

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

GEISA MOREIRA DE ANDRADE

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS TÁCTEIS EM TECIDO COM
PROTÓTIPO EM FPGA**

São Bernardo do Campo

2014

GEISA MOREIRA DE ANDRADE

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS TÁCTEIS EM TECIDO COM
PROTÓTIPO EM FPGA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Centro
Universitário da FEI para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica, orientado pelo
Prof. Dr. Renato Camargo Giacomini

São Bernardo do Campo

2014

Andrade, Geisa Moreira de.

Sistema de aquisição de sinais tácteis em tecido com protótipo em FPGA/ Geisa Moreira de Andrade. São Bernardo do Campo, 2014.

81 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário da FEI.

Orientador: Prof^o Dr. Renato Camargo Giacomini.

1. Sensor táctil. 2. Sensor capacitivo. 3. Sistema de aquisição. I. Giacomini, Renato Camargo, orient. II. Título.

CDU 681.3



Centro Universitário da **FEI**

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO ATA DA BANCA JULGADORA

PGE-10

Programa de Mestrado de Engenharia Elétrica

Aluno: Geisa Moreira de Andrade

Matrícula: 111101-2

Título do Trabalho: Sistema de aquisição de sinais tácteis em tecido com protótipo em FPGA.

Área de Concentração: Dispositivos Eletrônicos Integrados

Orientador: Prof. Dr. Renato Camargo Giacomini

Data da realização da defesa: 28/02/2014

ORIGINAL ASSINADA

A Banca Julgadora abaixo-assinada atribuiu ao aluno o seguinte:

APROVADO

REPROVADO

São Bernardo do Campo, 28 de Fevereiro de 2014.

MEMBROS DA BANCA JULGADORA

Prof. Dr. Renato Camargo Giacomini

Ass.: _____

Prof. Dr. Valter Fernandes Avelino

Ass.: _____

Prof. Dr. Maurício de Campos Araújo

Ass.: _____

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

**ENDOSSO DO ORIENTADOR APÓS A INCLUSÃO DAS
RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA**

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Carlos Eduardo Thomaz

Dedico este trabalho à minha família e amigos pelo carinho, amizade e todo apoio que me deram ao longo deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida e todas as oportunidades.

Aos meus pais e irmãos que sempre me apoiaram e acreditaram que era capaz de fazer o que fosse necessário.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato Camargo Giacomini, pela confiança e atenção.

A professora Camilla Borelli por todo apoio na área têxtil.

Aos professores do mestrado Dra. Paula Agopian , Dr. Marcelo Antonio Pavanello, Dra. Michelly de Souza, Dr. Marcelo Bellodi e Dr. Salvador Pinillos Gimenez por todo conhecimento e experiência passada.

Aos professores Marco Antônio, Silvana Gasparotto, Pedro Benko e Ricardo Stolf pelo apoio e dicas tão preciosas.

Aos amigos do mestrado pelos momentos de estudo, força, confiança. Em especial a Arianne que sempre esteve disposta a ajudar.

Ao Renato, Ari, Douglas e a todos do Laboratório de elétrica, pelo apoio com os materiais e equipamentos elétricos.

Ao aluno de Iniciação Científica Carlos Eduardo Guedes pela atenção e por complementar o trabalho fazendo o supervisório.

A todos meus amigos de trabalho do SENAI “Almirante Tamandaré“ e do projeto PNEAD, em especial ao Wagner que sempre esteve presente e ao João que confeccionou as peças para efetuar as medidas.

As minhas grandes amigas Renata e Adriana, sem elas tudo seria mais difícil.

Ao Centro Universitário da FEI pela infraestrutura concedida em todo o tempo de estudo.

À CAPES pelo apoio financeiro.

E a tantas outras pessoas, que de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o projeto e avaliação funcional de um sistema sensor capacitivo baseado em um tecido com fios condutivos e em um dispositivo lógico programável (FPGA). Além da função de perceber o toque, verificando a presença e ausência de material, o sistema sensor desenvolvido apresenta diferentes respostas de acordo com o tipo de material, a pressão e a área de contato.

Todas as características analisadas neste trabalho fundamentam a utilização deste sistema de aquisição não só como sensor, mas também como um tecido que pode ser utilizado como roupa. Uma das aplicações possíveis deste sistema pode ser como uma peça de vestuário para pessoas que apresentam déficit de sensibilidade em partes do corpo, como por exemplo nas pernas, evitando lesões e acidentes, quando objetos caem ou comprimem sua pele, sem que sejam percebidos.

O tecido aplicado a vestuário tem que ser confortável e apresentar um bom transporte de umidade, pois um tecido com baixo transporte de umidade funciona como uma barreira, dificultando a evaporação do suor, aumentando assim o gasto energético do corpo, fazendo com que haja uma sensação de desconforto. O caimento também é importante, pois está ligado ao aspecto psicológico do conforto.

Através de ensaios têxteis é possível observar que o tecido desenvolvido para este trabalho, mesmo com a inclusão de filamentos de cobre, permanece com um caimento parecido com tecidos convencionais além de proporcionar sensação de conforto quanto ao transporte de umidade, oferecendo 83,82% mais capilaridade que tecido convencional de algodão.

Através de ensaios elétricos é possível observar que o sistema digital de aquisição desenvolvido apresenta resultados consistentes e que é capaz de detectar materiais isolantes e condutores, além da área de contato e a pressão exercida sobre o tecido (sensor).

Palavras chave: Sensor tátil. Sensor capacitivo. Sistema de aquisição.

ABSTRACT

This work reports the development of a system of tactile signal acquisition prototyped in a FPGA and fabric with conductive threads. In addition to functioning as a sensor, the fabric has to be comfortable and provide a good moisture transport, as a fabric with low moisture transport functions as a barrier hindering the evaporation of transpiration, thus increasing the energy expenditure of the body, causing a feeling of discomfort. The stiffness is also important because it is linked to psychological aspect of comfort. The capacitive touch sensors, besides the function of perceiving touch, checking the presence and absence of material, can also check the type of material, mass and contact area.

Through electrical testing it was possible to observe that digital acquisition presents consistent and compatible results with the tests using the oscilloscope and is capable of detecting insulating and conducting materials, in addition to the contact area and mass on the fabric (sensor).

Through textile tests it is noteworthy that the fabric developed for this work, even with the inclusion of copper filament remains like conventional stiffness as well as providing a greater sense of comfort regarding moisture transport, giving 83.82% more fabric capillarity than the conventional ones (wireless polyester twill with copper filaments).

All discussed features in this paper support this acquisition system not only as a sensor but also as a fabric that can be used as clothes. One possible application of it can be as a garment for people who have sensitivity deficit in body parts such as legs, since these individuals they can get hurt without realizing when objects fall or squeeze their skin.

Keywords: Touch sensor. Capacitive sensor. Acquisition system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Campo elétrico	19
Figura 2 - Capacitor de placas paralelas	19
Figura 3 - Sensor capacitivo tátil	21
Figura 4 - Capacitância ao tocar o sensor capacitivo tátil	22
Figura 5 - Circuito equivalente do sensor capacitivo tátil	22
Figura 6 - Sinais de entrada e saída do sensor capacitivo tátil	23
Figura 7 - Variação do campo eletrostático no sensor capacitivo tátil	24
Figura 8 - Estrutura interna de um FPGA.....	25
Figura 9 - A Cadeia Têxtil.....	28
Figura 10 - Tecidos a) Tecido Não-tecido, b) Tecido de Malha, c) Tecido Plano	31
Figura 11 - Teares a) Tear de lançadeira b) Tear de pinça	32
Figura 12 - Ligamentos dos Tecidos Planos.....	33
Figura 13 - Tela a) Representação do tecido, b) Representação gráfica	34
Figura 14 - Sarja de trama 1 x 3 com diagonal Z a) Representação do tecido, b) Representação gráfica.....	35
Figura 15 - Sarja de urdume 3 x1 com diagonal S a) Representação do tecido, b) Representação gráfica	36
Figura 16 - Cetim de trama com diagonal Z a) Representação do tecido, b) Representação gráfica.....	36
Figura 17 - Diagrama em blocos do sensor tátil	39
Figura 18 - Diagrama de bloco da primeira etapa	42
Figura 19 - Diagrama de bloco da segunda Etapa	44
Figura 20 - Circuito de interface e tecido sensor	45
Figura 21 - Circuito equivalente do Sensor Tátil.....	46
Figura 22 - Tecido sensor a) lado direito do tecido, b) avesso do tecido	47
Figura 23 - Supervisório	48
Figura 24 - Corpos de prova do tecido a) no sentido da trama b) no sentido do urdume.....	50
Figura 25 - Aparelho de caimento tipo laço	50
Figura 26 - Aparelho de capilaridade	51
Figura 27 - Processo de medição	51
Figura 28 - Materiais com área de contato de 30 x 30, 20 x 20, 10 x 10 mm usados nos ensaios.....	52

Figura 29 - Ensaio elétrico no sistema digital de aquisição	53
Figura 30 - Circuito equivalente com pontas de prova.....	54
Figura 31 - Ensaio de capilaridade a) Sarja sem o fio de poliéster com filamento de cobre b) Sarja com o fio de poliéster com filamento de cobre.....	58
Figura 32 - Forma de onda sem tocar o tecido	59
Figura 33 - Atraso do sinal sem tocar o tecido	60
Figura 34 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm sobre o tecido.....	60
Figura 35 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm e massa de 500 g sobre o tecido ..	61
Figura 36 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm e massa de 1 kg sobre o tecido	61
Figura 37 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm e massa de 2 kg sobre o tecido	62
Figura 38 - Medidas estáticas com materiais de 10 x 10 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor	64
Figura 39 - Influência do material no C_{tecido} a) material de 10 mm, b) material de 20 mm, c) material de 30 mm.....	65
Figura 40 - Medidas estáticas com materiais de 20 x 20 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor	66
Figura 41 - Medidas estáticas com materiais de 30 x 30 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor	67
Figura 42 - Relação entre massa e atraso a) materiais de 10 x 10 mm, b) materiais de 20 x 20 mm, c) materiais de 30 x 30 mm.....	69
Figura 43 - Medidas dinâmicas com materiais de 30 x 30 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor	70
Figura 44 - Medidas com tecido úmido.....	72
Figura 45 - Matriz de pontos no tecido sensor	73
Figura 46 - Pontos na matriz de posicionamento a) P1, b) P2, c) P3, d) P4, e) P5, f) P6, g) P7, h) P8, i) P9, j) P10, k) P11, l) P12, m) P13, n) P14, o) P15, p) P16 Fonte: Autor.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa e espessura dos materiais usados nos ensaios	53
Tabela 2 - Resultado do ensaio de caimento	56
Tabela 3 - Resultado do ensaio de capilaridade	58
Tabela 4 - Comparação entre o sinal do osciloscópio e o sistema digital de aquisição	62
Tabela 5 - Diferença de atraso entre 0 g e 2 kg	69
Tabela 6 - Diferença percentual entre os pulsos das medidas dinâmicas	71
Tabela 7 - Variação das medidas com tecido sensor úmido	72

LISTA DE SÍMBOLOS

\vec{E}	Campo elétrico vetorial [N/C]
A	Área das placas do capacitor [m ²]
C	Capacitância [F]
C _{dedo}	Capacitância do dedo [F]
C _{ent}	Capacitância na entrada do FPGA [F]
C _{material}	Capacitância do material [F]
C _{tecido}	Capacitância do tecido [F]
C _{total}	Capacitância total [F]
d	Distância entre as placas do capacitor [m]
E	Tensão da fonte contínua [V]
Q	Carga elétrica [C]
q	Carga teste
R	Resistor da placa de aquisição [Ω]
t	Tempo [ns]
V	Tensão [V]
V _c	Tensão no capacitor [V]
V _r	Tensão no resistor [V]
ε	Permissividade elétrica específica de um material [pF/m]
ε _o	Permissividade do vácuo [8,854 pF/m]
ε _r	Constante dielétrica relativa [sem unidade]
τ	Constante de tempo do circuito [s]
φ	Fator de proporcionalidade [sem unidade]

LISTA DE ABREVIATURAS

ASIC	<i>Application Specific Integrated Circuit</i>
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
HDL	<i>Hardware Description Language</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LUT	<i>Look-Up Table</i>
PLD	<i>Programmable Logic Device</i>
PLL	<i>Phase-Locked Loop</i>
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>
SNR	<i>Signal-To-Noise Ratio</i>
TNT	Tecido Nãotecido
VGA	<i>Video Graphics Array</i>
VHDL	<i>Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Apresentação do trabalho	17
2	MATERIAIS ELÉTRICOS E CONCEITOS FUNDAMENTAIS	18
2.1	Materiais dielétricos	18
2.2	Capacitores e capacitância.....	18
2.3	Sensores	21
2.3.1	Sensor capacitivo tátil.....	21
2.4	FPGA	24
3	CONCEITOS BÁSICOS DA ÁREA TÊXTIL	27
3.1	Processo produtivo têxtil.....	27
3.2	Fibras têxteis	28
3.2.1	Algodão	29
3.2.2	Poliéster	29
3.3	Fiação.....	29
3.4	Tecido.....	30
3.4.1	Ligamentos do tecido plano.....	33
3.4.1.1	Ligamentos fundamentais.....	34
3.5	Conforto.....	37
3.5.1	Caimento.....	37
3.5.2	Transporte de umidade	38
4	PROPOSTA DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS TÁCTEIS EM TECIDO COM PROTÓTIPO EM FPGA	39
4.1	Sistema digital de aquisição	39
4.2	Circuito de interface.....	45
4.3	Tecido sensor.....	46
4.4	Sistema supervisorio para ensaios.....	47
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	49

