

# Elastômeros Empregados em Ferramentas de Linha Viva

E. L. Kowlaski, S. M. de Oliveira, J. M. Moraes e Silva, C. Y. Nakaguishi, J. Tomioka, LACTEC

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver o estudo sobre a composição do elastômero empregado em ferramentas de linha viva. As aplicações práticas demonstram que muitas ferramentas apresentam degradação precoce durante o seu uso. Para analisar este problema, são apresentados resultados de deformação das amostras retiradas de ferramentas de linha viva enviadas pela COPEL. É também proposto, um conjunto de formulações de elastômeros para fabricação de ferramentas de linha viva.

## PALAVRAS-CHAVE

Elastômeros, Medidas Dielétricas e Elétricas, Alta tensão, Polímeros, Látex Natural.

## I. INTRODUÇÃO

Para minimizar o tempo e a frequência de interrupção de fornecimento de energia elétrica, as concessionárias de energia elétrica adotam procedimentos de operação de certos serviços de manutenção com as linhas energizadas, ou “linhas vivas”. As atividades de manutenções em linhas energizadas são realizadas com ferramentas isoladas eletricamente (luvas, mangas, mantas, bastões, e entre outros acessórios) que impede a circulação de correntes elétricas que possam causar qualquer dano físico ou representar risco de vida aos profissionais. Para garantir o desempenho e eficiência das ferramentas para operação em linhas vivas, é necessário realizar avaliações periódicas, que são complexas e muitas vezes apresentam muitas dificuldades na sua realização. Entretanto, é uma atividade crítica devido à falta de reprodutibilidade dos resultados dos ensaios. Para garantir o nível mínimo de segurança aos usuários é necessário realizar estudos sobre comportamento e propriedades dos materiais empregados nas ferramentas de linha viva. Este projeto tem no escopo de seus objetivos o desenvolvimento de duas linhas de atividade de pesquisa: estudo sobre técnicas e procedimentos de qualificação de ferramentas de linha viva em campo e estudo sobre comportamento e propriedades de materiais isolantes empregados na fabricação de ferramentas de linha viva. Para produzir qualquer ferramenta para linha viva é necessário inicialmente obter conhecimentos sobre propriedades dos materiais, quanto à formulação e o seu processo de degradação e/ou envelhecimento. E também deve ser analisada a compatibilidade química dos materiais empregados na manufatura das ferramentas de linha viva. Muitos produ-

tos químicos podem alterar as propriedades das ferramentas e desta forma, colocar em risco de acidentes os usuários. Partindo do desenvolvimento de um material é fundamental identificar quais ensaios devem ser realizados antes da produção de uma ferramenta para utilização em operação de linha viva. As principais propriedades dielétricas e elétricas podem ser estudadas através das técnicas de espectroscopia dielétrica, corrente termicamente estimulada (TSC), rigidez dielétrica, medidas de perfis de carga espacial acumulada em meios isolantes, entre outros procedimentos experimentais. As medidas não elétricas tais como calorimetria diferencial de varredura (DSC), análise termogravimétrica (TGA), análise dinâmica térmico mecânica (DMTA) e extração via SOXLET para separação de aditivos, são técnicas experimentais que podem auxiliar na compreensão da origem da formulação (composição química) do material isolante elastomérico e seus mecanismos de envelhecimento. O comportamento das ferramentas em si deverá ser avaliado com técnicas de aplicação de alta tensão, as quais deverão permitir analisar a suportabilidade do material e o controle das correntes de fuga envolvidas e deverá fornecer elementos para uma melhor compreensão do problema a nível nacional e para uma melhor normalização dos controles de materiais considerados “de segurança”.

## II. FONTE E PRODUÇÃO DE ELASTÔMEROS NATURAIS E SINTÉTICOS

Muitas ferramentas de linha viva são fabricadas através de materiais elastoméricos naturais ou sintéticos. Na natureza existem plantas que produzem elastômeros em grande quantidade denominados como poliisoprenóides e apresentam uma grande dispersão na distribuição do comprimento da cadeia molecular. Estas plantas possuem tecidos de secreção ou excreção que contém vasos lactíferos ou laticíferos que produzem substância química complexa formada por lipídios, proteínas, poliisoprenóides, isoprenóides e entre substâncias orgânicas diluídas em águas, e esta composição é conhecida como látex. Estes vasos são característicos de alguns vegetais como: *Hevea brasiliensis* (seringueira). Quando o vegetal é lesado o látex é expelido e, em contato com o ar, solidifica-se fechando a lesão como forma de regeneração e proteção de tecidos [1]. A principal fonte de borracha natural é atualmente a *Hevea brasiliensis* e são produzidas mundialmente cerca

