

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

CAROLINA APARECIDA GIBELLINI

**MÉTODOS QUALITATIVOS APLICADOS AO RECONHECIMENTO DE
PADRÕES EM SINAL DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO: APLICAÇÃO DE
FIBONACCI**

**LINS/SP
1º SEMESTRE/2023**

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

CAROLINA APARECIDA GIBELLINI

**MÉTODOS QUALITATIVOS APLICADOS AO RECONHECIMENTO DE
PADRÕES EM SINAL DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO: APLICAÇÃO DE
FIBONACCI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins para a obtenção
do título de Tecnólogo (a) em Gestão da
Qualidade

Orientador: Prof. Dr. Roberto Outa

**LINS/SP
1º SEMESTRE/2023**

Gibellini, Carolina Aparecida

G445m Métodos Qualitativos Aplicados ao Reconhecimento de Padrões em Sinal de Tensão-Deformação: Aplicação de Fibonacci / Carolina Aparecida Gibellini. — Lins, 2023.

19f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão da Qualidade) — Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra: Lins, 2023.

Orientador(a): Dr. Roberto Outa

1. Reconhecimento de Padrões. 2. Qualidade. 3. Fibonacci. 4. Ensaio Mecânico. 5. Lean Production. I. Outa, Roberto. II. Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra. III. Título.

CDD 658.562

CAROLINA APARECIDA GIBELLINI

**MÉTODOS QUALITATIVOS APLICADOS AO RECONHECIMENTO DE
PADRÕES EM SINAL DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO: APLICAÇÃO DE
FIBONACCI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Lins como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Qualidade sob orientação do prof. Dr. Roberto Outa.

Data de aprovação: ___/___/___

Prof. Dr. Roberto Outa

Prof. Me. Sandro da Silva Pinto

Prof. Dr. Fernando Augusto Garcia Muzzi

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 5 |
| 2 ASPECTOS DA PRODUÇÃO: LEAN MANUFATURING | 7 |
| 3 ENSAIO MECÂNICO DE MATERIAIS | 9 |
| 4 FIBONACCI E RELAÇÃO DE OURO | 12 |
| 5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL | 13 |
| 6 CONCLUSÃO | 18 |
| 7 PROJETOS FUTUROS | 18 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 18 |

MÉTODOS QUALITATIVOS APLICADOS AO RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM SINAL DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO: APLICAÇÃO DE FIBONACCI

Carolina Aparecida Gibellini
Prof. Dr. Roberto Outa

¹Acadêmica do Curso de Tecnólogo em Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

³Docente do Curso de Tecnólogo em Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia De Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação do teorema de Fibonacci em sinais tensão-deformação para reconhecimento de padrões. Este processo ainda não utilizado em indústrias tende a demonstrar a facilidade de leitura e correção rápida de parâmetros da qualidade na linha de produção. O desenvolvimento deste trabalho foi elaborado através de sinais da máquina de ensaio mecânico, cujo resultado é uma curva tensão-deformação de materiais poliméricos.

Palavras-chave: Reconhecimento de Padrões. Qualidade. Fibonacci. Ensaio Mecânico. Lean Production.

ABSTRACT

This work aims to demonstrate the application of Fibonacci theorem in stress-strain signals for pattern recognition. This process not yet used in industries tends to demonstrate the ease of reading and rapid correction of quality parameters in the production line. The development of this work was elaborated through signals from the mechanical test machine, the result of which is a stress-strain curve of polymeric materials.

Keyword: Pattern Recognition. Quality. Fibonacci.; Mechanical Test. Lean Production.

1 INTRODUÇÃO

A moderna economia global está no limiar da nova revolução industrial, o que é provado por muitas tendências reais. Com isso, podemos citar quatro condições que demonstram esta condição: Em primeiro lugar, a grande duração da crise econômica global do início do século XXI e a impossibilidade de superá-la com a ajuda das possibilidades existentes; Em segundo lugar, de acordo com as disposições modernas da teoria econômica; Em terceiro lugar, nas últimas décadas,

estudiosos de diferentes países conduziram pesquisas que resultaram em novas tecnologias, a maioria das quais são as principais tecnologias de produção (inovações tecnológicas); Em quarto lugar, ao nível de empresas e até países separados, existem iniciativas sobre a modernização técnica revolucionária que visam alcançar um desenvolvimento inovador sem precedentes, (POPKOVA et al., 2019). A revolução industrial 4.0 (i4), ou quarta revolução industrial, pode ser entendido como que este conceito é a tendência atual de automação e troca de dados em tecnologia de fabricações que incluem os conceitos de cyber-physical systems, the Internet of things, cloud computing, robotics, artificial intelligence, nanotechnology, biotechnology, entre outros (CHEN, 2018; POPKOVA, et al., 2019).

As adversidades são várias quando o assunto tratado é a detecção de falhas na indústria, assim, os métodos de artificial intelligence (AI), simulam fenômenos naturais e podem ser representados por métodos matemáticos e computacionais. O *cyber-physical systems* (CPS), pode ser considerado um conjunto de software e hardware que controla e/ou monitora as atividades de componentes utilizando a internet. Todas são aplicadas para a busca de soluções em diferente escala e necessidades.

O reconhecimento de padrão é uma área que desperta interesse em diversos cientistas, pois utiliza conhecimentos sensoriais humanos e de animais para navegar no mundo físico, com isso é possível diferenciar condições específicas como ex. comestíveis e não comestíveis. Esta subdisciplina, aplicada em machine learning e artificial intelligence, permite que técnicos projetem algoritmos que atendam a capacidade de reconhecer padrões utilizados a caráter tangível. Basicamente, a aquisição de padrão, detecção e medição são as informações que devem atender as características de um projeto de reconhecimento de padrão, com isso modelos matemáticos devem fazer parte desta condição (BEYERER et al., 2018).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método de reconhecimento de padrões que esteja dentro dos padrões da qualidade qualitativa e quantitativa, aplicando o método matemático de Fibonacci. Para isso acontecer, o desenvolvimento deste trabalho foi feito com diferentes sinais de um produto obtido da máquina de ensaio mecânico do laboratório de uma empresa. O método matemático de Fibonacci quando aplicado ao sinal do ensaio mecânico do produto, pode demonstrar com sucesso o resultado das diferenças entre os sinais bons e ruins, o qual pode ser considerado como uma ferramenta estratégica para evidenciar a qualidade de uma análise.