5.1	Ensaiois têxteis	49
5.1.1	Ensaio de caimento – método laço	49
5.1.2	Ensaio de transporte de umidade – método capilaridade	51
5.2	Ensaiois elétricos	52
5.2.1	Compara�o entre os dados obtidos pelo osciloscópio e pelo sistema digital de aquisi�o	53
5.2.2	Ensaiois com medi�es estáticas	54
5.2.3	Ensaiois com medidas dinâmicas	54
5.2.4	Ensaiois com tecido sensor �mido	55
5.2.5	Ensaiois com matriz de posicionamento	55
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
6.1	Resultados dos ensaiois têxteis.....	56
6.1.1	Resultados do ensaio de caimento – método laço	56
6.1.2	Resultados do ensaio de transporte de umidade – método capilaridade.....	57
6.2	Resultados dos ensaiois elétricos	59
6.2.1	Compara�o entre os dados obtidos pelo osciloscópio e pelo sistema digital de aquisi�o	59
6.2.2	Resultados dos ensaiois com medi�es estáticas.....	63
6.2.3	Resultados dos ensaiois com medidas dinâmicas	69
6.2.4	Resultados dos ensaiois com tecido sensor �mido	71
6.2.5	Resultados dos ensaiois com matriz de posicionamento	72
7	CONCLUSÕES.....	74
8	PUBLICAÇÕES GERADAS DURANTE O PER�DO DE MESTRADO.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DO TECIDO E DA MÁQUINA.....	80
	APÊNDICE B – RAPORT DE CORES DO URDUME	81

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico é algo indispensável para uma sociedade que busca cada vez mais praticidade, interatividade e qualidade de vida. No cenário mundial de inovações, diversas soluções surgem diariamente para tornar a vida mais agradável, confortável e segura. O nível dessas inovações pode variar desde um simples relógio de pulso, que com a evolução tecnológica atual, além de mostrar as horas, fornece ao seu usuário condições climáticas e monitoramento dos batimentos cardíacos, a cirurgias sendo realizadas por médicos, a distância, através de sistemas robotizados e de alta precisão e confiabilidade. Esta inevitável crescente tecnologia está diretamente associada às necessidades apresentadas pela humanidade.

Um foco de estudo e dedicação tecnológica que sempre está em pauta é a utilização de dispositivos para suprir, repor ou até mesmo melhorar parte ou sistemas inteiros do corpo humano. O sistema sensorial humano, além de sua elevada complexidade, desempenha um papel fundamental no corpo e na vida dos seres vivos, uma vez que o mesmo, além de ser um recurso utilizado para sobrevivência, também é o meio utilizado para a orientação, tomada de decisão e até mesmo de socialização. O sistema sensorial é dotado de um conjunto de órgãos com células sensoriais que são capazes de captar estímulos internos e externos ao corpo. Além destas células especializadas, as terminações nervosas dos neurônios também são responsáveis por detectar estímulos, onde ambos estão presentes pelo corpo e principalmente nos órgãos de sentido, sendo estes os olhos, a boca, as fossas nasais, os ouvidos e a pele, que associados aos sistemas nervoso periférico e central, são responsáveis pela decodificação e interpretação de tais estímulos. Estímulos diferentes, exigem das terminações do sistema nervoso periférico sensibilidade específica. Sendo assim, existem receptores responsáveis por detectar substâncias químicas, estímulos térmicos, mecânicos, ambientais (pressão por exemplo), estímulos do interior do organismo, e receptores de informações das condições internas do organismo. Tais receptores (terminações) convertem os estímulos em impulsos nervosos e os transmitem ao sistema nervoso central, que por sua vez, é responsável pela interpretação dos sinais e pelas reações corpóreas, ocasionando as sensações.

A pele, o maior órgão do corpo humano, além das funções imunológicas, funcionando como uma barreira contra agentes externos, possibilita a interação com o meio ambiente, juntamente com o sentido relacionado ao tato. A falência e/ou inoperância desse sistema de detecção tão importante, pode gerar uma série de problemas às pessoas que possuem alguma deficiência de sensibilidade, podendo ocasionar até acidentes graves. Este trabalho visa

contribuir com a pesquisa e desenvolvimento de um dispositivo que possibilita às pessoas com déficit de sensibilidade, ter uma vida mais saudável e segura. Com a evolução desse sistema sensor, outras aplicações podem surgir, desde áreas esportivas até a interatividade entre pessoas, e das pessoas entre os sistemas eletrônicos.

O desenvolvimento de um sensor capacitivo tátil foi o foco de estudo dessa dissertação. Além da função de um sensor de toque que verifica a presença e ausência do material, o sistema proposto pode verificar também qual o tipo de material (condutor ou isolante), a pressão e a área de contato, permitindo excelente repetibilidade e sensibilidade [1]. Com este sensor também deve ser possível detectar a posição onde o toque ou atuação sobre o tecido sensor está sendo efetuada. Há importantes experiências anteriores na área. O sensor proposto por Markus Rothmaier et al [2] possui fibra óptica no sentido do urdume e da trama. As fibras se deformam fazendo com que a luz seja atenuada por perdas ópticas no interior da fibra. Embora este sensor seja fabricado com tecido como o proposto neste trabalho, ele não funciona como um sensor tátil e sim como um sensor de pressão.

Hyung-Kew Lee et al [3], propõe um sensor tátil capacitivo fabricado com filmes poliméricos, inicialmente focando a utilização em robôs, pois o tato é adequado para que os robôs tenham contato físico com os seres humanos. Na aplicação em pessoas, no entanto, ao se utilizar filmes poliméricos se perdem características importantes, como o conforto ocasionado pelo transporte de umidade e que é fundamental para que o sensor possa ser utilizado como roupa.

Há sensores que utilizam tiras condutoras flexíveis em camadas, de modo que cada ponto de intersecção forma uma célula tátil [4] [5] [6]. Alguns desses sensores utilizam tecidos ou folhas de borracha para obter maior flexibilidade, porém a utilização da borracha tem desvantagens como na utilização de filmes poliméricos e o sensor que utiliza tecido funciona apenas como um sensor de pressão [5].

Este trabalho tem como objetivo apresentar um sistema de aquisição de sinais táteis em tecido com protótipo em FPGA (*Field Programmable Gate Array* - matriz de portas programáveis em campo), implementado com o componente EP2C70F896C6N e o *software* Quartus II v.12.1, da empresa Altera Co [7].

São avaliadas propriedades específicas da área têxtil, como caimento e transporte de umidade do tecido sensor, pois além das funções elétricas, o tecido sensor pode e deve ser usado como um tecido comum, utilizado no vestuário. Oferecendo conforto no aspecto fisiológico, que está ligado à interferência nos mecanismos de metabolismo do corpo,

especialmente o termorregulador, causadas pelo vestuário e no aspecto psicológico, ligado aos fatores relacionados à estética.

O circuito possui um FPGA (*Field Programmable Gate Array*), através do qual é possível acessar isoladamente fio a fio do tecido sensor, dado o grande número de terminais disponíveis no encapsulamento. Dessa maneira é possível criar uma matriz entre os fios de trama e urdume, sendo possível mapear o local onde está sendo feita a pressão no tecido.

1.1 Apresentação do trabalho

Este trabalho está dividido em nove capítulos. No segundo capítulo desta dissertação é feita uma revisão de conceitos fundamentais de eletricidade, abordando materiais dielétricos, capacitores, capacitância, sensor capacitivo táctil e FPGA.

No terceiro capítulo são apresentados os conceitos básicos da área têxtil, abordando o processo produtivo têxtil, as fibras têxteis utilizadas neste trabalho, a fiação, os conceitos básicos sobre tecidos planos e seus ligamentos, além do conceito e importância do transporte de umidade e caimento no conforto do vestuário.

No quarto capítulo é apresentada a proposta deste trabalho, explicando cada parte do sistema de aquisição de sinais tácteis em tecido com protótipo em FPGA.

No quinto capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados para efetuar os ensaios têxteis e elétricos no tecido sensor. Nos ensaios têxteis são apresentados os ensaios de caimento e transporte de umidade. Nos ensaios elétricos, além da comparação entre os dados obtidos por instrumentos de laboratório e pelo sistema de aquisição, são apresentados também os ensaios com medições estáticas, dinâmicas, com o tecido sensor úmido e com uma matriz de posicionamento.

No sexto capítulo, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios têxteis e elétricos mencionados no quinto capítulo.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões obtidas ao longo deste trabalho, tendo como base os resultados apresentados no capítulo seis. Em seguida são apresentadas as propostas para trabalhos futuros .

2 MATERIAIS ELÉTRICOS E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos elétricos fundamentais para se entender e analisar um circuito de sensor capacitivo, baseado em uma rede RC (Resistor-Capacitor), uma vez que a entrada dos sinais elétricos no sistema de aquisição de sinais desenvolvido neste trabalho se faz por meio de um circuito deste tipo.

2.1 Materiais dielétricos

Os materiais dielétricos são materiais isolantes ou maus condutores. Sob campo elétrico, pode haver a polarização das moléculas do material, que geram uma carga superficial denominada carga ligada [8].

Todo material isolante apresenta um valor limite de tensão que suporta por unidade de comprimento, também chamado de tensão de ruptura ou de isolamento. Ao ultrapassar este valor de tensão, o material isolante passa a conduzir corrente, tornando-se assim um condutor. A essa propriedade damos o nome de rigidez dielétrica.

O campo elétrico ao qual o dielétrico é submetido, apresenta um comportamento diferente de acordo com o tipo de material. Essa interação do campo elétrico com o meio, ou ainda, a capacidade de um material se polarizar em função de um campo elétrico é denominado permissividade elétrica [8] [9].

A equação 1 descreve a relação entre a permissividade elétrica específica de um material (ϵ), o fator de proporcionalidade (φ) e a permissividade do vácuo (ϵ_0).

$$\epsilon = \varphi \epsilon_0 \quad (1)$$

2.2 Capacitores e capacitância

Quando condutores possuem carga elétrica, apresentam ao seu redor um campo elétrico. Ao aproxima-los a uma distância d , o campo elétrico será orientado perpendicularmente entre eles, como mostra a Figura 1, caracterizando assim uma montagem denominada capacitor.

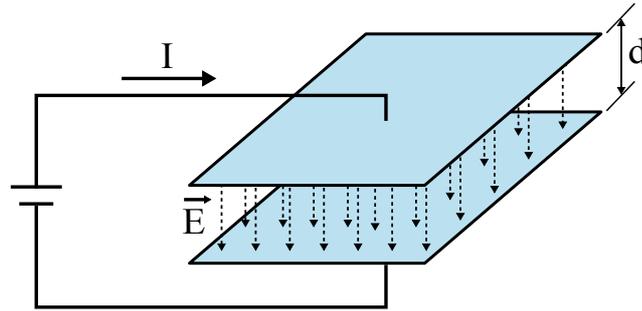


Figura 1 - Campo elétrico

Fonte: Autor

Capacitores são dispositivos que armazenam cargas elétricas e energia potencial elétrica. São constituídos de duas placas condutoras com um material dielétrico entre elas, como mostra a Figura 2.

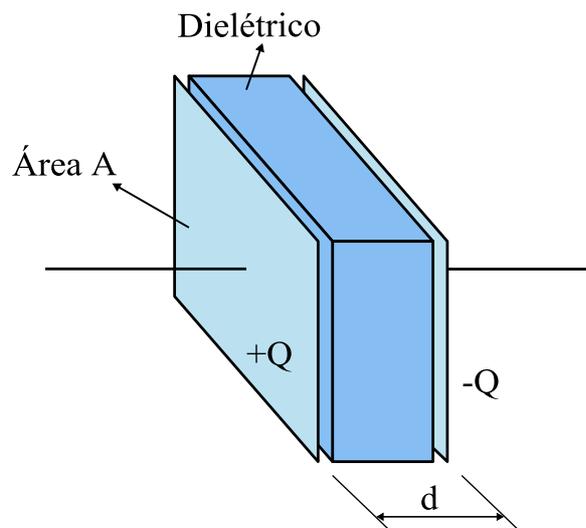


Figura 2 - Capacitor de placas paralelas

Fonte: Autor

O campo gerado por uma placa infinita e carregada uniformemente pode ser calculado pela lei de Gauss, como mostra a equação 2. Onde Q é a carga elétrica, A é a área da placa e ϵ_0 é a permissividade do vácuo.

$$|\vec{E}| = \frac{Q}{2 \cdot A \cdot \epsilon_0} \quad (2)$$

O campo formado é perpendicular à placa e vai da placa positiva para a negativa. Como o capacitor é formado por duas placas com quantidade de cargas iguais, porém com sinais opostos, ou seja, uma placa está com carga $+Q$ e a outra com $-Q$ o campo gerado entre as placas se somam gerando um campo elétrico total [10] [11], resultando na equação 3.

$$|\vec{E}|_0 = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0} \quad (3)$$

A tensão entre as placas é dada pela equação 4.

$$V = |\vec{E}|_0 \cdot d = \frac{Q \cdot d}{A \cdot \epsilon_0} \quad (4)$$

A capacidade que um capacitor tem de armazenar mais ou menos cargas por unidade de tensão é denominada capacitância [11], e definida através da equação 5. Onde C é a capacitância (F) e V é a tensão (V).

$$C = \frac{Q}{V} \quad (5)$$

No caso de capacitores de placas paralelas tendo o vácuo como dielétrico, a capacitância é definida pela equação 6.

$$C_0 = \frac{A \cdot \epsilon_0}{d} \quad (6)$$

A capacitância do vácuo independe do potencial e da carga total, pois sua razão é constante. Segundo a lei de Gauss a intensidade do campo elétrico ou fluxo elétrico aumenta se a densidade de carga aumentar, assim como a diferença de potencial. A capacitância depende apenas das dimensões físicas das placas e da permissividade do dielétrico. Podemos escrever que a capacitância (C) é diretamente proporcional à permissividade do vácuo (ϵ_0), à constante dielétrica relativa (ϵ_r) e à área das placas (A) e inversamente proporcional à distância entre as placas do capacitor (d), como mostra a equação 7 [9] [8].