de 7 milhões de toneladas e a borracha sintética em torno de 10 milhões de toneladas por ano [2, 3]. Os EUA e alguns países com clima semi-árido estão apresentando propostas para substituir *Hevea brasiliensis* por *Parthenium argentatum* (*guayulle*) devido ao potencial mercadológico [4]. Já a planta balata tem sua utilização como fonte de látex, bastante restrita perante a seringueira. Os primeiros cabos isolados foram fabricados utilizando gutta-percha devido às suas excelentes propriedades elétricas como isolante [5]. Em países de clima temperado e frio, principalmente na URSS, são obtidos látex para produção de borracha natural extraído da planta *Taraxacum officinale* ou simplesmente conhecido como dente-de-leão [6]. Existem outras fontes naturais de látex que apresentam boas quantidades de produção para fins industriais. Os poliisoprenóides além de alta dispersão molecular são encontrados em duas configurações: cis e trans. O elastômero poliisopreno cis e trans apresentam propriedades físico-químicas totalmente diferentes. Na Figura 1 são ilustradas duas configurações moleculares e respectivas plantas para extração de látex para produção de borracha natural.

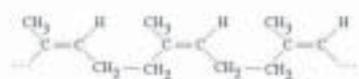
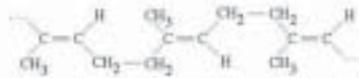
Estrutura Polimérica	Planta
 (a) cis - poliisopreno	Seringueira brasileira Guayule Dente-de-leão
 (b) trans - poliisopreno	Balata Gutta-percha

FIGURA 1 - Configuração molecular de elastômero obtida de diferentes plantas. (a) configuração CIS e (b) configuração trans.

Já os elastômeros sintéticos são produzidos através de produtos derivados de petróleo ou de gás natural. Portanto, existe um grande problema para o futuro. A fonte de petróleo e de gás à medida que são explorados pelo homem a cada vem se tornando escassos e pode comprometer a produção mundial de muitos materiais sintéticos aplicados em diversos segmentos industriais. Neste aspecto, fontes naturais de elastômeros apresentam grandes vantagens perante aos sintéticos devido ao fato de ser de origem vegetal. Independente da fonte de matéria-prima, o elastômero é processado adicionando vários tipos de produtos para atender as especificações para determinadas aplicações. Normalmente são adicionados na formulação: carga mineral, aceleradores, antioxidantes, antiozonantes, entre outros produtos para estabilizar o material. E na Figura 2 é ilustrado o processo genérico de produção de elastômeros. A goma de borracha natural é obtida através do processo de coagulação do látex extraído de vegetais. E a sintética é obtida através do processo de reação química de derivados de petróleo ou gás natural chamada de

polimerização. A goma bruta não apresenta propriedades desejadas, devido a este fato, na formulação são compostas de aditivos químicos para atender uma determinada aplicação. A composição da goma e aditivos é misturada em um sistema a base de cilindros concêntricos (mastigação), várias vezes até atingir a homogeneidade, obtendo assim o composto ainda não vulcanizado. O composto é colocado num molde com configuração geométrica desejada e em seguida é realizado um tratamento térmico de vulcanização para obtenção do elastômero.

### III. DEFORMULAÇÃO DE ELASTÔMEROS

O processo de deformulação é uma técnica para identificar a composição química e a respectiva quantificação do material elastomérico em estudo. Este método é uma técnica destrutiva ilustrada na Figura 3 e de forma esquemática está apresentado para análise de materiais isolantes empregadas no setor elétrico. Para obter informações sobre a composição do material utilizam-se inúmeras técnicas experimentais de análise química para identificar a composição da formulação do elastômero.