Diversos pesquisadores têm publicado assuntos relevantes a aplicação do método matemático de Fibonacci em diferentes áreas pode citar o trabalho de Bhattacharya e Kumar (2006) que trata da aplicação de Fibonacci na procura de padrões em evidências estatísticas de preços de títulos de mercado com validações empíricas prevendo a retração crítica dos preços em negociações automatizadas. No trabalho de Nandy (2021) trabalha na exploração de padrões ao longo de derivações da sequência de Fibonacci. Outros autores utilizam métodos similares ao reconhecimento de padrões na busca de identificação de falhas utilizando sistemas inteligentes, podemos citar Outa et al. (2020) que utiliza o sistema imunológico artificial para a detecção de falhas em rotores dinâmicos, cujo resultado demonstra validade e sucesso. Já outro pesquisador Lourenço et al. (2021) demonstra a aplicação de reconhecimento de padrões em sistemas híbridos utilizando a computação natural, cujo resultado demonstra a evolução e detecção das falhas de forma crescente com sucesso.

2 ASPECTOS DA PRODUÇÃO: LEAN MANUFACTURING

Considerando que, o sistema produtivo é uma rede de processos e operações, cuja finalidade é transformar a matéria-prima em um produto acabado, os processos são vistos como fluxo de materiais e as operações são vistas como um trabalho realizado com interação entre homens e máquinas e, tanto o processo como as operações, possui variáveis diretas como tempo e espaço. Este sistema é conhecido como Sistema Toyota de Produção (SHINGO, 1996).

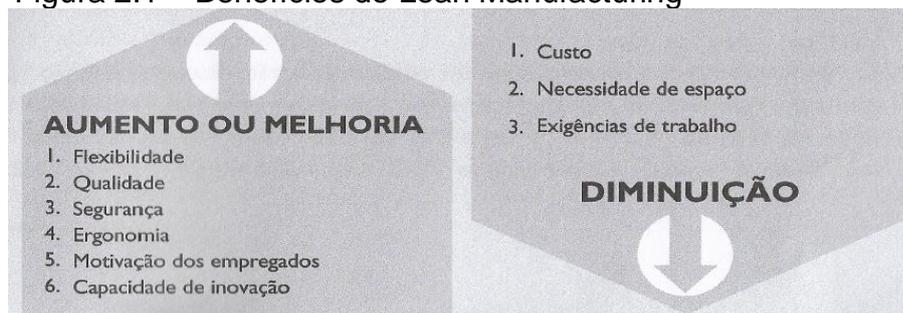
O sistema de produção empurrado é um sistema de produção em massa baseado no agendamento da produção. Este modelo tem início estabelecendo o processo produtivo sobre uma previsão de venda do produto, após são implementados o gerenciamento e o controle da produção. No sistema de produção empurrado é necessário estar ciente da quantidade do estoque de peças e materiais a serem processados, especificados no cronograma principal. Assim, o cálculo de demanda pode ser realizado pela condição de quantidade de produto zero em estoque. Este sistema tende a causar um excesso de produtos acabados em estoque (SHINGO, 1996). O sistema de produção puxado é um sistema de produção que se baseia nos pedidos vendidos, utilizando um cronograma de produção aplicado na produção e montagem do produto. Com isso, esse sistema realiza o atendimento dos pedidos de forma simples sem excesso de estoque a empresa, eliminando desperdício. O seu princípio é baseado em just in time (JIT-Toyota System) e no processo kanban de produção puxada (Toyota System) (SHINGO, 1996).

O sistema lean manufacturing (manufatura enxuta) advém do sistema Toyota de Produção, conhecido como Produção Just-in-Time (JIT) e pode ser entendido como uma filosofia na busca contínua de eliminação de desperdício, ou seja, exclui o que não tem valor ao cliente e determina velocidade a empresa. A condição central desta filosofia é eliminar sete (7) desperdícios identificados como:

1. defeitos nos produtos;
2. excesso de produção de mercadorias desnecessárias;
3. estoques de mercadorias à espera de processamento ou consumo;
4. processamento desnecessário;
5. movimento desnecessário de pessoas;
6. transporte desnecessário de mercadorias;
7. espera de funcionários pelo equipamento de processamento para finalizar o trabalho ou por uma atividade anterior.

A figura 2.1 mostra os benefícios da adoção da filosofia do lean manufacturing na indústria (WERKEMA, 2020; ALLEN 2019).

Figura 2.1 – Benefícios do Lean Manufacturing



Fonte: Werkema, 2020; Allen, 2019

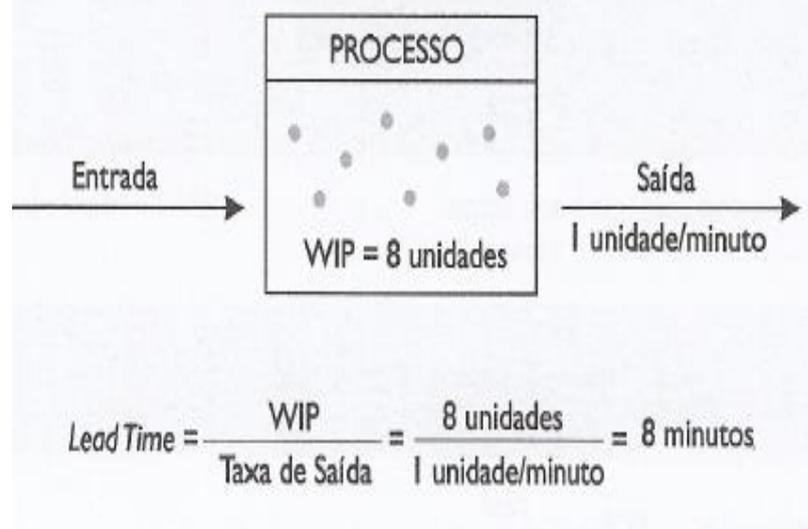
Note que o aumento ou melhoria dos itens relacionados aos benefícios da empresa, está diretamente ligado a diminuição de custos, espaço e exigências de trabalho. Esta condição afeta diretamente a qualidade intrínseca e seus objetivos na empresa e está relacionado também ao sistema produtivo.