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \quad (7)$$

É possível concluir que quanto maior a área das placas, mais cargas serão acumuladas em uma dada tensão, portanto, maior será a capacitância. E que quanto maior a constante dielétrica, mais cargas serão acumuladas, conseqüentemente, os valores de capacitância obtidos serão maiores.

2.3 Sensores

Sensor é um dispositivo ou circuito eletrônico capaz de detectar estímulos físicos e transmitir um impulso ou sinal resultante àquela perturbação. O sensor pode ser definido como um transdutor, pois transforma algum tipo de energia em energia elétrica.

2.3.1 Sensor capacitivo táctil

Os sensores capacitivos tácteis, além de perceberem o toque verificando a presença e ausência de material, conseguem verificar também qual o tipo de material, a massa e a área de contato. São constituídos por duas placas condutoras e por uma placa isolante entre elas, como mostra a Figura 3.

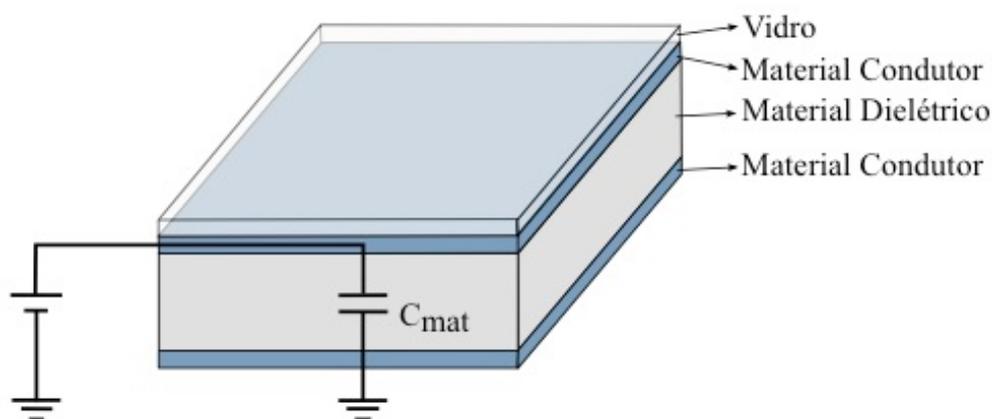


Figura 3 - Sensor capacitivo táctil

Fonte: Autor

O toque do dedo neste sensor influencia o campo elétrico existente, formando um novo capacitor em paralelo com o capacitor formado pelas placas condutoras do sensor. A capacitância criada pelo dedo é dos materiais existentes em nossa corrente sanguínea e da água presente em nosso corpo [12]. A existência desses átomos formam capacitores em cada superfície de contato entre o nosso corpo e o sensor. Como nosso corpo possui uma área bem maior que a do sensor, este funciona como terra para o capacitor criado pelo toque do dedo, como mostra a Figura 4.

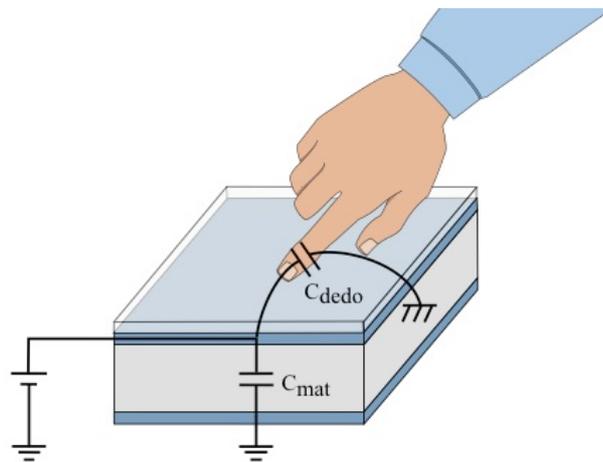


Figura 4 - Capacitância ao tocar o sensor capacitivo tátil

Fonte: Autor

Através do circuito equivalente apresentado na Figura 5, é possível observar que temos um circuito RC.

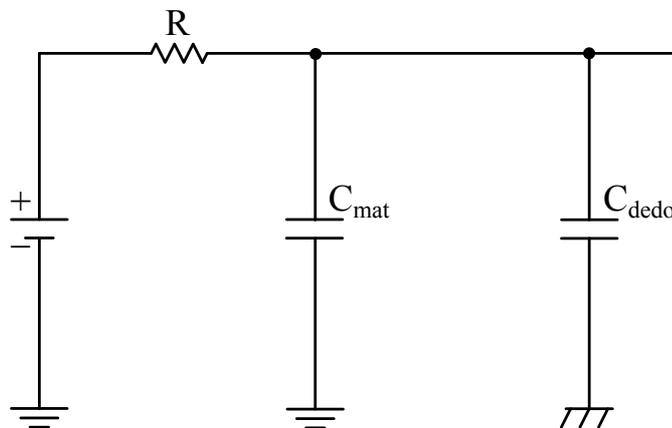


Figura 5 - Circuito equivalente do sensor capacitivo tátil

Fonte: Autor

Ao alimentar este circuito RC, o tempo de carga do capacitor não é instantâneo, este depende dos valores do resistor (R) e das capacitâncias (C_{mat} e C_{dedo}), como mostra a equação 8 [8] [13], que descreve a constante de tempo do circuito.

$$\tau = R \cdot C_{total} \quad (8)$$

Sendo C_{total} a associação das capacitâncias presentes no circuito. (equação 9).

$$C_{total} = C_{mat} + C_{dedo} \quad (9)$$

Ao ligar este circuito à um estímulo tipo degrau com amplitude E, a tensão sobre o capacitor (V_C) cresce até alcançar assintoticamente a tensão da fonte (E) como mostra a equação 10.

$$V_C(t) = E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (10)$$

A tensão no resistor (V_r) decresce, como mostra a equação 11.

$$V_r(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11)$$

Se considerarmos a tensão do gerador e a tensão sobre o capacitor, como sinais digitais, que são considerados em nível alto ou baixo, dependendo se estão abaixo ou acima de um valor de referência, o sinal sobre o capacitor apresentará um atraso no tempo, em relação ao estímulo do gerador. Através das equações 8 e 9 é possível verificar que quanto maior for a resistência e as capacitâncias do circuito, maior será o atraso no sinal. Quando o sensor é tocado a capacitância aumenta, aumentando assim o atraso do sinal, como mostra a Figura 6.

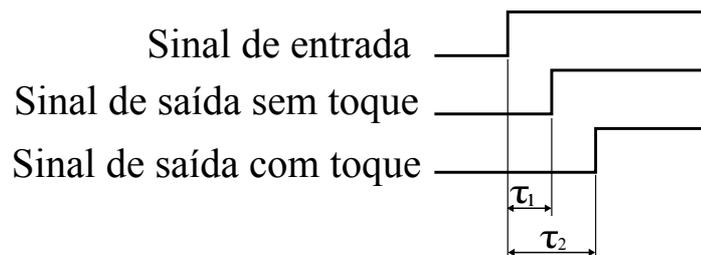


Figura 6 - Sinais de entrada e saída do sensor capacitivo táctil

Fonte: Autor

Com o sensor capacitivo táctil é possível verificar a posição do toque através de uma matriz de sinais independentes. Ao aplicar uma tensão à esta matriz, cria-se uma grade de capacitores. A aproximação do dedo na superfície sensora, muda o campo local eletrostático, variando assim a capacitância em cada ponto da grade, como mostra a Figura 7.

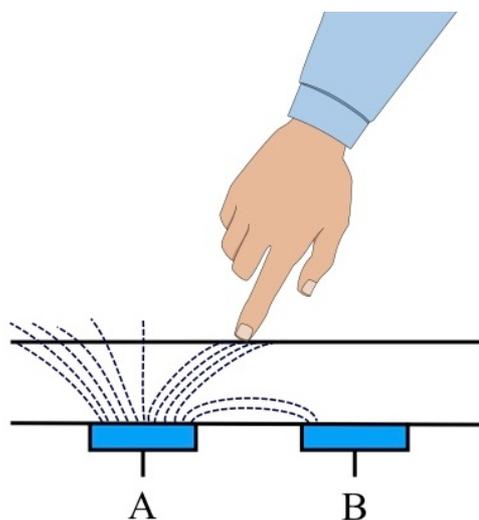


Figura 7 - Variação do campo eletrostático no sensor capacitivo táctil
Fonte: Autor

2.4 FPGA

O FPGA é um tipo de dispositivo lógico programável (*Programmable Logic Device - PLD*). Este tipo de dispositivo pode ser configurado para configurar circuitos desde simples portas lógicas até sistemas digitais complexos [14].

O PLD é um circuito lógico que contém diversos circuitos lógicos e chaves programáveis com funções definidas pelo usuário. Não é baseado em uma arquitetura específica, e sim em circuitos lógicos genéricos capazes de reproduzir arquiteturas já existentes ou dedicadas à aplicação necessária.

O FPGA é um circuito integrado reprogramável e totalmente reconfigurável que pode possuir milhões ou bilhões de portas, permitindo a realização de sistemas complexos em um único chip. Este contém blocos lógicos combinacionais e/ou sequenciais, switches e blocos de I/O (entrada e saída), como mostra a Figura 8. As interconexões programáveis são formadas por linhas que passam nas linhas e colunas entre os blocos lógicos. Alguns FPGAs contam também com blocos de memória, DSP e processador [14] [15] [16].

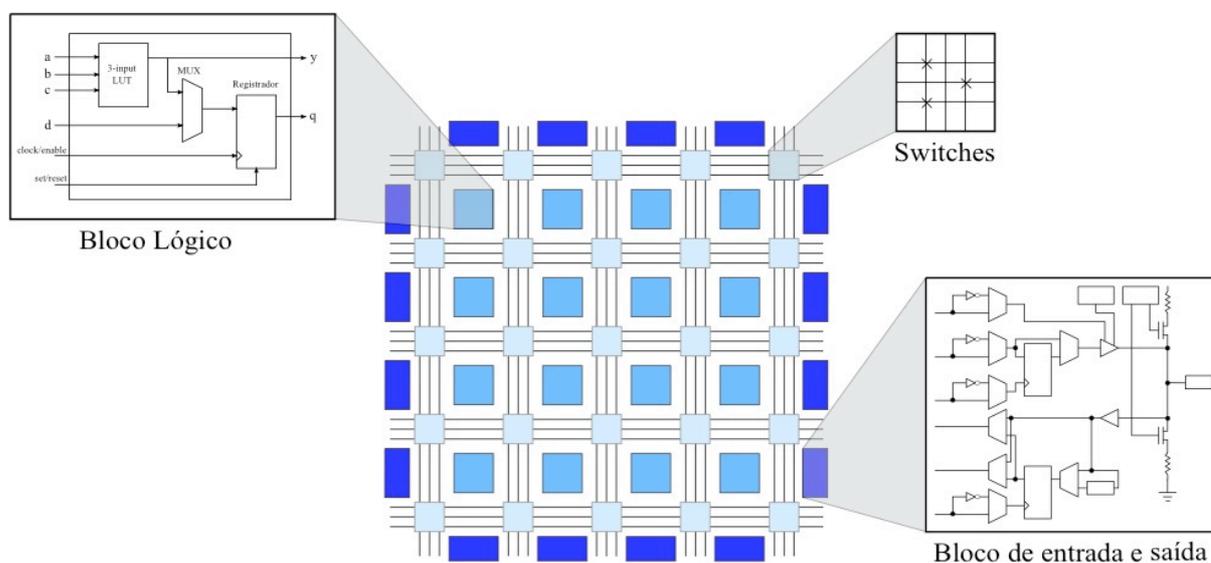


Figura 8 - Estrutura interna de um FPGA

Fonte: Autor

Os blocos lógicos são implementados com tabelas de pesquisa (*Look Up Table – LUT*) para implementação de tabelas verdades complexas, *Flip-Flops* e registros e multiplexadores para seleção dos sinais.

As LUTs possibilitam simplificações booleanas para gerar tabelas verdades mais compactas e com necessidade de menor recursos computacionais, podendo assumir virtualmente diversos tamanhos. Uma LUT com n entradas pode ser programada como uma tabela verdade com n variáveis, com função de chaveamento [15] [17].

Os blocos de I/O são responsáveis pela interface com o ambiente e podem ser configurados como entrada, saída ou bidirecionais. Possuem registradores internos que podem ser usados para guardar dados que entram ou saem do chip [14].

As switches permitem conectar os blocos lógicos de acordo com a necessidade do projeto [15].

O FPGA é configurado por um arquivo binário, gerado por uma ferramenta de síntese a partir de um arquivo em uma linguagem de descrição de *hardware* (*Hardware Description Language – HDL*) ou de um diagrama de blocos. Este arquivo binário contém as informações das *switches* que serão fechadas e as funções dos blocos lógicos.

O VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language – Linguagem de descrição de Hardware de circuitos integrados de altíssima velocidade*) é uma linguagem padronizada pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (*Institute of*

Electrical and Electronic Engineers – IEEE) que oferece a possibilidade de descrever o *hardware*, facilitando assim a validação em termos de funcionamento e tempos de atraso dos componentes antes da prototipação do sistema [18] [19].

Uma das vantagens do FPGA sobre os circuitos integrados ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) é que suas funções são definidas pelos usuários e não pelo fabricante do circuito integrado, sem contar que as soluções em FPGA tem o custo e tempo de desenvolvimento de projeto bem inferiores se comparado a projetos personalizados em ASIC [17] além da facilidade de expansão e de recursos de verificação e teste do projeto antes da implementação [7].

3 CONCEITOS BÁSICOS DA ÁREA TÊXTIL

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos básicos da área têxtil fundamentais para entender as características do tecido sensor, pois estas influenciam nos aspectos ligados ao conforto do tecido.

3.1 Processo produtivo têxtil

A indústria têxtil consiste basicamente na produção de fibras, fiação, tecelagem, malharia, beneficiamento/acabamento e confecção [20], como mostra a Figura 9.

A fiação é responsável por transformar a fibra, seja ela natural, sintética ou artificial, em fio têxtil.

A tecelagem é responsável por fabricar o tecido plano.

A malharia é responsável por fabricar o tecido de malha.

O beneficiamento é responsável pelos processos de preparação, como o alvejamento e a desengomagem, tingimento, acabamento e estamparia do tecido.

A confecção é responsável pela fabricação de vestuário, acessórios, artigos para o lar, artigos técnicos, hospitalares e outros, utilizando o tecido mais adequado de acordo com características como a funcionalidade, estética e resistência.

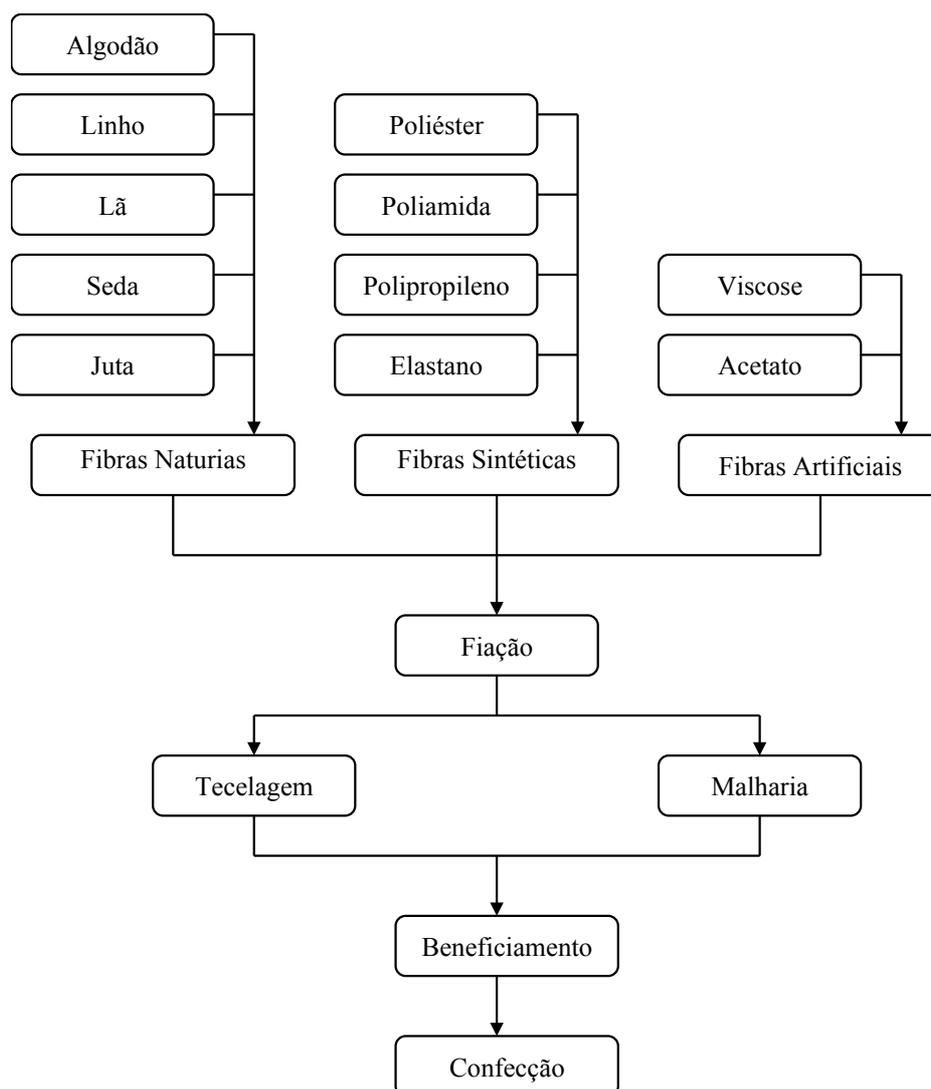


Figura 9 - A Cadeia Têxtil
Fonte: [20]

3.2 Fibras têxteis

Fibras têxteis ou filamentos têxteis são materiais naturais, artificiais ou sintéticos, que devido à elevada relação entre seu comprimento e diâmetro, e às características de flexibilidade, suavidade, resistência, tenacidade, finura e elasticidade estão aptas as aplicações têxteis [21].

A indústria têxtil utiliza diversos tipos de fibras como matéria prima. Algumas dessas fibras são conhecidas e usadas anos antes das civilizações até os dias atuais [22]. As fibras podem ser naturais como o algodão, a seda, o linho, a lã e a juta, artificiais como a viscose e o acetato e sintéticas como a poliamida, o poliéster, o elastano e o polipropileno [20].

3.2.1 Algodão

O algodão é uma fibra têxtil natural vegetal, que cresce nas sementes de diversos tipos de algodoeiro. Esta fibra é bastante utilizada na área têxtil, representando aproximadamente 50% da produção mundial anual de fibras [23]. Não se sabe ao certo sua origem, mas há indícios que tenha sido no Egito no ano 12.000 a.C. [24].

A fibra de algodão é hidrófila, ou seja, têm boa absorção de água. Em um ambiente com 65% de umidade relativa e 21°C a absorção do algodão é 8,5%, com 95% de umidade relativa, 15% de absorção, e com 100% de umidade relativa, 25 a 27% de absorção [25]. Como sua absorção de umidade é muito alta, o algodão é bastante utilizado em panos para enxugar louças e na produção de tecidos laváveis, como malharia para roupas masculinas e femininas, roupa de cama e mesa e tecidos em geral [26]. Por conta deste elevado grau de absorção de umidade, a fibra de algodão não deve ser usado como isolante elétrico, pois possibilita a geração de eletricidade estática, porém em baixas umidades este acúmulo de cargas diminui [24].

3.2.2 Poliéster

O poliéster é uma fibra artificial sintética, composto por 85% de um éster do álcool dihidrico e do ácido tereftálico [24] [27].

A fibra de poliéster é hidrofóbica, possuindo uma baixa absorção de umidade. Mesmo em um ambiente com 95-100 % de humidade relativa sua absorção é menor que 1%. Este é um material bastante usado como dielétrico, especialmente em capacitores, pois possui alta resistividade, inclusive em altas temperaturas [24] [27].

O poliéster é usado como material de enchimento em colchas e sacos de dormir, além de roupas masculinas e femininas, de gravatas, mantas, cortinas, roupas no geral.

3.3 Fiação

A fiação consiste em transformar a fibra em fio têxtil, por meio de processos onde as fibras são abertas, limpas, orientadas na mesma direção, paralelizadas e torcidas [28].

O fio é um conjunto de fibras entrelaçadas que formam uma linha contínua, contendo ao longo de seu comprimento diâmetros irregulares. É caracterizado por seu diâmetro, peso e regularidade, se apresentando em pequena espessura e grande comprimento [24].

As principais características dos fios são:

Pureza: As fibras possuem impurezas, no caso do algodão, causadas por partículas da própria planta, que devem ser retiradas no processo de limpeza, quanto maior a pureza da fibra maior será a qualidade do fio [28] [29] [26].

Resistência: Capacidade do fio em resistir à esforços no processo de produção do tecido [28] [29].

Regularidade: É a uniformidade do fio, está diretamente ligada a qualidade do fio [28].

Flexibilidade: A capacidade do fio ser torcido e flexionado sem perder suas características [28].

Torção: Tem relação com a resistência do fio, tem finalidade de impedir que as fibras se deslizem sobre as outras [28] [30].

Título: Relação entre massa e comprimento do fio. Na titulação indireta o título é inversamente proporcional ao diâmetro do fio.

Na fiação de algodão o predominante é a titulação indireta através do sistema inglês (Ne). É o número de meadas de 768 m necessárias para se obter a massa de 454 g [24] [28] [30].

3.4 Tecido

O tecido é um material constituído por fios de fibra natural, sintética ou artificial. De acordo com sua estrutura pode ser não tecido, malha e plano, como mostra a Figura 10.

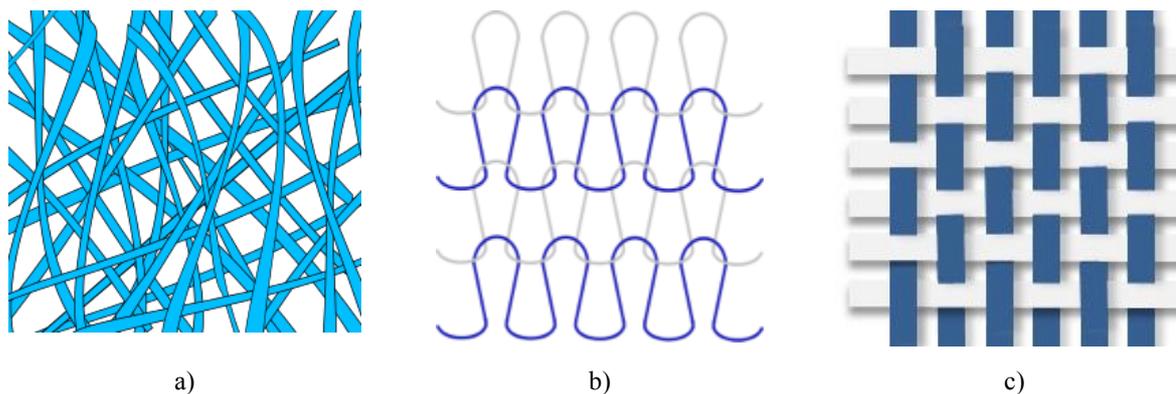


Figura 10 - Tecidos a) Tecido Não-tecido, b) Tecido de Malha, c) Tecido Plano

Fonte: Autor

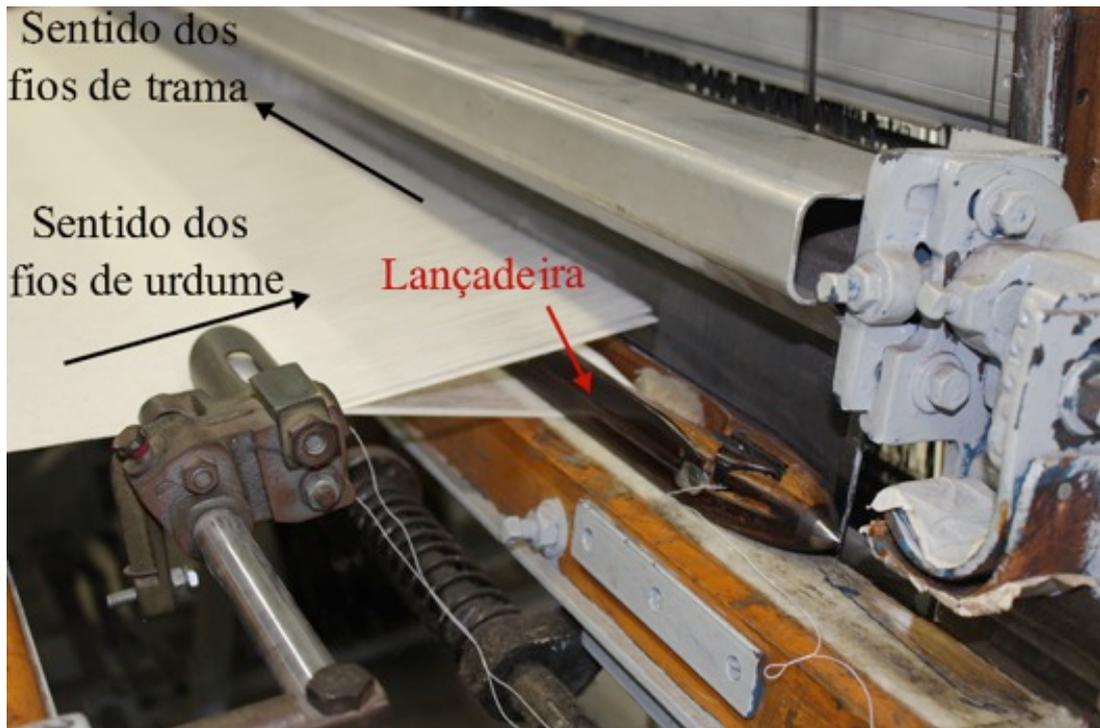
O tecido não-tecido (TNT) segundo a NBR-13370 é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras, ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processos: mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) ou combinação destes [28] [30].