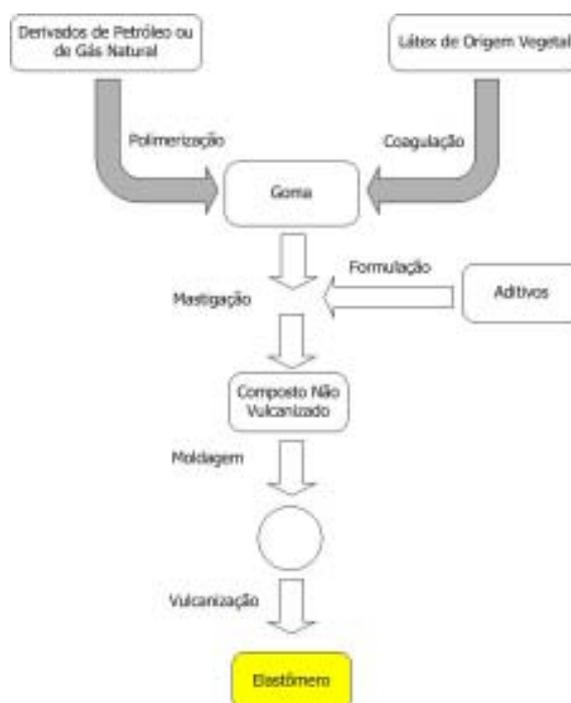


FIGURA 2 - Processo de produção de elastômeros

A composição química do elastômero é complexa, pois envolve a adição de diversas substâncias químicas, tais como:

- Carga Mineral: para melhorar as propriedades mecânicas e elétricas;
- Aditivos: para melhorar a ação externa no material através do uso de antioxidantes, antiozonantes, negro de fumo, entre outras substâncias;
- Plastificantes: para melhorar a processabilidade do elastômero;

- Vulcanizantes: para realizar quebra de ligações químicas entre átomos do elastômero e em seguida criar pontos de ligação entrecruzada (vulcanização).

Algumas destas substâncias citadas podem ser reduzidas ao longo do processamento e do uso da ferramenta e desta forma, não serem detectadas com facilidade. A amostra de elastômero é retirada de alguma ferramenta de linha viva e é submetida ao espectrômetro de infravermelho (FTIR) ou pela ressonância magnética nuclear (RMN) para identificação do polímero (elastômero). A termogravimetria (TGA) indica o processo de pirólise da composição do elastômero e pode ser identificada a quantidade de carga mineral, elastômero, plastificantes, cinzas e entre outras substâncias. A calorimetria diferencial de varredura (DSC) indicará a temperatura de fusão e oxidação do elastômero e com a análise dinâmica termo-mecânica (DMTA) obtêm-se as propriedades de mecânicas da amostra do elastômero. A calcinação é uma técnica de queima do elastômero em temperatura adequada para obter somente o componente inorgânico para ser analisado pelas técnicas: de difração de raios-x (RDX), espectroscopia de elétrons (XPS) e espectroscopia de fluorescência (EDS) para determinação do elemento ou substância química. A substância residual obtida por extrator SOXHLET é analisada utilizando o FTIR ou através da RMN. Com os dados de todas as medidas obtidas com as técnicas citadas, a próxima etapa da deformulação consiste no procedimento de análises qualitativas (identificação) e cálculos quantitativos das substâncias para obtenção da provável formulação (composição química) do elastômero.