As métricas para eliminação de desperdício (*lean manufacturing*) podem ser definidas como,

$$L_d = \frac{WIP}{T_s} \quad (1)$$

onde, L_d é considerado o lead time (unidade tempo); WIP (*work in process*) trabalho em processo, considerado quantidade produzida em um processo, porém ainda não liberado pelo controle da qualidade; T_s é a taxa de saída relaciona o resultado de um processo ao longo de um período. Esta equação é conhecida como lei de *little* e demonstra a redução do trabalho no processo e o aumento da taxa de saída, e atua diretamente no aumento de produtividade, redução de defeitos, redução de retrabalho e redução de refugos. A definição da aplicação do lead time pode ser entendido como o tempo necessário para um produto percorrer todas as etapas de um processo do início até o fim (WERKEMA, 2020; ALLEN, 2019). Outro indicador é o tempo de setup (T_{sup}) que determina o tempo de troca de ferramentas e ajustes até o início da produção (WERKEMA, 2020). A figura 2.2 mostra um exemplo de aplicação do *lead time* L_d .

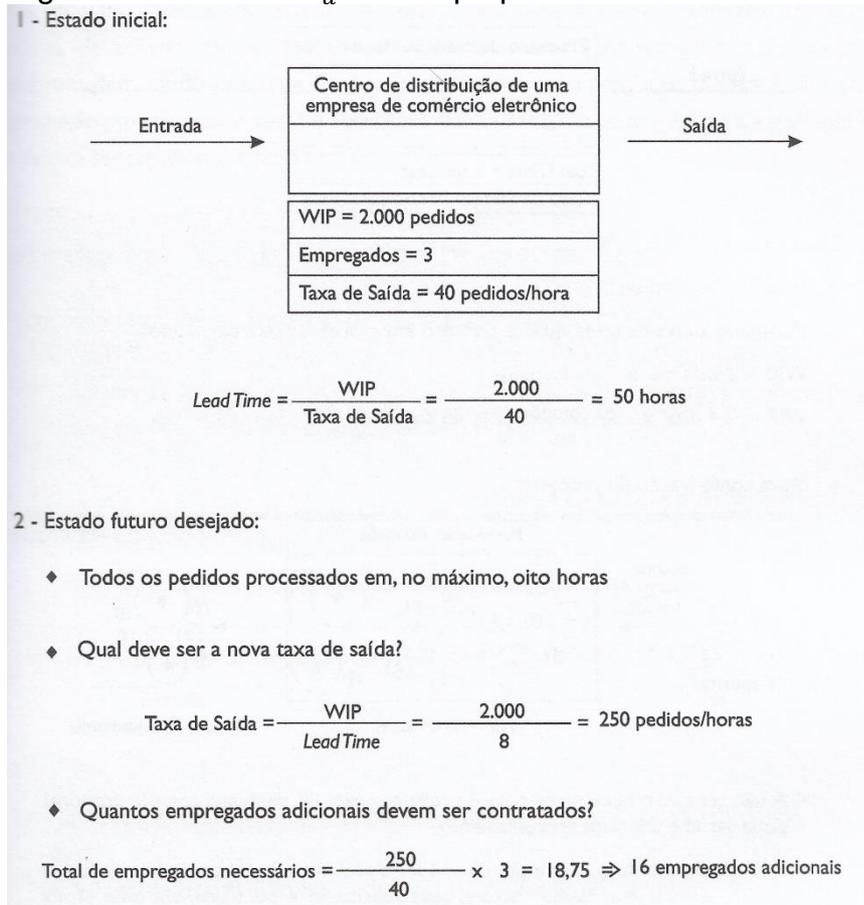
Figura 2.2 – Exemplo de Aplicação do indicador L_d .



Fonte: Werkema, 2020.

A figura 2.3 mostra a aplicação do L_d considerando o estado atual e o estado futuro desejado.

Figura 2.3 – Modelo L_d atual e proposto



Fonte: Werkema, 2020

3 ENSAIO MECÂNICO DE MATERIAIS

O ensaio mecânico tem a finalidade de determinar as propriedades mecânicas de um material metálico e não metálico e são considerados como ensaios destrutivos, pois promovem ruptura ou inutilização do material em teste. Os testes podem ser classificados como: de tração; de compressão; de flexão; de dobramento; de torção; de fadiga; de impacto; entre outros. Os ensaios não destrutivos têm a característica de não destruir o material em teste, tais quais tem o nome de ensaio de raio X; de ultrassom; de magnaflux; elétricos, entre outros. Na indústria, em processos rotineiros e de controle à produção, os testes ou ensaios, são considerados ensaios de rotina, das quais são elaborados em laboratórios de análise industrial qualificado e não necessitam de grande precisão, cujo erro chega a 1% de variação (DE SOUZA, 1982).