O tecido de malha é produzido pelo entrelaçamento e formação contínua de novas laçadas. Ao se formar novas laçadas elas são puxadas por laçadas formadas anteriormente [28] [30].

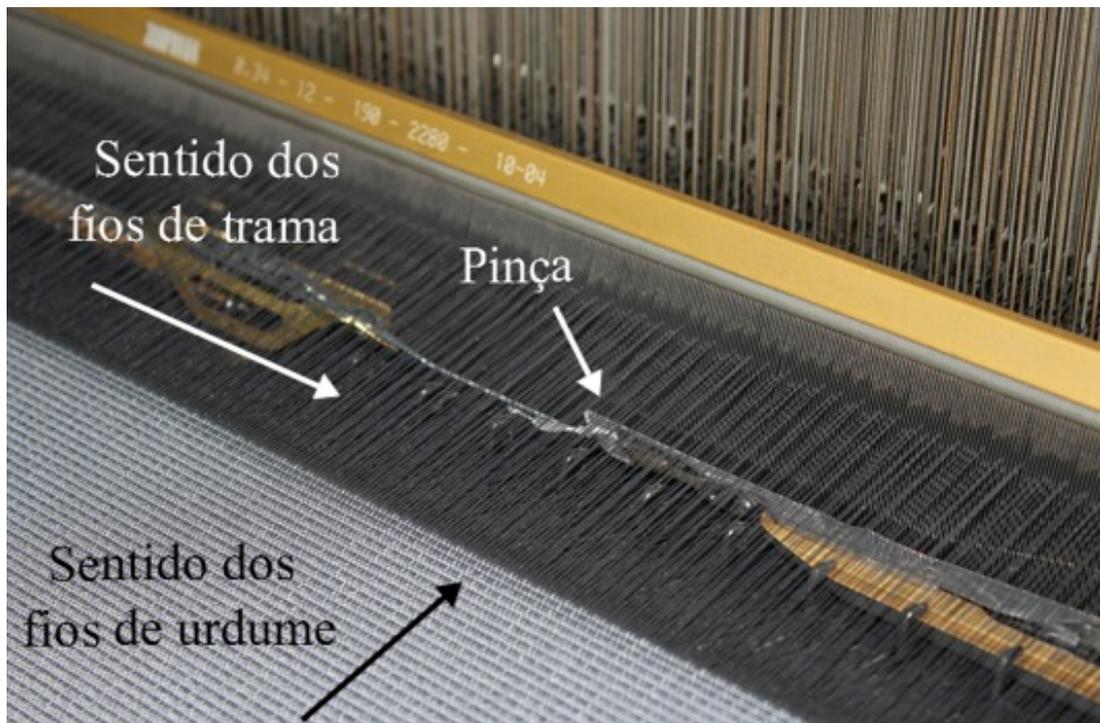
O tecido plano, utilizado neste trabalho, é formado pelo entrelaçamento dos fios de urdume e os fios da trama, formando entre si um ângulo de 90° . Este tecido é mais apropriado para vestuário de proteção, como por exemplo, uniformes profissionais.

Os fios de urdume são colocados no tear, na vertical, na direção do comprimento do tecido, são retorcidos ou engomados, pois precisam de maior resistência por sofrerem esforços maiores no processo de fabricação do tecido [28] [30].

Os fios da trama são aqueles fixados à lançadeira ou pinça e que passam de um lado ao outro entre os fios de urdume, na horizontal, na direção da largura do tecido [28] [30], a Figura 11a apresenta um tear com lançadeira e a Figura 11b um tear com pinça.



a)



b)

Figura 11 - Teares a) Tear de lançadeira b) Tear de pinça

Fonte: Autor

Para identificar um tecido plano temos os seguintes parâmetros:

- Matéria-prima do fio de urdume e do fio de trama;
- Número de fios de urdume e dos fios de trama;
- Título do fio de urdume e do fio de trama;
- Ligamento do tecido.

3.4.1 Ligamentos do tecido plano

Ligamento é a maneira pela qual os fios da trama são entrelaçados aos fios de urdume dando origem ao tecido. Cada tecido tem um ligamento característico, dando a este, diferentes aspectos visuais, flexibilidade, resistência, caimento, toque e outros.

Existem diversas possibilidades de ligamento ou desenhos, porém todas elas derivam dos ligamentos fundamentais [31]. A Figura 12 mostra alguns tipos de ligamentos dos tecidos planos.

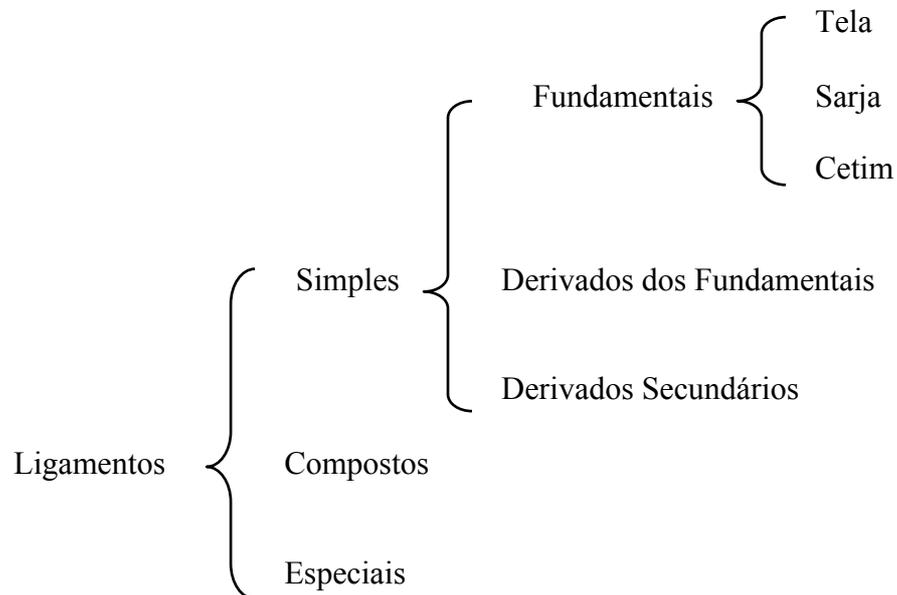


Figura 12 - Ligamentos dos Tecidos Planos

Fonte: Autor

3.4.1.1 Ligamentos fundamentais

3.4.1.1.1 Tela

Também conhecido como *tafetá*, é o ligamento mais simples e mais utilizado na produção de tecidos de aspecto liso, sem a marcação definida da direção e com as duas faces iguais.

Normalmente com este ligamento são produzidos tecidos mais leves e rígidos que os demais, pois contém a maior quantidade de pontos de ligamento, fazendo com que se torne um tecido com bastante firmeza [30].

A representação gráfica do ligamento é feita por meio de papel quadriculado, onde cada quadrado representa um ponto de ligação. O quadrado preenchido representa o fio de urdume passando por cima do fio da trama e o quadrado vazio, o fio de trama passando por cima do fio de urdume.

Ponto de ligação ou ligamento é o ponto de encontro entre os fios de urdume e de trama. Quando o fio de urdume passa por cima do fio da trama é um ponto tomado, quando acontece o contrário é um ponto deixado [30] [31] [32].

A Figura 13 apresenta uma tela e sua respectiva representação gráfica.

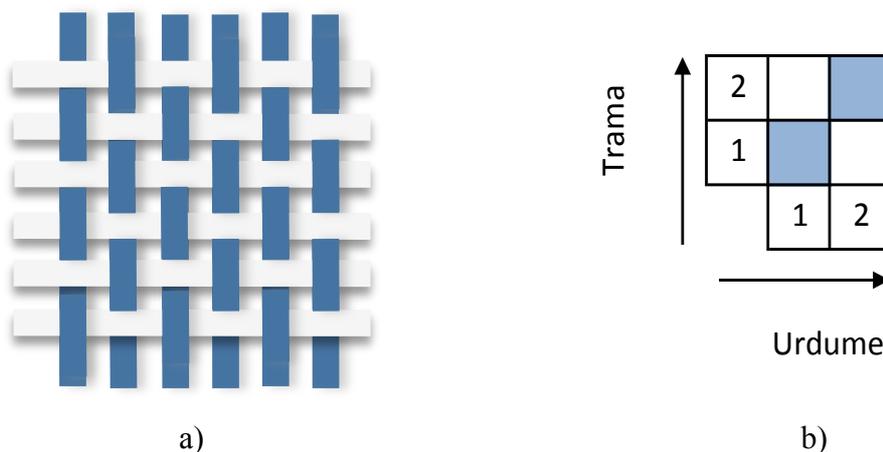


Figura 13 - Tela a) Representação do tecido, b) Representação gráfica

Fonte: Autor

3.4.1.1.2 Sarja

Este tipo de ligamento possui menos pontos de ligação, maior flexibilidade e maior peso que a tela. A flexibilidade está diretamente ligada ao número da sarja, quanto maior o número da sarja, ou seja, quanto mais pontos flutuantes o tecido tiver, mais flexibilidade ele terá [30].

A sarja é considerada um tecido médio e com indicação de uso em calças, jaquetas, camisas, saias, roupas infantis e masculinas, entre outras [33].

Os pontos de ligamento formam uma linha na diagonal que pode ser da esquerda para direita chamada de diagonal S (\searrow), ou da direita para esquerda chamada de diagonal Z (\nearrow) [31] [32].

A sarja pode ser leve ou pesada. Sarja leve é quando o tecido é confeccionado com sarja de trama, ou seja, o lado direito do tecido aparece mais fios de trama. Sarja pesada é quando o tecido é confeccionado com efeito em sarja de urdume, ou seja, o lado direito do tecido aparece mais fios de urdume [30].

A Figura 14 apresenta uma sarja de trama (sarja leve) com diagonal Z e a Figura 15 uma sarja de urdume (sarja pesada) com diagonal S, ambas, com as representações do tecido e suas representações gráficas.

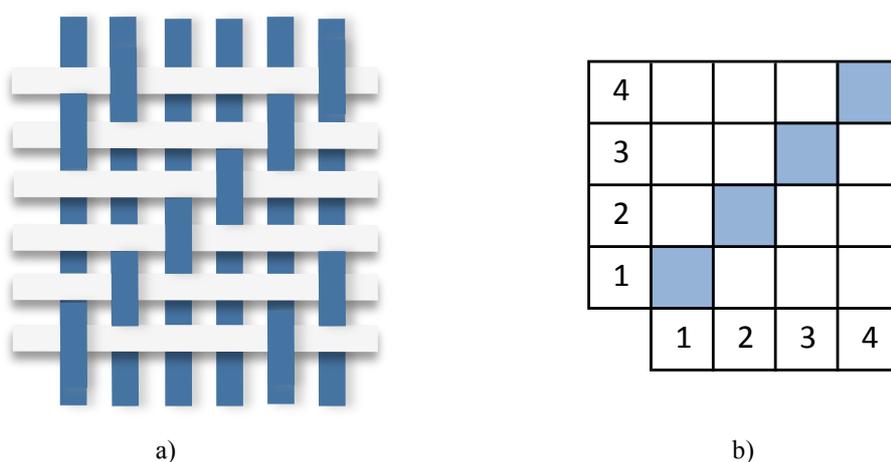


Figura 14 - Sarja de trama 1 x 3 com diagonal Z a) Representação do tecido, b) Representação gráfica

Fonte: Autor

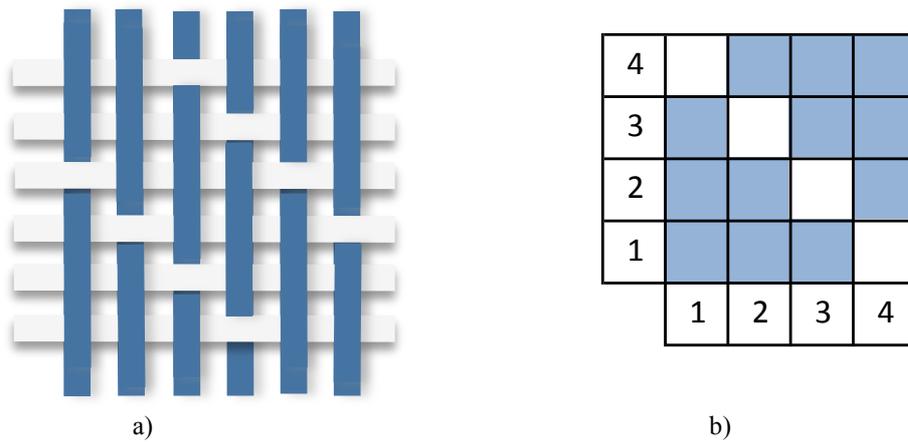


Figura 15 - Sarja de urdume 3 x 1 com diagonal S a) Representação do tecido, b) Representação gráfica
Fonte: Autor

3.4.1.1.3 Cetim

No cetim regular um ponto de ligamento nunca estará encostado em outro, tendo assim um distanciamento maior entre os pontos de ligação, por este motivo, este ligamento é menos firme e mais pesado que a tela e a sarja, porém com uma superfície bem mais lisa [30].

Assim como a sarja, o cetim pode ter efeito de trama ou o de urdume como seu lado direito e a diagonal S ou Z.

A Figura 16 apresenta um cetim de trama com diagonal Z e sua respectiva representação gráfica.