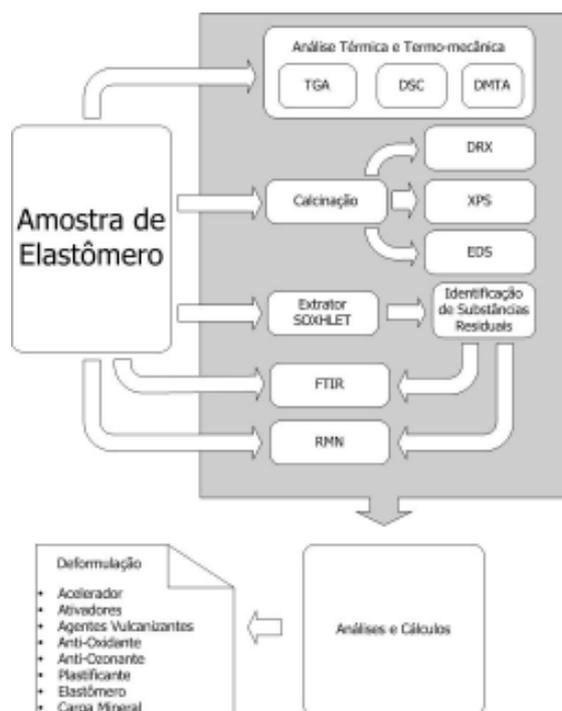


FIGURA 3 - Diagrama simplificado com as principais técnicas de deformulação

## IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram selecionadas amostras de ferramentas de linha viva, sendo uma amostra nacional identificada por A e comerciais importadas de três fabricantes, identificados na tabela como B, C e D, para serem deformuladas com o objetivo de investigar os componentes das formulações convencionalmente utilizados pelos fabricantes deste tipo de materiais. Os componentes das amostras foram identificados e quantificados através de técnicas analíticas de precisão. Nesse estudo foi utilizado um equipamento de Termogravimetria TGA de fabricação NETZSCH modelo 209. Neste ensaio a amostra é aquecida e pesada simultaneamente desde temperatura ambiente até 900°C sob atmosfera de oxigênio. A análise termogravimétrica parte de uma quantidade de 100% da amostra que ao ser aquecida vai perdendo seus componentes. As perdas são mostradas no termograma através da inclinação da curva até a formação de um patamar. A diferença entre dois patamares corresponde à quantidade de um grupo de componentes naquela faixa de temperatura. A estrutura cristalina de uma determinada substância é característica e através de comparação com banco de dados ICDD (International Centre for Diffraction Data) é possível identificar de cargas minerais não orgânicas presentes na amostra. Utilizou-se um Difrátometro de Raios-X de marca PHILIPS, modelo X'Pert com radiação de cobre  $K\alpha$ . A análise dos resultados obtidos através das técnicas mencionadas acima em conjunto com dados nos ensaios de caracterização e identificação dos materiais utilizados na fabricação dos produtos acima apresentados.

TABELA 1  
Resumo da geral da deformulação

Descrição	Elastômero	Plastificantes e Aditivos	Cargas Minerais
Luva Classe 4, Fabricante A	86,00	3,00	11,00
Luva Classe 2, Fabricante A	86,00	3,00	11,00
Manga Classe 2, Fabricante A	86,00	3,00	11,00
Luva Classe 2, Fabricante B	77,00	13,00	10,00
Luva Classe 0, Fabricante C	89,00	7,00	4,00
Luva Classe 4, Fabricante C	90,00	7,00	3,00
Manta, Fabricante D	51,00	21,00	28,00

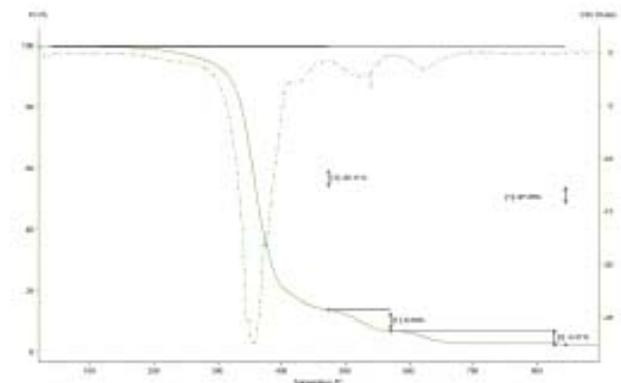


FIGURA 4 - Curva termogravimétrica da amostra da luva classe 4 do fabricante A

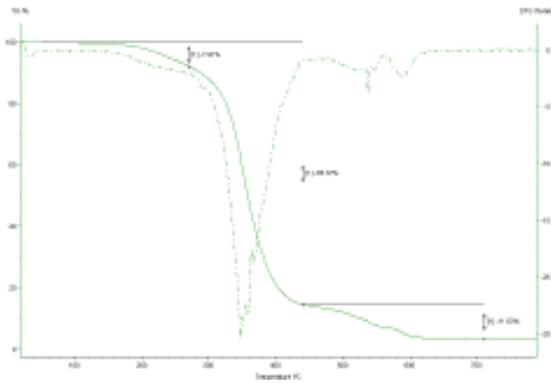


FIGURA 5 - Curva termogravimétrica da amostra da luva classe 2 do fabricante A

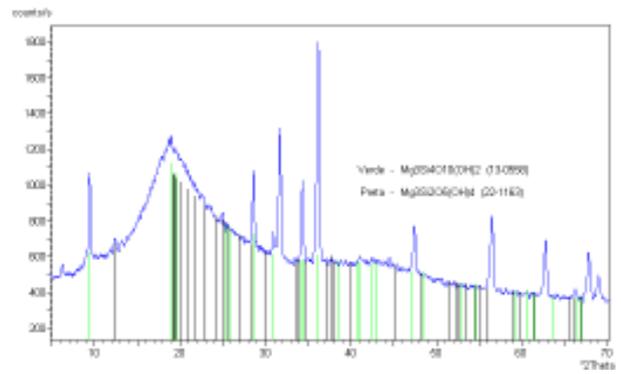


FIGURA 9 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 4 do Fabricante A - III