O ensaio de tensão e deformação na tração é definido quando uma força é exercida nos extremos do material. A força \vec{F} atua sobre o mordente de fixação, das duas pontas, de forma contrária uma a outra, e assim, o material é alongado, demonstrando assim, o estado do material através de um gráfico de tensão x deformação. A equação 2 mostra a relação tensão, considerando a força e a área da seção transversal,

$$\sigma = \frac{F_t}{A_0} \quad (2)$$

o qual, σ é a tração, F_t é a força de tração, A_0 é a área da secção transversal. O alongamento do corpo de prova, apresentado no teste de tração, também pode ser calculado, considerando a equação 3,

$$A = \frac{L-L_0}{L_0} \cdot 100 (\%) \quad (3)$$

onde, A é o alongamento do material, L é o comprimento após a ruptura do corpo de prova; L_0 é o comprimento inicial do corpo de prova (DE SOUZA, 1982). A deformação linear ε é o resultado do alongamento do material, que pode ser calculado pela equação 4,

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{\Delta L_0} \quad (4)$$

o qual, ΔL é a variação média do comprimento do corpo de prova após a ruptura, e ΔL_0 é a variação do comprimento inicial antes da ruptura. A estricção, considerada a diminuição da secção transversal φ , é calculada através da equação 5,

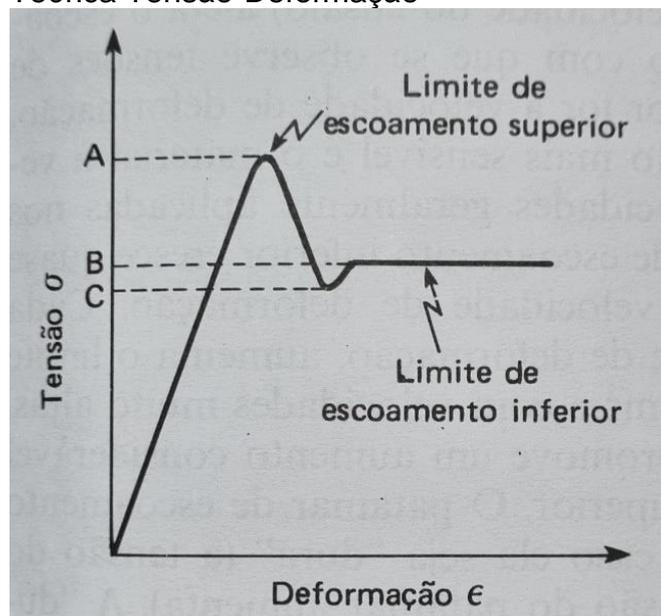
$$\varphi = \frac{L_0-L}{L_0} \quad (5)$$

Com isso, a tensão-deformação σ_d pode ser escrita através da equação 6,

$$\sigma_d = E \cdot \varepsilon \quad (6)$$

o qual, E é o módulo de elasticidade ou módulo de elasticidade ou módulo de Young ($E = \frac{\sigma_d}{\varepsilon}$). O módulo de elasticidade é uma medida quantitativa que determina a rigidez do material, e quanto maior o módulo de elasticidade, menor será a deformação elástica (DE SOUZA, 1982). A figura 3.1 mostra uma curva teórica do gráfico de tensão-deformação e o princípio de escoamento.

Figura 3.1 – Curva Teórica Tensão-Deformação

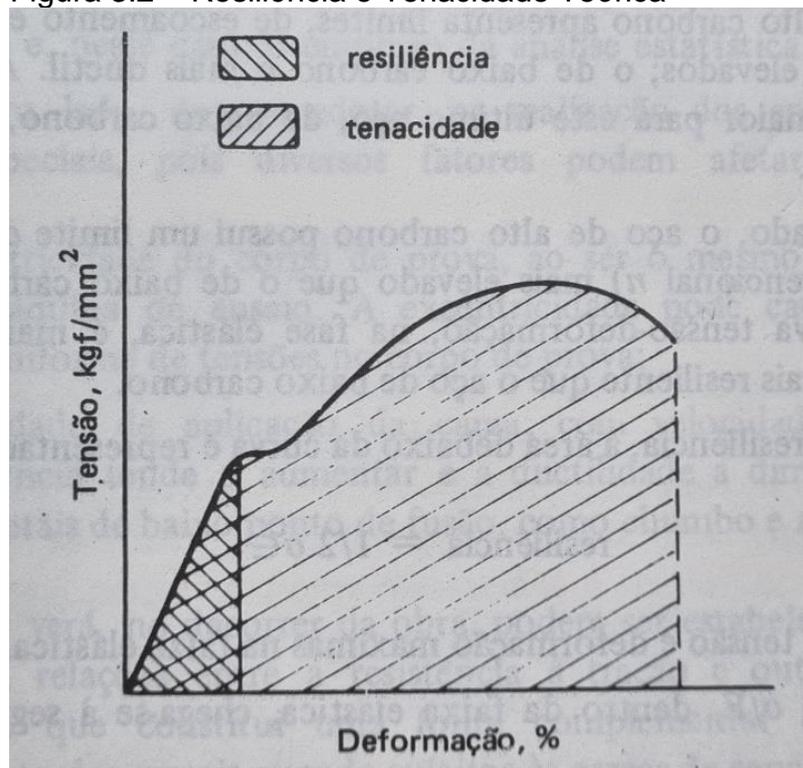


Fonte: De Souza, 1982. p.25.

O escoamento é uma fase de transição heterogênea, localizada entre a deformação elástica e plástica. Note que, na figura 3.1, o escoamento está localizado entre o limite superior de escoamento, ponto A, e o limite inferior de escoamento, ponto B. Já o ponto C, também pode ser considerado como o limite inferior de escoamento para alguns autores, dado a relevância da menor tensão. O escoamento tem início no ponto A e fim no ponto B, considerando a curva de crescimento constante da tensão-deformação, tendo o ponto C como o ponto de tensão mínima do escoamento, ao qual, a constante linear do escoamento (tensão constante – eixo y), até o ponto de ruptura do material mostrado pela deformação do material (eixo x) (DE SOUZA, 1982).