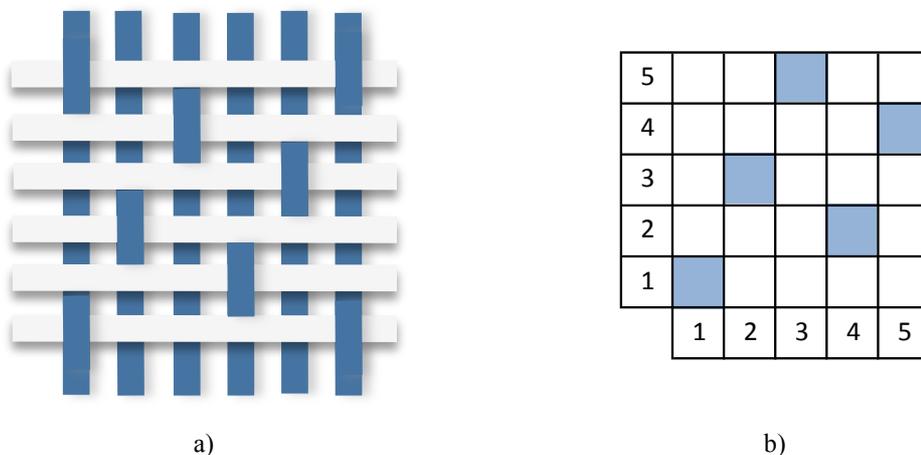


Figura 16 - Cetim de trama com diagonal Z a) Representação do tecido, b) Representação gráfica
Fonte: Autor

3.5 Conforto

O conforto está diretamente ligado a tudo que constitui o bem-estar, ou seja, um estado de harmonia física e mental com o meio ambiente, baseado na ausência de qualquer sensação de incômodo e desconforto. As pessoas estão confortáveis em suas roupas quando elas não têm consciência dessas peças tanto psicologicamente quanto fisiologicamente. A consciência das roupas geralmente leva a sensação de desconforto (muito quente, muito pesada, muito constrangedora, muito molhada) [25] [34].

Em geral um tecido é considerado termicamente confortável quando não há a necessidade da pessoa tirar ou colocar roupas adicionais para sentir mais frio ou mais calor. No caso da umidade, quando ela não é detectada o tecido é considerado confortável, caso contrário é desconfortável [25].

O conforto, proporcionado por artigos têxteis, pode ser definido em três aspectos [35]:

Aspecto físico: está ligado às sensações ocasionadas pelo contato da pele com o tecido e aos ajustes da confecção ao corpo e seus movimentos.

Aspecto fisiológico: está ligado à interferência nos mecanismos de metabolismo do corpo, especialmente o termorregulador, causadas pelo vestuário.

Aspecto psicológico: está ligado a fatores relacionados à estética, moda, aparência, meio social e cultural.

Neste trabalho são explorados os aspectos psicológico e fisiológico através dos ensaios de caimento e transporte de umidade, pois são os aspectos mais relevantes na utilização do vestuário.

3.5.1 Caimento

O caimento, também definido como queda, está ligado à consistência, flexibilidade e maleabilidade que o tecido ou peça confeccionada apresenta. Estas características fazem com que o tecido caia e se apoie sobre outros corpos [33].

Além do tipo da fibra, características do fio, ligamento e peso do tecido, o caimento depende também da modelagem da peça na confecção do vestuário.

3.5.2 Transporte de umidade

O transporte de umidade no tecido é um aspecto fisiológico bastante importante quando falamos em conforto, pois em dias quentes e ao praticar esportes, o corpo transpira para manter a temperatura. Tecidos com bom transporte de umidade facilitam a eliminação do suor do corpo, trazendo uma sensação de conforto, pois têm a capacidade de absorver a umidade proveniente da pele e transportá-la para a superfície externa, liberando-a para o meio ambiente [36].

Podemos analisar o transporte de umidade de um tecido por diversos métodos, porém neste trabalho é abordado o ensaio por capilaridade.

Ao colocar um tubo de vidro (capilar) em um recipiente com água, esta sobe pelo tubo até atingir uma determinada altura. Esta altura depende da espessura do tubo, da viscosidade e temperatura do líquido. No tecido, a água sobe verticalmente pelo fio até atingir determinada altura, esta depende do tipo de fibra utilizada e dos espaços vazios entre os fios [34], ou seja, além de ser alterada por conta do tipo de fibra a capilaridade depende também do ligamento do tecido (tela, sarja, cetim...). Fibras que possuem maior absorção possuem menor capilaridade e vice e versa. O algodão, por exemplo, possui uma alta capacidade de absorção de umidade [26], enquanto que o poliéster possui uma absorção de umidade entre 0,3 e 0,5% [24] [27] isso faz com que a capilaridade no algodão seja menor que no poliéster.

4 PROPOSTA DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS TÁCTEIS EM TECIDO COM PROTÓTIPO EM FPGA

Neste capítulo é apresentada a proposta de sistema de aquisição de sinais tácteis em tecido com protótipo em FPGA. Este é apresentado em duas etapas, como mostra a Figura 17.

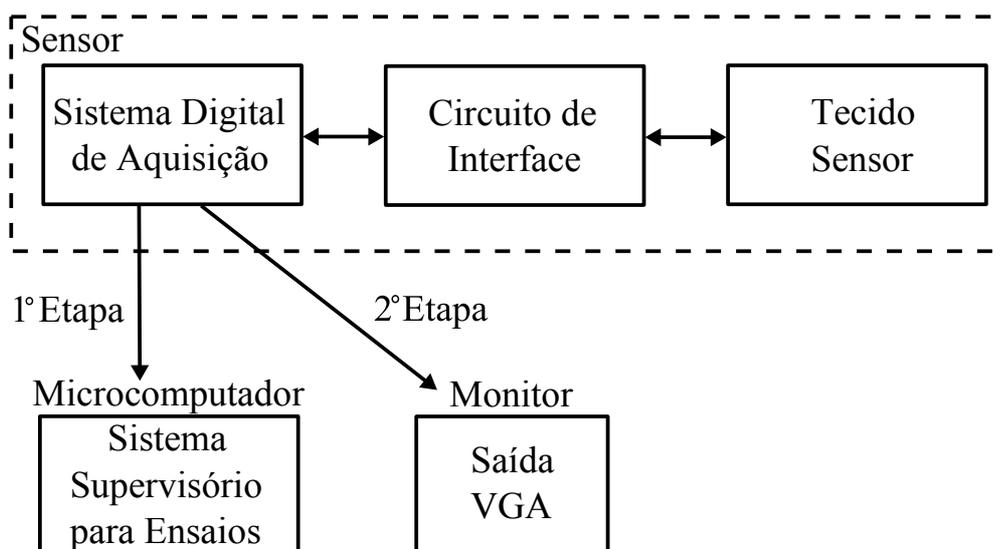


Figura 17 - Diagrama em blocos do sensor táctil

Fonte: Autor

A primeira etapa consiste em estimular apenas uma linha do tecido sensor e apresentar os resultados dos atrasos do sinal em um sistema supervisório. A segunda etapa consiste em montar uma matriz de localização através do estímulo de múltiplas linhas e colunas e apresentar a posição onde o tecido sensor foi tocado em um monitor através da saída VGA.

4.1 Sistema digital de aquisição

É utilizada a placa de desenvolvimento DE2-70 contendo o FPGA EP2C70F896C6N da Altera, o VHDL como linguagem de descrição de *hardware* e o *software* Quartus II v12.1 da Altera [7].

O sistema digital de aquisição é desenvolvido em duas etapas, correspondentes às etapas, da Figura 17. A Figura 18 apresenta o diagrama em blocos da primeira etapa, cada bloco apresenta as seguintes funções:

Altpll0: o PLL (*Phase-Locked Loop*) é o bloco responsável pelo aumento da frequência que é utilizada no bloco **tecido**. Ele recebe uma frequência de 50 MHz, gerada por um oscilador disponível na placa de desenvolvimento, e multiplica por 4 (quatro), tendo na saída 200 MHz. É necessário que essa frequência seja alta, pois a contagem do atraso do sinal é feita a partir dos pulsos desta. Quanto maior esta frequência, menor será o erro de quantização. Com 200 MHz o período mínimo de contagem de tempo é de 5 ns (equivalente ao nível de quantização).

Tecido: é o bloco responsável por fazer a medida do tempo de atraso do sinal que retorna do tecido sensor.

Este bloco possui um sinal chamado **estimula**, com frequência de 20 kHz, que é constantemente enviado ao tecido sensor e um sinal **lê** que retorna do tecido sensor. A função deste bloco é contar o tempo de atraso entre estes dois sinais, sempre que o sinal **estimula** estiver em nível lógico 1 e o sinal **lê** estiver em nível lógico 0, o **tecido** conta quantos pulsos de *clock* (200 MHz) ocorre neste período, cada pulso de *clock* acrescenta 5ns na contagem do atraso.

Além de enviar o valor do atraso para os blocos **LCD** e **filtro**, este bloco também faz com que os LEDs da placa (LEDG0 a LEDG7 e LEDR0 a LEDR17) se acendam de acordo com o atraso do sinal.

LCD: este bloco recebe os valores do atraso do sinal enviados pelo bloco **tecido** e envia para o LCD da placa de desenvolvimento.

Filtro: este bloco tem a função de um filtro de média móvel com o objetivo de melhorar a relação sinal ruído (SNR). Este é o filtro com implementação mais simples e o mais comum no processamento de sinais digitais, podendo eliminar o ruído com o ajuste da janela de amostragem, quanto maior o tamanho da janela, menor será a frequência de corte.

O filtro de média móvel utiliza uma janela de j amostras para calcular a sequência de dados a cada instante de tempo, como mostra a equação 12 [37].

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x [i + j] \quad (12)$$

Onde x é o sinal de entrada que vem do bloco **tecido**, y é o sinal de saída que vai para o bloco **transmite**, i e j são, respectivamente, o início e o fim dos dados do sinal e M é o número de pontos utilizados na média móvel, no caso deste trabalho é utilizado um valor de 100 para garantir a filtragem dos ruídos do sinal de entrada.

Transmite: este bloco recebe os valores de atraso já filtrados enviados pelo bloco **filtro** e envia, através da serial, os dados para o sistema supervisorio.

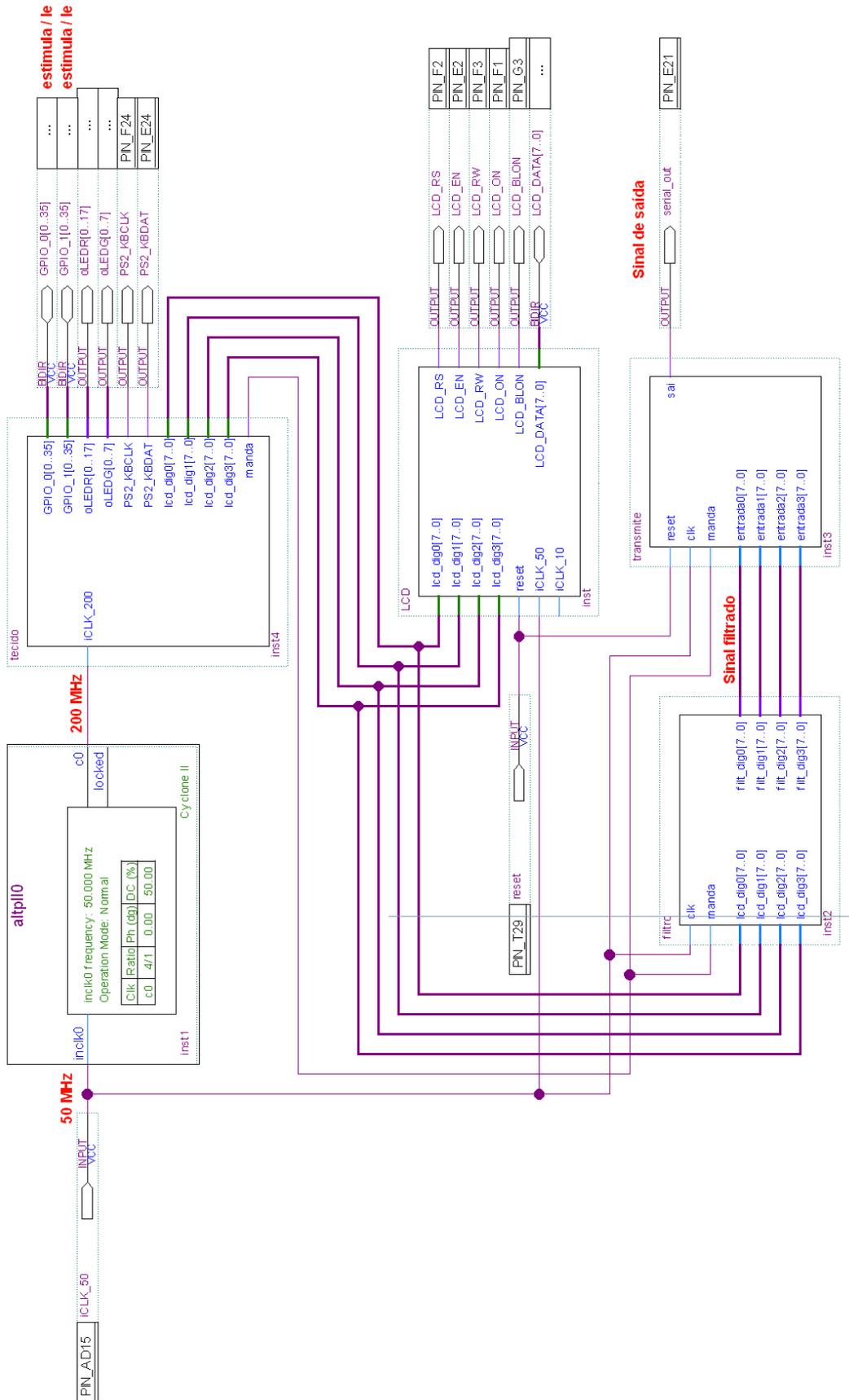


Figura 18 - Diagrama de bloco da primeira etapa

Fonte: Autor

A Figura 19 apresenta o diagrama em blocos da segunda etapa, cada bloco apresenta as seguintes funções:

Altp110: este bloco possui a mesma função que o Altp110 utilizado na primeira etapa deste trabalho. Envia para o bloco **matriz**, um sinal com frequência de 200 MHz que é obtido através da multiplicação da frequência de entrada (50 MHz) por 4.