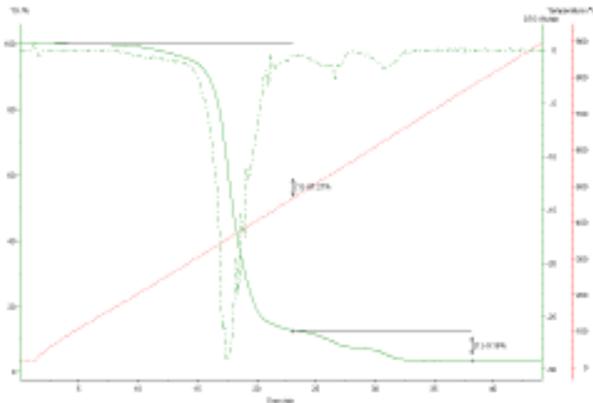


FIGURA 6 - Curva Termogravimétrica da Amostra de Manga Classe 2 do Fabricante A

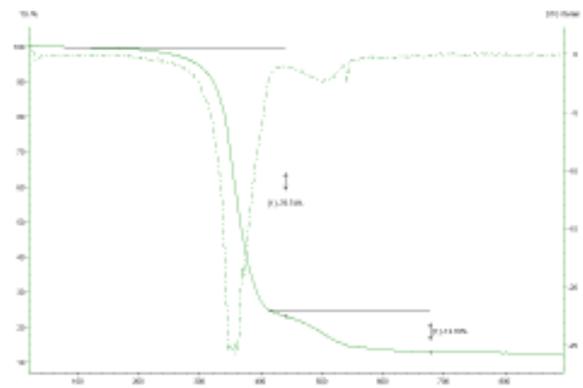


FIGURA 10 - Curva Termogravimétrica da Amostra de Luva Classe 2 do Fabricante B

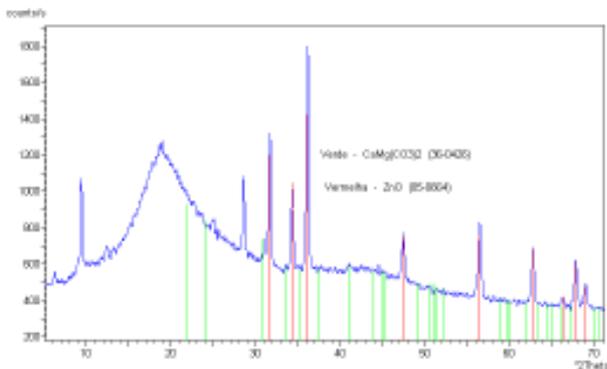


FIGURA 7 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 4 do Fabricante A - I

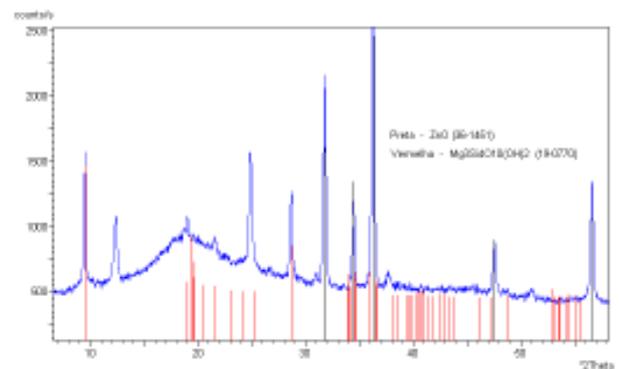


FIGURA 11 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 4 do Fabricante B - I

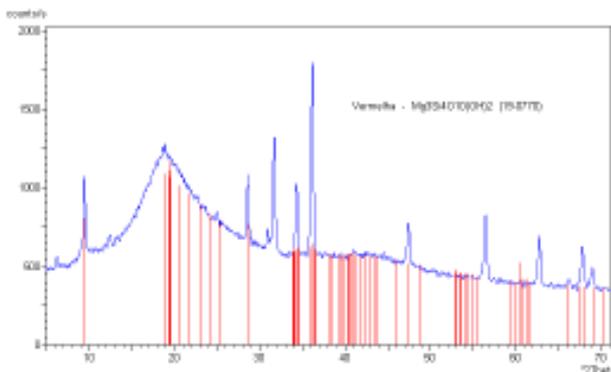


FIGURA 8 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 4 do Fabricante A - II