Neste aspecto, é importante comentar dois aspectos técnicos conhecidos como resiliência e tenacidade. A resiliência é a capacidade em que um material absorve energia e, quando deformado elasticamente, é capaz de devolvê-la ao material sem a alteração da estrutura cristalina. A tenacidade é a capacidade em que um material se deforma plasticamente e absorve a energia antes da ruptura. A figura 3.2 mostra a resiliência e tenacidade teórica,

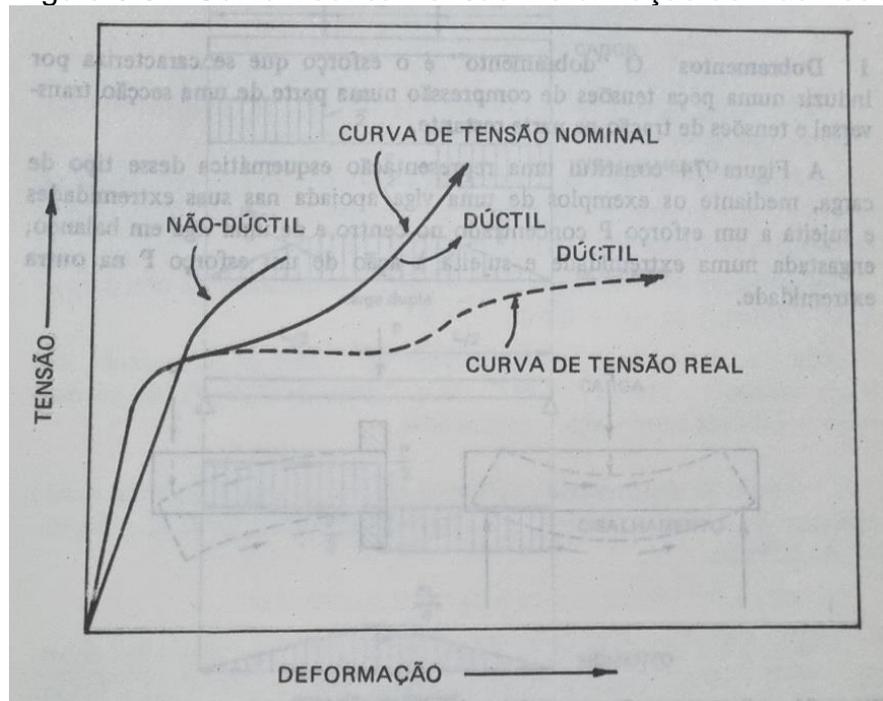
Figura 3.2 – Resiliência e Tenacidade Teórica



Fonte: Chiaverini, 1986. p.113

note que a resiliência está localizada do início da junção dos eixos x e y, e segue até o ponto do suposto ponto de escoamento. Já a tenacidade abrange todo o gráfico. Outro aspecto importante é entender a fragilidade do material, considerando a ductilidade do material em estudo, a figura 3.3 mostra curvas teóricas de materiais, não dúctil e dúctil considerando a tensão nominal e real (CHIAVERINI, 1986).

Figura 3.3 – Curva Teórica Tensão-Deformação de Ductilidade



Fonte: Chiaverini, 1986, p.117

Os corpos de prova são preparados conforme os tipos de materiais, metálicos ou não metálicos, o qual, cada norma tem a sua peculiaridade e especificação a ser seguida, podemos citar algumas normas para materiais poliméricos como ASTM D638, ASTM D1708, ASTM D882, entre outras. Para os materiais metálicos podemos citar normas ASTM E8/E8M-16a, NBR ISO 6892-1-15, ASTM E21-17, entre outros.

4 FIBONACCI E RELAÇÃO DE OURO

A sequência de Fibonacci e o número de ouro já são conceitos em que muitas pessoas tem conhecimento, das quais esses conhecimentos são oriundos do livro Abaci – em que são apresentados a reprodução de coelhos. A sequência de Fibonacci, pode ser escrita através de uma equação para a reprodução dos coelhos e é escrita da seguinte forma,

$$A_{n+2} = A_{n+1} + b_{n+1}, \quad (n \geq 3) \quad (7)$$

ao qual, sabe-se que, A_{n+2} representa o par de coelhos em um determinado mês; A_{n+1} representa o número de coelhos adultos do mês anterior, e $b_{n+1} = A_n$ representa o número de casais de coelhos bebês do coelho do mês anterior, que se tornarão adultos. A razão da proporção áurea consiste em uma constante real algébrica irracional, resultante de uma divisão de uma reta em dois segmentos (a e b) e quando a soma destes segmentos é dividida pela parte mais longa o resultado é aproximadamente 1,61803398875, considerado número de ouro (DUNLAP, 2003).

5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A palavra método pode ser entendida como caminho para se chegar ao objetivo pretendido de uma pesquisa científica cuja abrangência do assunto é determinada pela escolha e estratégia da modalidade do estudo a ele associado. Neste caso é possível associá-lo a material ou população, instrumentos e procedimentos, por fim, a análise pretendida de resultados. A modalidade da pesquisa pode ser qualitativa quando se trata de uma abordagem descritiva, já a quantitativa refere-se à objetividade numérica de informações coletadas, para posterior classificação e análise. A pesquisa experimental é uma modalidade que implica realização de intervenções no processo de investigação, cujo resultado esperado ou desconhecido, confirme relações existentes entre determinadas variáveis (SAKAMOTO; SILVEIRA, 2014).

Os dados experimentais deste trabalho são oriundos de uma empresa ao qual não nos autorizou a exposição do nome, portanto, os dados técnicos aqui apresentados são reais e diretamente da linha de produção.

Neste trabalho, em específico, o material a ser aplicado nos testes de ensaio mecânico são fitas poliméricas de largura aproximada de 10,0 mm que, quando em conjunto e entrelaçados, formam um produto em forma de bags e de diferentes utilidades. A norma adotada para a medição das fitas, neste trabalho, é a ASTM D5035 – 11 - *Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)*, ao qual atende as especificações de análise laboratorial da qualidade na linha de produção.