Matriz: similar ao bloco **tecido** da primeira etapa, este apresenta dois sinais identificados como **estimula** e **lê**, com as mesmas características funcionais da etapa anterior, mas com o diferencial de estimular 4 (quatro) linhas e 4 (quatro) colunas ao invés de apenas uma linha. Os valores resultantes são enviados para o bloco **filtro**.

Filtro: apresenta a mesma função do bloco **filtro** utilizado na primeira etapa, porém agora acrescido de 8 (oito) entradas, vindas do bloco **matriz**, e que, por consequência, geram 8 (oito) saídas que serão enviadas ao bloco **zero**.

Zero: este bloco tem a função de ajustar as condições iniciais do sistema, pois os atrasos do sinal dependem de diversos fatores, como por exemplo a temperatura ambiente. Desta maneira, independentemente do atraso inicial das linhas e colunas do tecido, o sistema apresentará apenas o atraso ocasionado pelo toque no tecido sensor. Este recebe os valores dos atrasos dos sinais das linhas e colunas do bloco **filtro**, zerando-os ao pressionar um botão de *reset* e envia estes dados para o bloco **coordenadas**.

Coordenadas: este bloco é responsável por gerar as coordenadas do ponto que está sendo tocado no tecido sensor. Este recebe os sinais vindos do bloco **zero** e faz o cruzamento da linha e da coluna com maiores valores de atraso, o que indica o toque no tecido. Após identificar o ponto tocado, ele envia as coordenadas deste ponto ao bloco **vga**.

VGA: este bloco interpreta os sinais recebidos do bloco **coordenadas** e os representa em uma interface visual por meio da saída de vídeo no padrão VGA. Sendo assim quando o tecido sensor é tocado, a posição do toque sobre o tecido é representada em um monitor.

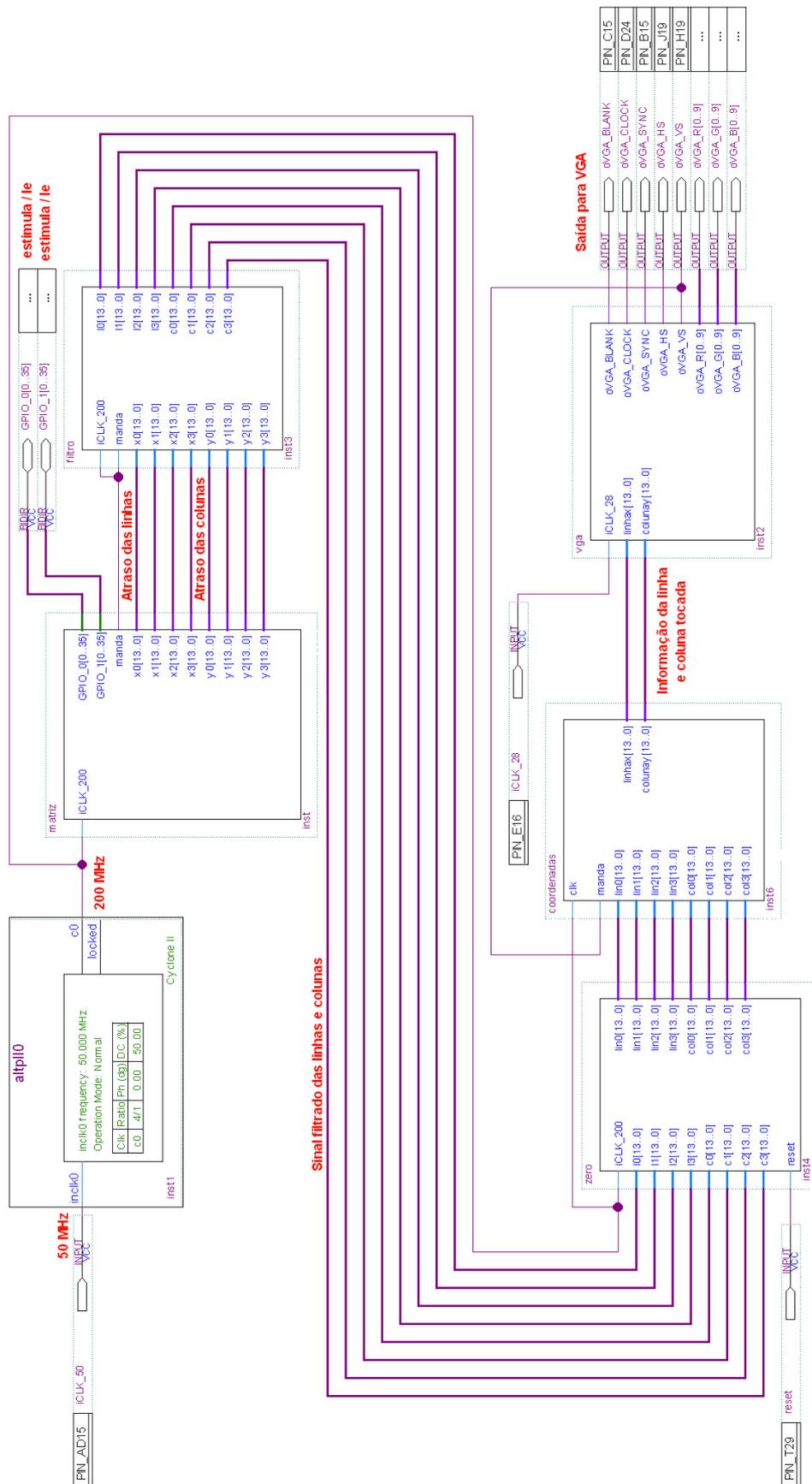


Figura 19 - Diagrama de bloco da segunda Etapa

Fonte: Autor

4.2 Circuito de interface

O circuito de interface é composto por uma placa de circuito impresso com um resistor de alta resistência ($47\text{ K}\Omega$), para garantir uma impedância maior que a impedância da entrada do FPGA, garantindo assim que a interferência seja apenas do resistor do circuito de interface. Este resistor é soldado na entrada de cada filamento de cobre do tecido sensor, tanto no sentido da trama quanto no sentido do urdume, formando assim um circuito RC, como apresentado na Figura 20.

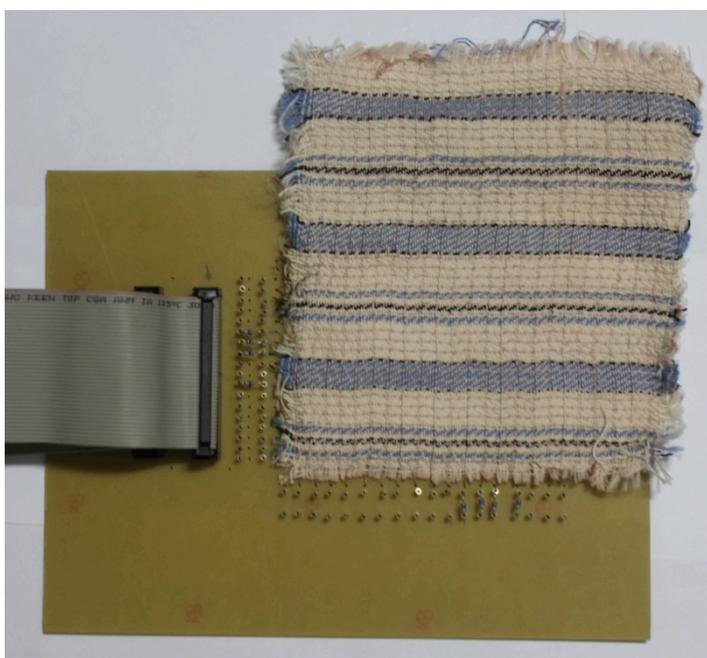


Figura 20 - Circuito de interface e tecido sensor

Fonte: Autor

O FPGA envia o sinal **estimula** (sinal degrau de tensão) para a entrada do circuito de interface e recebe de volta, da saída do resistor, o sinal **lê** (sinal degrau atrasado no tempo), como mostra a Figura 21.

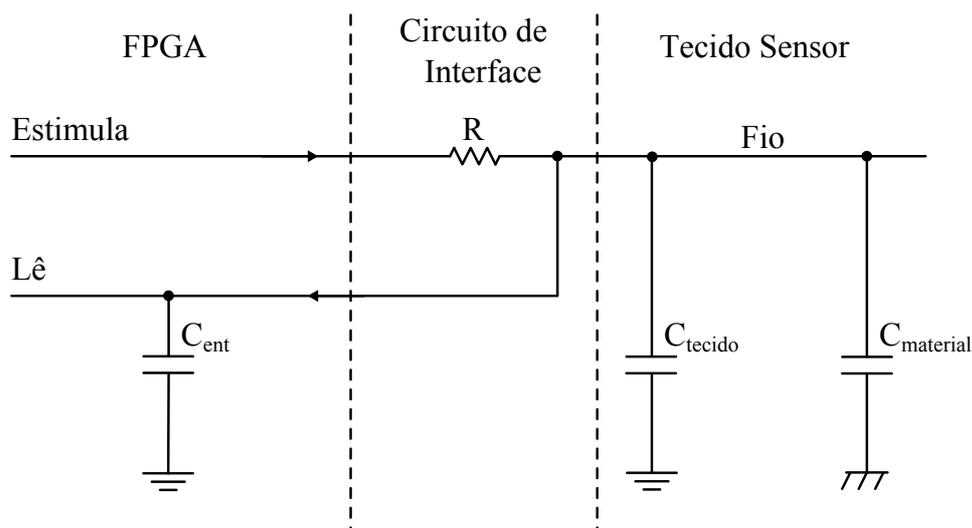


Figura 21 - Circuito equivalente do Sensor Tátil

Fonte: Autor

Como apresentado na equação 8, a alteração da capacitância total do circuito altera o valor do atraso do sinal. No circuito proposto, o atraso provocado no sinal $\mathbf{lê}$ é uma soma de fatores fixos e variáveis. Os fatores fixos independem do tecido sensor, e os variáveis são diretamente ligados a ele.

Os fatores fixos dependem da capacitância de entrada do FPGA (C_{ent}) e dos atrasos de porta do sistema digital. Os fatores variáveis são o C_{tecido} e o $C_{material}$.

O C_{tecido} é a soma da capacitância própria do fio com a capacitância que há entre a intersecção dos fios de trama e de urdume. Como apresentado na equação 7, ao diminuir a distância entre as placas de um capacitor plano a capacitância aumenta.

O $C_{material}$ é a capacitância que depende da área de contato, da massa e do tipo de material colocado sobre o tecido sensor.

4.3 Tecido sensor

O ligamento escolhido para confecção do tecido sensor é do tipo sarja, pois este é considerado um tecido médio e com indicação de uso em calças, jaquetas, camisas, saias, roupas infantis, masculinas, entre outras [33].

O tecido sensor é do tipo sarja 3x1, tecido com fios de algodão cardado com título de urdume e trama de Ne 20/2 e densidade de urdume de 18 fios/cm e 14 fios/cm de trama. O tecido possui 1 fio de poliéster com filamentos de cobre a cada 5 fios de algodão no sentido

do urdume, resultando uma densidade de 4 fios/cm e 1 fio de poliéster com filamentos de cobre a cada 10 fios de algodão no sentido da trama, resultando uma densidade de 1 fio/cm, como mostra a Figura 22.



Figura 22 - Tecido sensor a) lado direito do tecido, b) avesso do tecido

Fonte: Autor

4.4 Sistema supervisorio para ensaios

O sistema supervisorio é elaborado em Visual Basic. Ele recebe os dados através da comunicação serial com o FPGA do sensor e monta uma planilha contendo o tempo da amostra com o seu respectivo atraso.

No sistema supervisorio é inserido o número da porta serial na qual será conectado o sistema de aquisição, o tempo de amostragem total em segundos e de quanto em quanto tempo o supervisorio gravará as informações enviadas pelo sistema de aquisição. Além dessas informações é necessário inserir o comprimento, peso e material que é colocado sobre o tecido sensor e o valor do resistor contido no circuito de interface. A planilha conterà todas as informações inseridas no supervisorio e os tempos de atraso enviados pelo sistema de aquisição no período determinado.

A janela do supervisorio é apresentada na Figura 23.

The screenshot shows a software window titled "Mestrado" with a configuration interface. The window has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The main area is titled "Configuração" and contains the following fields and buttons:

Porta Serial	Qtd Amostras	Tempo Amostra (seg)
3	30	0,01

Comprimento (mm)	Peso (g)	Material	Resistor (ohms)	Tempo Retorno (ns)
30	100	Cobre	47000	

Qtd Amostragens

0

Buttons:

- Inicia Gravação
- Inicia Comunicacao (Placa Altera)

Figura 23 - Supervisório
Fonte: Autor

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados nos ensaios têxteis e elétricos realizados no tecido sensor.