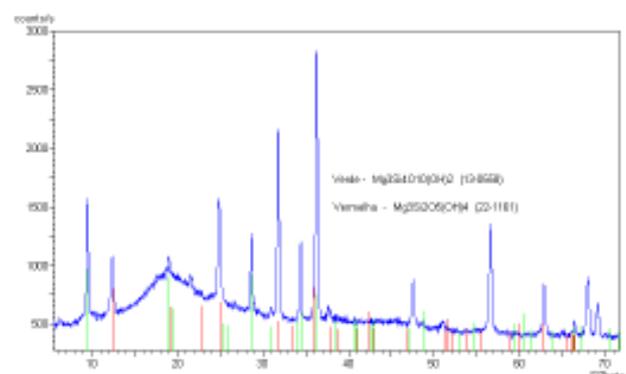


FIGURA 12 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 4 do Fabricante B - I

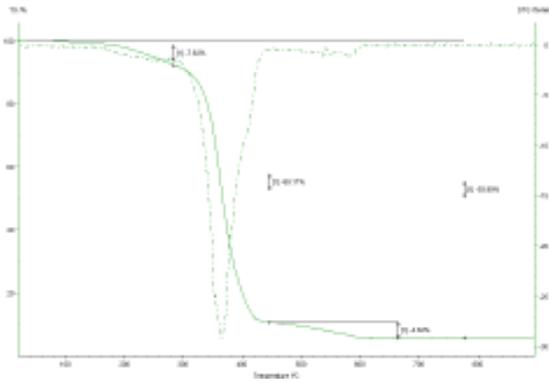


FIGURA 13 - Curva Termogravimétrica da Amostra de Luva Classe 0 do Fabricante C.

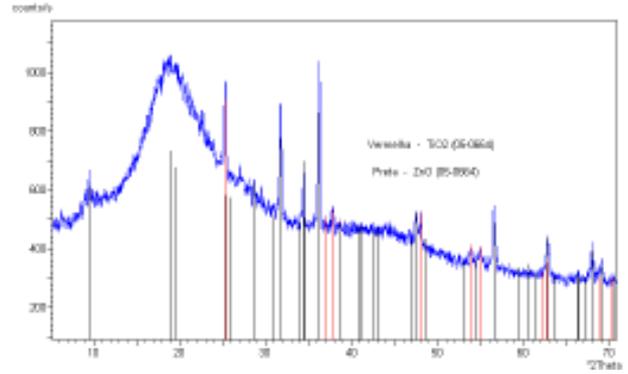


FIGURA 17 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 4 do Fabricante C

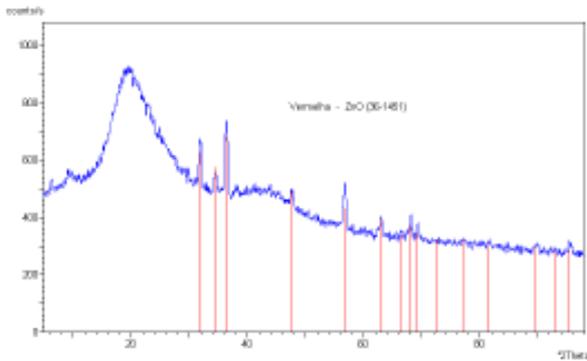


FIGURA 14 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 0 do Fabricante C - I

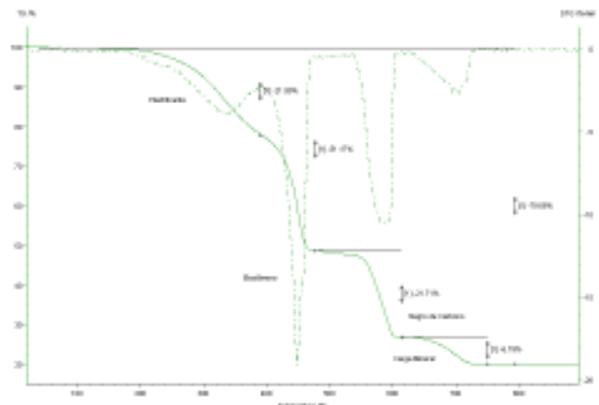


FIGURA 18 - Curva Termogravimétrica da Amostra de Manta do Fabricante D.