A norma ASTM D5035-11 tem como objetivo “determinar um método de teste abrange os procedimentos de teste de tiras desfiadas e cortadas para determinar a força de ruptura e o alongamento da maioria dos tecidos têxteis” (ASTM D5035-11, 2011).

A máquina de ensaio mecânico, pertencente a indústria que cedeu o banco de dados, é do fabricante KRATOS equipamentos. Esta máquina é capaz de atender testes de tração, compressão, flexão, cisalhamento, entre outros, e ainda é composta por um software específico para os ensaios mecânicos. A figura 5.1 mostra a máquina de ensaio mecânico com as pinças de fixação do corpo de provas fita polimérica de largura aproximada de 10,0 mm.

Figura 5.1 – Máquina de Ensaio Mecânico Kratos



Fonte: Empresa, 2023

O ensaio mecânico utilizou a velocidade de ensaio de 300,0 mm/min, para uma carga máxima prevista de 500kgf, e deslocamento máximo permitido de 20,0 mm. A ruptura atende 99% da carga máxima prevista com 0% de colapso. A figura 5.2 mostra a célula de carga fixa em uma das hastes que demonstra o comportamento da força aplicada.

Figura 5.2 – Célula de carga fixa na haste.



Fonte: Empresa, 2023

Note que a célula de carga está fixa na parte superior e entre a máquina e pinça. Os testes laboratoriais dos ensaios mecânicos, tem início quando da separação das amostras na linha de produção, aos quais foram separados conforme a tabela 1 mostra,

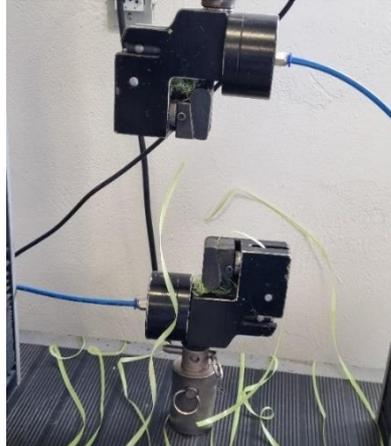
Tabela 5.1 – Dados Amostrais para Teste Ensaio Mecânico

| Código Produto | Valor Padrão Aceitável no Teste | Valor Mínimo Aceitável no Teste | Tamanho do Sinal | Data |
|-----------------------|--|--|-------------------------|-------------|
| Fita trama azul 1750 | 9450 | 8977.5 | 862 x 10 sinais | 13.02.23 |

Fonte: Empresa, 2023.

Utilizando o teorema de calculo amostral finito para a validação do tamanho das amostras, para o tamanho do sinal de 862 o valor mínimo aceitável para este seria de 651 amostras. Com isso, para o sinal de tamanho 862 o erro amostral é de 2% com um nível de confiança de 99%. O resultado aqui calculado demonstra que o tamanho do sinal da amostra 862 pode ser utilizado com segurança. A figura 9 mostra as pinças dispostas na máquina Kratos com as amostras apresentadas para os testes.

Figura 5.3 – Máquina Kratos com as pinças e amostras para a execução dos testes



Fonte: Empresa, 2023

O tratamento dos dados de tensão-deformação apresentado neste trabalho, foram reproduzidos no software octave para uma melhor análise. Com isso, na amostra da tabela 5.2, o qual demonstra as amostras aprovadas e não aprovadas, considerando a força de tensão mínima de 8977.5 gF.

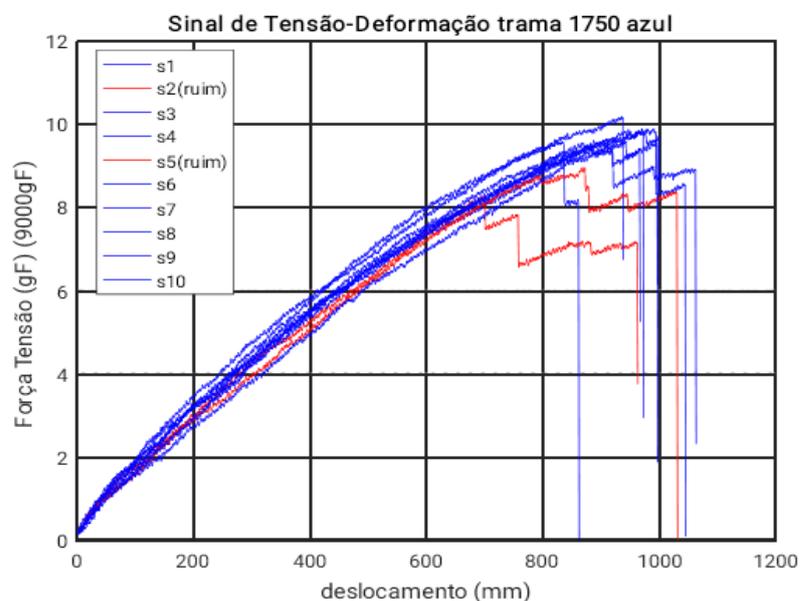
Tabela 5.2 – Amostras Aprovadas e não aprovadas

| Código Produto | Amostras Aprovadas | Amostras Rejeitadas |
|----------------------|-------------------------|---------------------|
| Fita trama azul 1750 | 1; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 10 | 2; 5 |

Fonte: Empresa, 2023

A figura 5.4 mostra a relação das amostras da Fita trama azul 1750, o qual, os sinais em azul são considerados os aprovados, e os sinais em vermelhos, os considerados rejeitados.

