em volta do cabo, o arame desenrola do tubo e enrola no cabo transladando na direção axial seguindo o passo que ele foi enrolado no tubo.



Mecanismo de correção por enrolamento de arame

Na translação ativa o carretel é girado ao redor do cabo por um motor, enquanto outro motor o translada axialmente no cabo.



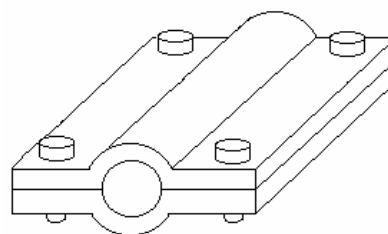
Mecanismo de correção com translação ativa

CONCLUSÃO:

Analisando o sistema de correção, por enrolamento de arames, observou-se uma complexidade grande do dispositivo e do sistema de controle, bem como, a necessidade de várias viagens do robô da torre até o local do defeito para colocar várias camadas de arame. Poucas camadas de arame não proporcionavam uma resistência mecânica próxima a máxima carga de trabalho do cabo.

MECANISMO DE CORREÇÃO COM LUVAS PARAFUSADAS

A necessidade de um sistema de correção de rápido emprego e que possibilitasse a resistência mecânica adequada levou ao desenvolvimento de um mecanismo que parafusa-se uma luva preformada no cabo. Para tanto, foi estudado uma nova solução usando luvas parafusadas sobre a região afetada do cabo.



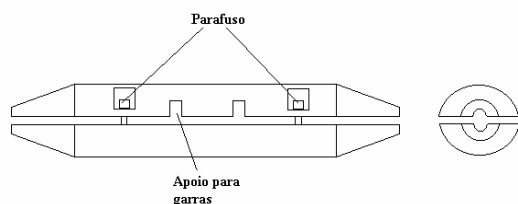
Luva preformada

O empecilho ao emprego deste tipo de luva preformada está na criação de um obstáculo a passagem do robô para futuras operações. Isto pode ocorrer se o tamanho desta luva gerar um degrau intransponível a roda.

O projeto de uma luva reside, entre outras coisas, em determinar a área de contato mínima entre ela e o cabo que

permita uma resistência ao escorregamento necessária para suportar a tração de trabalho do cabo. Além de determinar o torque mínimo que deve ser aplicado nos parafusos para garantir a ausência de deslizamento do cabo na luva.

Foi idealizada uma emenda cilíndrica, em alumínio, de fácil transposição pela roda do Robô (figura 44).



Emenda parafusada desenvolvida para o sistema de correção automático

Para colocação desta no cabo, sobre o defeito, foi desenvolvida uma ferramenta, a qual é puxada pelo robô.

VIII. CONCLUSÕES FINAIS

Com o estudo das resistências mecânicas dos cabos e das normas de utilização dos mesmos, chegou-se a conclusão que os cabos agüentam um certo número de tentos rompidos sem apresentar risco de ruptura total, pois sua resistência de trabalho é menor que a resistência máxima à tração e as cargas reais de trabalho são ainda menores que a carga de trabalho recomendada. Desta forma, para um ou dois tentos rompido, ou seja, menos de 20% de danos, não é necessário desligar a linha para fazer correções no cabo. Bastaria uma pequena correção que evite o desenrolar do tento rompido. Esta correção nem precisaria restituir totalmente a resistência perdida com o tento rompido (<20%), pois a resistência remanescente já estaria dentro da margem de segurança aceitável. No caso do rompimento de mais de 20% dos tentos até 40% é necessário uma correção que restabeleça no mínimo 20% da resistência perdida. No caso de um rompimento crítico de até 50% dos tentos é recomendável uma correção que restabeleça completamente a resistência perdida e até um pouco além, pois as descargas atmosféricas afetam termicamente os tentos que restarem. A correção robotizada com enrolamento de arames maleáveis

poderia ser empregada no primeiro caso de risco moderado (<20% de tentos rompidos), bastando enrolar uma pequena quantidade de arames, evitando que o tento rompido continue se desenrolando pela vibração causada pelo vento. No caso de risco médio (20% < tentos rompidos <=40%) deve-se empregar o sistema automático de emenda parafusada que permite a restituir mais de 20% da resistência perdida. No caso de risco alto (acima de 40% e abaixo de 50% de tentos rompidos) é recomendável aplicar o sistema convencional de emendas preformadas, pois restitui uma resistência igual a carga de trabalho.

Neste projeto temático relacionado com a automação da manutenção das linhas de transmissão foram desenvolvidas ferramentas protótipos para auxiliar na manutenção de linhas de transmissão. Testes práticos se faz necessário para adequar os desenvolvimentos as suas aplicações em linhas de transmissão.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Sawada, J.; Kusumoto, K.; Maikawa, Y.; Munakata, T. and Ishikawa, Y., 1991, "A mobile robot for inspection of power transmission lines". IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 6, pp 309-315, Jan.
- (2) Nakashima, M.; Yano, K.; Maruyama, Y.; Yakabe, H., 1995 "A hot line work robot system "Phase II" and its human-robot interface "MOS" ". Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol.2, pp. 116-123.
- (3) Peungsungwal, S.; Pungsiri, B.; Chammongthai, K.; Okuda, M., 2001. "Autonomous robot for a power transmission line inspection". Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems, vol. 3, pp. 121-124.
- (4) Souza, A.; Moscato, L.A.; Santos, M.F.; Vidal Filho, W. B.; Ferreira, G.A.N.; Ventrella, A.G. "Inspection Robot For High-Voltage Transmission Lines", 2003 In: 17th COBEM (International Congress of Mechanical Engineering), São Paulo.
- (5) Santamaria, A.; Aracil, R.; Tuduri, A.; Martinez, P.; Val, F.; Penin, L. F.; Ferre, M.; Pinto, E.; Barrientos, A.

1997. "Teleoperated robots for live power lines maintenance (ROBTET)". Proceedings of the 14th