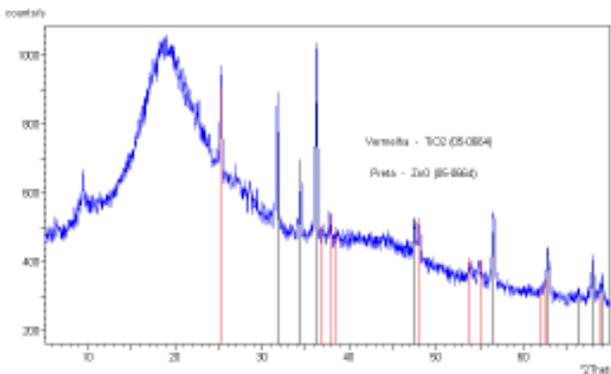


FIGURA 15 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Luva Classe 0 do Fabricante C - II

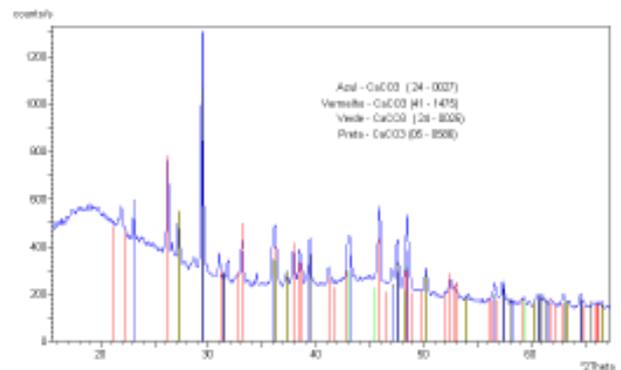


FIGURA 19 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Manta do Fabricante D - I

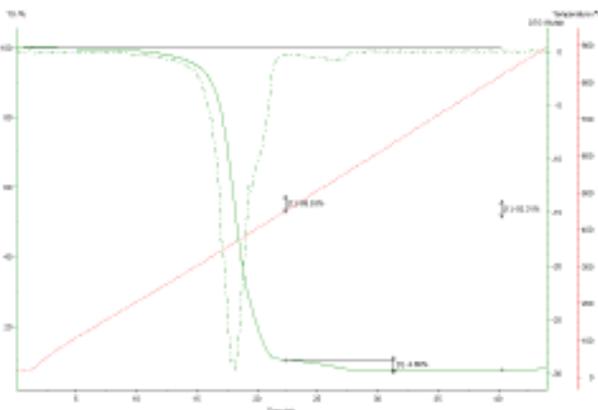


FIGURA 16 - Curva Termogravimétrica da Amostra de Luva Classe 4 do Fabricante C.

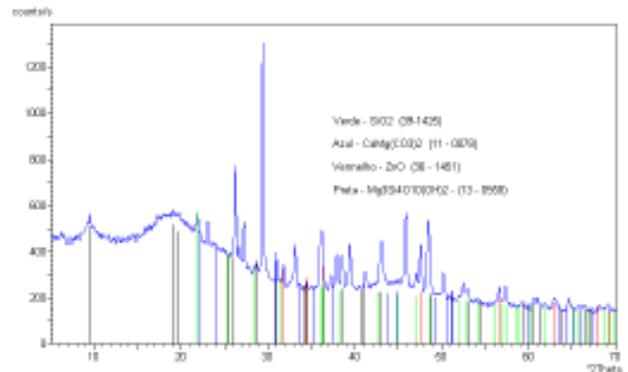


FIGURA 20 - Espectroscopia de Raios - X (RDX) da Amostra Manta do Fabricante D - II