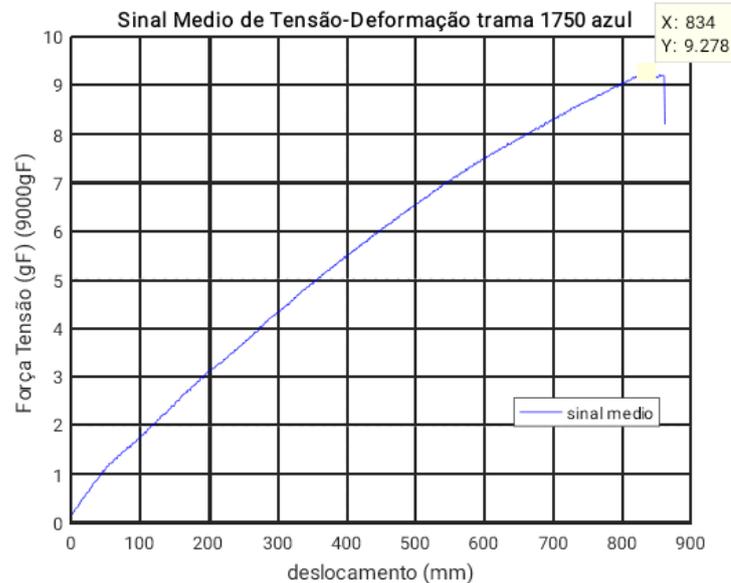
Figura 5.4 – Aprovação e Rejeição das Amostras



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Considerando que os sinais aprovados (sinal azul) atendem a normativa interna de 9000 gF, a etapa seguinte é adotar um sinal médio que represente o sistema de sinais aprovados. A figura 5.5 mostra o sinal médio dos sinais aprovados.

Figura 5.5 – Sinal Médio Tensão-Deformação Trama Azul 1750

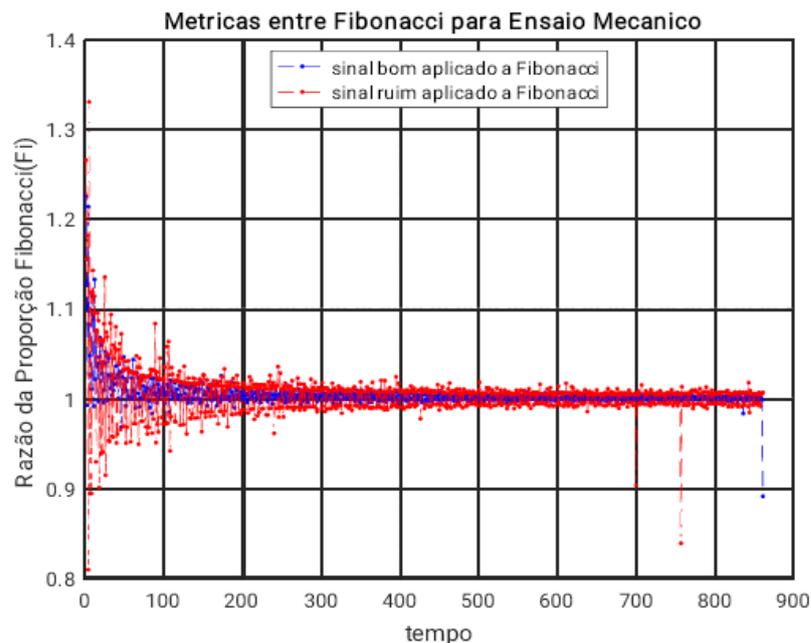


Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Note que nesta figura o valor de aceitação da empresa 9000 gF, está atendendo as especificações do padrão da linha de produção e do laboratório da qualidade.

Através deste sinal médio, que representa um comportamento do padrão da qualidade e da produção, é possível introduzir o conceito de Fibonacci para a adoção de um sinal que seja reconhecido como referência do sinal médio tensão deformação. Com isso a figura 5.6 mostra o sinal aplicado a Fibonacci.

Figura 5.6 – Sinal aplicado a Fibonacci.

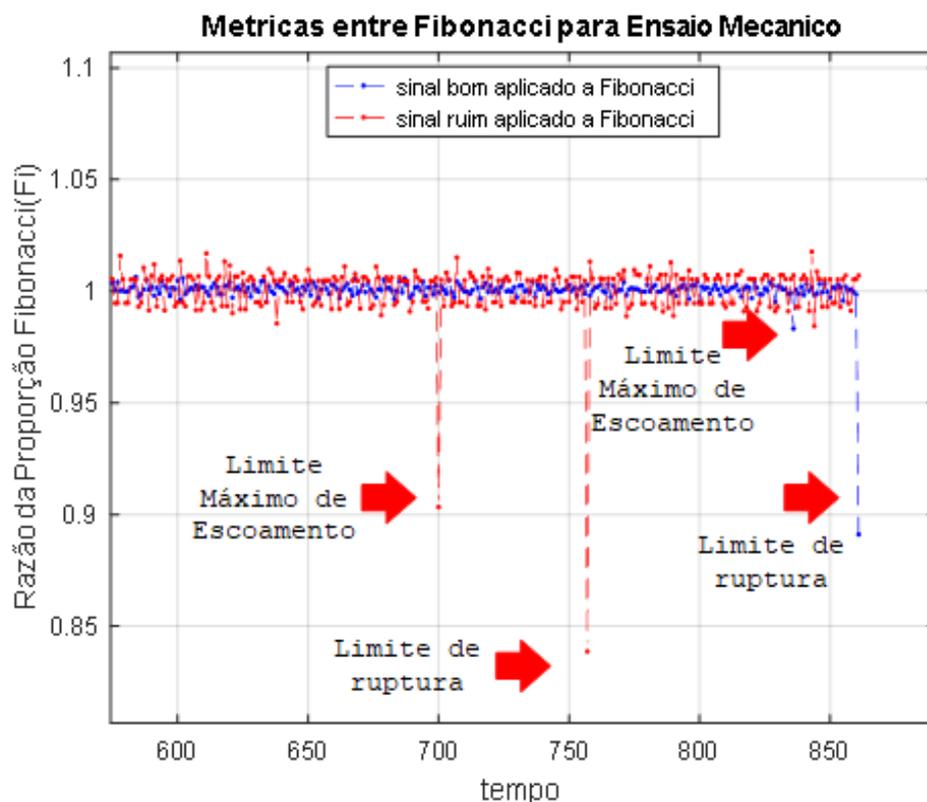


Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Note que na figura, o gráfico em azul é o sinal médio adquirido do padrão das amostras boas do gráfico tensão-deformação, enquanto que, o sinal em vermelho é um sinal rejeitado, adquirido de uma das amostras rejeitadas. O gráfico de uma forma geral demonstra uma grande diferença quando sobrepostas uma sobre a outra, a qual o sinal rejeitado (vermelho) possui uma variação maior entre as diferenças de valores, formando uma sobreposição maior que o azul.

Note também que o sinal em vermelho possui dois picos salientes entre 0.8 a 1, que antecedem os picos do sinal em azul. Isso demonstra a diferença entre o ponto máximo do limite de escoamento, entre os sinais bons e ruins. A figura 5.7 mostra o mesmo gráfico com um nível de detalhe melhor.

Figura 5.7 – Detalhamento da Figura 5.6



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Note que, na figura 5.7, o detalhamento dos limites de escoamento aparece mais claramente e, quando os sinais são sobrepostos, nota-se a diferença de aprovação entre os sinais bons e ruins, ou aceitos ou rejeitados. O sinal que antecede o limite de escoamento do sinal bom (azul) é considerado um sinal ruim (vermelho).

Nota-se, portanto, que esta ferramenta desenvolvida neste trabalho de pesquisa, é possível de ser adotada em empresas no processo de normatização e aprovação em programas de qualidade. O conceito de Fibonacci quando aplicado na análise de tensão-deformação, demonstra uma condição aplicada e de sucesso.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra a aplicação do conceito de Fibonacci para reconhecimento de padrões de um sinal Tensão-Deformação. Os resultados encontrados da aplicação do conceito de Fibonacci são bons e de relevância, pois, além de demonstrar a eficácia da aplicação em um sinal padrão formando o conceito aplicado, foi possível de observá-lo como uma técnica que diferencia sinais bons e ruins.

Note ainda que a metodologia praticada pode ser aplicada em experimentos ligados a produção, formando uma proposta de solução lógica e visual de fácil acesso.

Este trabalho pode ser considerado conclusivo e de excelente aceitação na engenharia da qualidade e na engenharia mecânica, referenciando formas matemáticas aplicadas a padronização.

7 PROJETOS FUTUROS

Os projetos futuros poderão estar ligados a este projeto considerando a aplicação da mesma teoria deste trabalho com outros sinais de ensaio mecânico de outros materiais, assim o título do projeto seria “MÉTODOS QUALITATIVOS APLICADOS AO RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM DIFERENTES SINAIS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO: APLICAÇÃO DE FIBONACCI”.

Um outro projeto interligado a este seria utilizar o mesmo método aplicado ao entrelaçamento destas fibras poliméricas para a análise do comportamento do material, cujo título seria “ESTUDO E ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO MATEMÁTICO DE FIBONACCI EM ALÇAS DE SACOLAS”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, T.T. **Introduction to Engineering Statistics and Lean Six Sigma: Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems**. London: Springer-Verlag, 2019. 633p.

ASTMD5035-11, **ASTM - Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)**, ASTM International: American Society for Testing and Materials, Comitê ASTM D13 de Têxteis e Subcomitê D13.60, West Conshohocken. 2011. 8p.

BEYERER, J., RICHTER, M., NAGEL, M., **Pattern Recognition: Introduction, Features, Classifiers and Principles**. Boston: Walter de Gruyter GmbH. 2018. 307p.

BHATTACHARYA, S., KUMAR, K., A Computational Exploration of the Efficacy of Fibonacci Sequences in Technical Analysis and Trading, n.1, vol.1, p. 185–196, **Annals Of Economics And Finance** 1. 2006. Disponível em: Visto em: <<http://chesler.us/resources/academia/Fibonacci%20Sequences.pdf>>. Acesso em: 02/2023.

CHEN, Y., LI, Y., **Computational Intelligence Assisted Design in Industrial Revolution 4.0**, CRC Press, Boca Raton, 2018. 527p.

CHIAVERINI, V., **Tecnologia Mecânica vol.- I: Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas**, 2. ed. McGraw-Hill, 1986. 266p.

DE SOUZA, S.A., **Ensaio Mecânico de Materiais Metálicos: Fundamentos Teóricos e Práticos**, 5 ed. São Paulo: Editora Blucher. 1982. 304p.

DUNLAP, R.A., **The Golden Ratio and Fibonacci Numbers**, New Jersey, World Scientific, 2003. 170p.

LOURENÇO, R.F.B., OUTA, R., CHAVARETTE, F.R., GONÇALVES, A.C., Analysis and Recognition of Standards in Intelligent Hybrid Systems using Natural Computing, n.7, vol. 3 p. 1764-1773. **Journal of Applied and Computational Mechanics**. DOI: 10.22055/JACM.2021.37798.3089.

NANDY, A. **Fibonacci and Fibonacci-Type Sequences**: In Search of Innovative Pattern Recognition, v.26, n.4, p.41-47, 2022.

OUTA, R., CHAVARETTE, F.R., MISHRA, V.N., GONÇALVES, A.C., ROEFERO, L.G.P., MORO, T.C., Prognosis and fail detection in a dynamic rotor using artificial immunological system, n.9., vol.37 p. 3127-3145. **Engineering Computations**. DOI:10.1108/EC-08-2019-0351.

POPKOVA, E.G., RAGULINA, Y.V., BOGOVIZ, A.V., **Industry 4.0**: Industrial Revolution of the 21st Century, Springer International, Switzerland, 2019. 249p.

SAKAMOTO, C.K., SILVEIRA, I.O., **Como Fazer Projetos de iniciação Científica**. São Paulo: Editora Paulus. 2014. 110p.

SHINGO, S., **O Sistema Toyota de Produção: do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**, 2. ed., Porto Alegre: Bookman, 1996. 282p.

WERKEMA, C., **Lean Seis Sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. São Paulo: Atlas, 2020. 115p.