## V. PROPOSTA PARA DESENVOLVIMENTO DA FORMULAÇÃO

Nesta fase do projeto é proposto um conjunto de formulações de acordo com as deformulações realizadas através das amostras de ferramentas de linha viva. Entretanto, como o elastômeros e os plastificantes presentes nas amostras analisadas ainda não foram adequadamente identificadas, optou-se adotar dois tipos de elastômeros: a borracha natural (NR) e borracha de etileno-propileno (EPDM). Inicialmente pretende-se desenvolver utilizando a mesma formulação na confecção de luvas, mangas e mantas, com uma determinada concentração de EPDM. Com base nessas observações dos resultados obtidos da deformulação e cuidados com o processo de degradação e/ou envelhecimento devido às ações de radiações UV e compatibilidade com prováveis contatos com solventes químicos na operação em linha viva, uma nova proposta de formulação procura a combinação adequada entre a borracha natural e borracha de etileno-propileno, compatibilizada com as cargas e aditivos, agentes de processo, plastificantes, entre outros aditivos. Serão comparadas uma formulação básica principal da mistura NR+EPDM e duas referências básicas dos materiais isoladamente e avaliadas as diferentes misturas das formulações propostas (NR, mistura de NR com EPDM e somente EPDM), através da elaboração de corpos-de-prova para ensaios de caracterização e avaliação dos materiais para uso em acessórios utilizados em linha viva. A partir das formulações básicas idealizadas e apresentadas nas tabelas seguintes, será iniciado o estudo das variáveis de processo que interferem no desempenho do produto final até a adequação das características físico-químicas, elétricas e mecânicas, desempenho frente a agentes de intempéries levando-se em consideração o aspecto econômico visando à confecção dos acessórios. A partir das formulações básicas idealizadas e apresentadas nas tabelas seguintes, será iniciado o estudo das variáveis de processo que interferem no desempenho do produto final até a adequação das características físico-químicas, elétricas e mecânicas, desempenho frente a agentes de intempéries levando-se em consideração o aspecto econômico visando à confecção dos acessórios. Nas tabelas 2 a 4 estão ilustradas as formulações desenvolvidas no LACTEC baseado nas deformulações realizadas nesta fase do projeto. O elastômero representa nesta tabela como 100 unidades de massa ou correspondente na forma percentual em *Per Hundred Rubber* (PHR) na sua composição.

**TABELA 2**  
**Fórmula i - borracha epdm**

Materiais	PHR
EPDM	100,00
Plastificante	5,00
Negro de carbono	15,00
ZnO	5,00
Estearina	1,00
Antioxidante	2,00
Agente de processo	1,00
Agente de cura 1	0,50
Agente de cura 2	1,00
Agente de cura 3	0,50
Agente de cura 4	1,00

**TABELA 3**  
**Fórmula ii - borracha natural**

Materiais	PHR
Borracha Natural	100,00
Plastificante	5,00
Carga mineral	15,00
ZnO	5,00
Antioxidante	2,00
Estearina	1,00
Agente de cura 5	1,00
Agente de cura 4	1,00
Agente de cura 2	1,00
Agente de cura 1	0,50

**TABELA 4**  
**Fórmula iii - borracha natural/epdm**

Materiais	PHR
EPDM	60,00
Borracha Natural	40,00
Plastificante	5,00
Negro de carbono	15,00
Carga mineral	40,00
Óleo parafínico	10,00
Estearina	1,00
ZnO	3,00
Antioxidante	2,00
Agente de cura 1	0,50
Agente de cura 4	0,30
Agente de cura 2	1,00
Agente de cura 3	2,00

## VI. CONCLUSÃO

Em composto de materiais elastoméricos empregados na fabricação de ferramentas para linha viva são adicionados diversos tipos de produtos químicos, tais como: cargas minerais, antioxidantes, antiozonantes, plastificantes e entre outras substâncias. O objetivo da adição destes produtos é a tentativa para melhoria das propriedades mecânicas e elétricas. Pois, a goma elastomérica na forma primária, muitas vezes não atende as propriedades desejadas para uma determinada aplicação. Em amostras de elastômeros analisados foram encontrados diversos tipos de cargas minerais, tais como: dolomita ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ), talco, ZnO, entre outras substâncias. As cargas minerais encontradas na composição elastomérica podem apresentar comportamento elétrico totalmente diferente. Portanto é importante realizar medidas elétricas e dielétricas preliminares de amostras em laboratório. E também é necessário analisar melhor a composição comercial é necessário envelhecer artificialmente as amostras das formulações propostas. Tendo como objetivo, estimar em laboratório a durabilidade da matéria-prima empregada na fabricação de ferramentas de linha viva.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] Kang H., Kang M. Y. Han K. H., "Identification of Natural Rubber and Characterization of Rubber Biosynthetic Activity in Fig Tree", *Plant Physiology*, Vol. 123, pp. 1133 – 1142, 2000.
- [2] <http://www.rubber.com>.
- [3] <http://www.rubberstudy.com>.
- [4] Natural Rubber (Guayule) Research in the United States, A Combined 1980 to 1981 Report on Implementation of the Native Latex Commercialization and Economic Development Act of 1978, Joint Commission of Guayule, US Department of Agriculture, August, pp. 2 – 3, 1982.
- [5] The Columbia Encyclopedia, Sixth Edition, 2001.
- [6] C. M. Blow, C. Helpburn, "Rubber Technology and Manufacture", Second Edition, Butterworths, England, 1985.