Os ensaios têxteis são o de caimento e de transporte de umidade, pois além das funções elétricas é importante que o tecido sensor se comporte como um tecido que possa ser utilizado no vestuário, trazendo conforto no aspecto psicológico e fisiológico. Os ensaios elétricos são realizados com materiais condutores e isolantes de tamanhos diferentes e diversas massas sobre o tecido sensor, para assim, verificar a resposta do sistema de aquisição de sinais tácteis.

5.1 Ensaios têxteis

Os ensaios têxteis realizados são o de caimento e de transporte de umidade por capilaridade, estes são os ensaios mais importantes para se verificar o conforto proporcionado por um tecido. Estes são feitos com tela e sarja 3x1 com e sem fio de poliéster com filamentos de cobre.

Os ensaios realizados com os tecidos de mesmo ligamento (sarja com e sem os filamentos de cobre) têm como objetivo comparar e verificar o quanto as características do tecido são alteradas com a inserção dos filamentos de cobre no tecido.

Os ensaios realizados com os tecidos de ligamentos diferentes (sarja e tela) têm como objetivo comparar e verificar que mesmo com a inserção dos filamentos de cobre o tecido sensor ainda pode ser utilizado como um tecido comum, com características próximas a outros ligamentos.

5.1.1 Ensaio de caimento – método laço

Os ensaios de caimento são feitos seguindo a norma japonesa JIS L 1096, *Testing methods for woven and knitted fabrics* [38]. Esta norma indica que sejam feitos ensaios com 5 corpos de prova de 250 x 20 mm no sentido da trama e 5 corpos de prova no sentido do urdume, como mostra a Figura 24. Os corpos de prova devem ser fixadas no aparelho de caimento tipo laço, de maneira a formar um laço com comprimento de 200 mm, como mostra

a Figura 25. Em seguida, após 1 minuto, deve-se medir o comprimento do laço, para isso é considerada a distância entre a parte superior, onde o tecido foi fixado no aparelho, e o ponto mais baixo do laço. O caimento será a média das medidas efetuadas em cada sentido (trama e urdume).

O tecido que apresentar as maiores médias, possui maior caimento. Por conta da estrutura do tecido e das características dos fios de trama e de urdume, em um mesmo tecido pode-se ter alterações entre os dois sentidos.

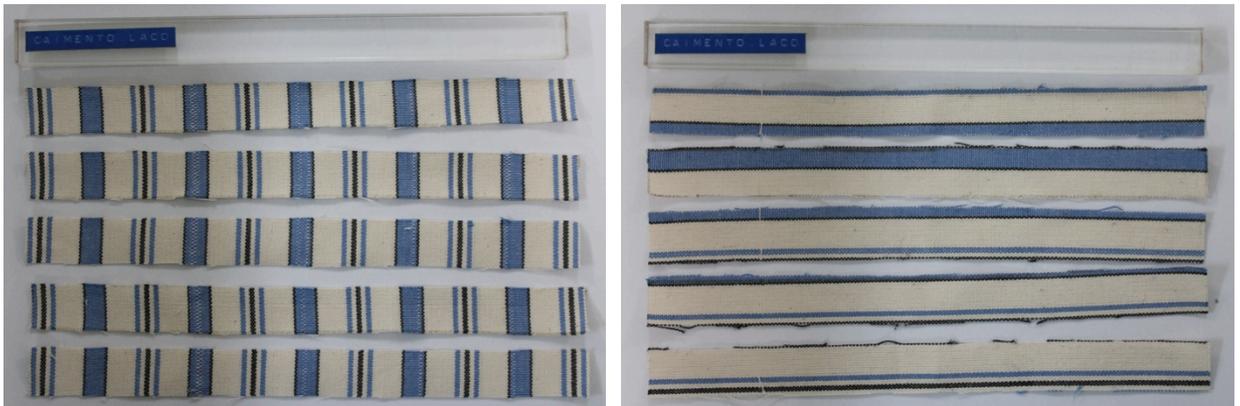


Figura 24 - Corpos de prova do tecido a) no sentido da trama b) no sentido do urdume

Fonte: Autor



Figura 25 - Aparelho de caimento tipo laço

Fonte: Autor

5.1.2 Ensaio de transporte de umidade – método capilaridade

Este ensaio tem como objetivo verificar a capacidade que o tecido tem de transportar líquido em sua estrutura.

Os ensaios de transporte de umidade por capilaridade são feitos seguindo a norma japonesa JIS L 1907:2010, *Testing methods for water absorbency of textiles* [39]. É indicado que sejam feitos ensaios com 5 corpos de prova no sentido da trama e 5 corpos de prova no sentido do urdume. Recomenda-se traçar com a caneta hidrográfica uma linha no sentido do comprimento do corpo de prova e fixa-la verticalmente no aparelho de capilaridade, como mostra a Figura 26. Abaixar a parte móvel do aparelho até que o tecido toque a superfície da água, como mostra a Figura 27. Após 10 minutos deve-se medir o comprimento do tecido que ficou manchado pela caneta hidrográfica. O transporte de umidade por capilaridade é a média das medidas efetuadas em cada sentido (trama e urdume).

O tecido que apresentar as maiores médias, possui maior capilaridade. Assim como no caimento, no mesmo tecido podem-se obter valores diferentes entre os dois sentidos, isso por conta da estrutura do tecido e das características dos fios de trama e de urdume. No caso do tecido sensor, além dessas características, a quantidade de fios de poliéster com filamentos de cobre nos dois sentidos também são diferentes.

Como o transporte de umidade dos fios de algodão e poliéster são diferentes, nestes ensaios são levantados os valores de capilaridade dos dois fios.

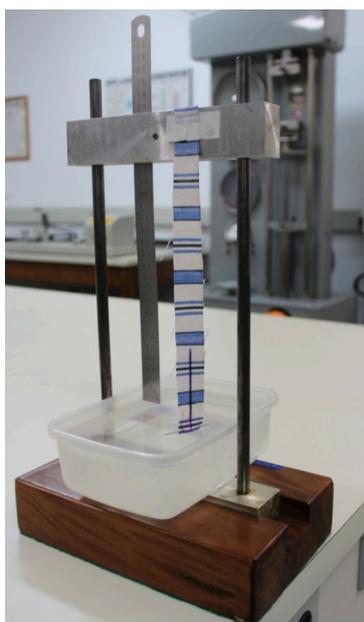


Figura 26 - Aparelho de capilaridade
Fonte: Autor



Figura 27 - Processo de medição
Fonte: Autor

5.2 Ensaios elétricos

Os ensaios elétricos são divididos em duas etapas. Na primeira etapa, com o objetivo de verificar sua resposta, são feitos ensaios estáticos e dinâmicos com o tecido sensor tendo sobre ele diversos tipos de materiais, massas e áreas de contato. Nesta etapa também são feitos ensaios com o tecido sensor úmido, para verificar a influência da umidade sobre este sistema. Na segunda etapa, através do estímulo de diversas linhas e colunas do tecido sensor, é criada uma matriz, na qual é possível verificar o posicionamento correto em que o tecido está sendo tocado, a localização é representada em um monitor através da saída VGA.

Os ensaios estáticos e dinâmicos são feitos estimulando apenas uma linha no sentido do urdume em uma sarja 3x1 com fios de algodão e poliéster com filamentos de cobre.

São utilizadas massas de 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 e 2000 g, um tarugo de madeira com 30 mm de altura e chapas de acrílico, PVC, inox, aço, latão, alumínio e cobre, todos com área de contato de 10 x 10 mm, 20 x 20 mm e 30 x 30 mm. Os materiais utilizados são apresentados na Figura 28.

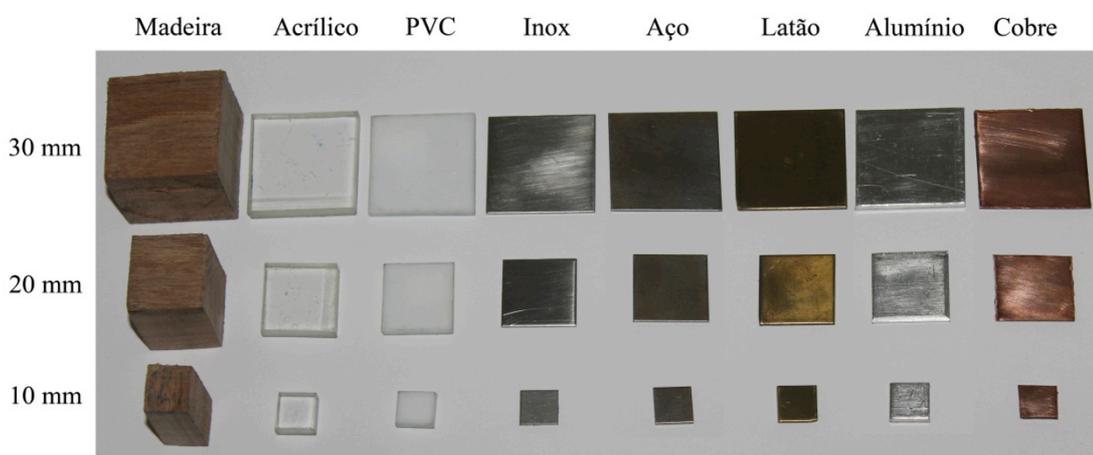


Figura 28 - Materiais com área de contato de 30 x 30, 20 x 20, 10 x 10 mm usados nos ensaios

Fonte: Autor

Tabela 1 apresenta as massas e as espessuras de cada um dos materiais utilizados nos ensaios. Como cada material tem uma massa diferente, os ensaios são feitos empilhando todos os materiais com a mesma área de contato. Assim, independentemente do material que está em contato com o tecido sensor, garante-se que todos os ensaios com os materiais de mesma área de contato tenham a mesma massa. Ao efetuar as medidas com os materiais condutores é tomado o cuidado de sempre colocar este material sobre o tecido, logo acima a madeira e

depois os outros materiais, garantindo assim, que os demais materiais condutores não influenciem nas medidas.

Tabela 1 - Massa e espessura dos materiais usados nos ensaios

Materiais de Teste	Espessura (mm)	Massa (g)		
		10 x 10 mm	20 x 20 mm	30 x 30 mm
Cobre	1,5	1,21	5,22	11,83
Aço 1.020	0,8	0,75	2,85	6,48
Latão	1,5	1,33	5,23	11,49
Alumínio Naval 5052F	3,0	0,91	3,39	7,24
Inox 304	1,0	0,82	3,24	7,29
PVC	3,5	0,42	1,62	3,70
Acrílico	5,5	0,69	2,61	5,71
Madeira	30,0	3,03	8,34	18,37
Total	46,8	9,16 g	32,5 g	72,11 g

Fonte: Autor

5.2.1 Comparação entre os dados obtidos pelo osciloscópio e pelo sistema digital de aquisição

São efetuadas medidas com o osciloscópio para verificar a precisão do sistema digital de aquisição. É utilizado o osciloscópio TBS1062 de 60MHz/1GS/s da Tektronix e pontas de prova passivas LF-60 com capacitância entre 85 e 115 pF da Minipa.

No mesmo momento em que é feita a leitura dos atrasos pelo supervisor, também é feita a medida deste sinal com o auxílio do osciloscópio, como mostra a Figura 29. As duas leituras são feitas ao mesmo tempo para que a influência das capacitâncias das pontas de prova sejam as mesmas nas duas leituras.

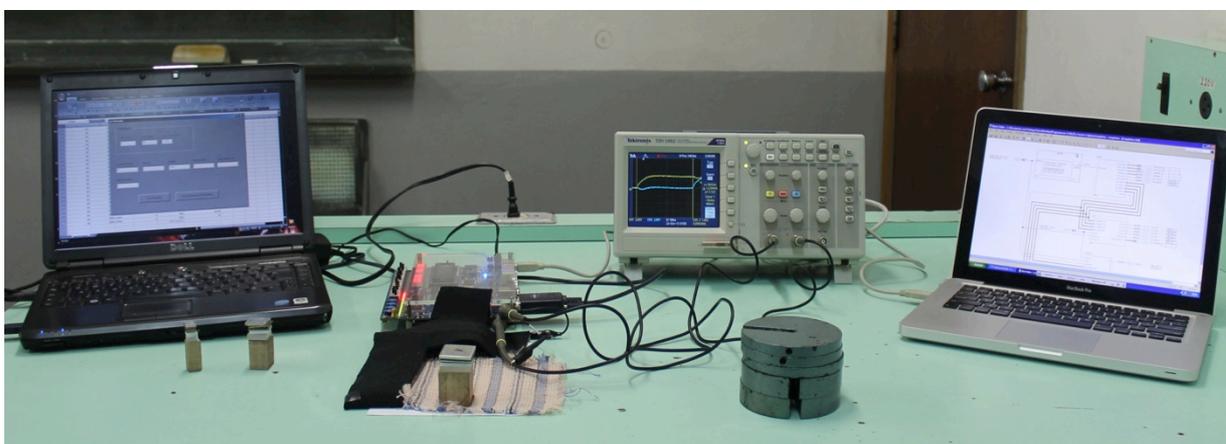


Figura 29 - Ensaio elétrico no sistema digital de aquisição

Fonte: Autor

A Figura 30 mostra como as pontas de prova do osciloscópio são inseridas no circuito, o canal 1 é conectado ao sinal **estimula** e o canal 2, ao sinal **lê**. Como o sistema digital de aquisição verifica o atraso do sinal, ou seja, a diferença entre um sinal e outro, a leitura deve ser feita com as duas pontas de prova conectadas ao circuito para que a capacitância das pontas sejam as mesmas nos dois sinais, assim não influenciando a leitura de atraso do sinal.

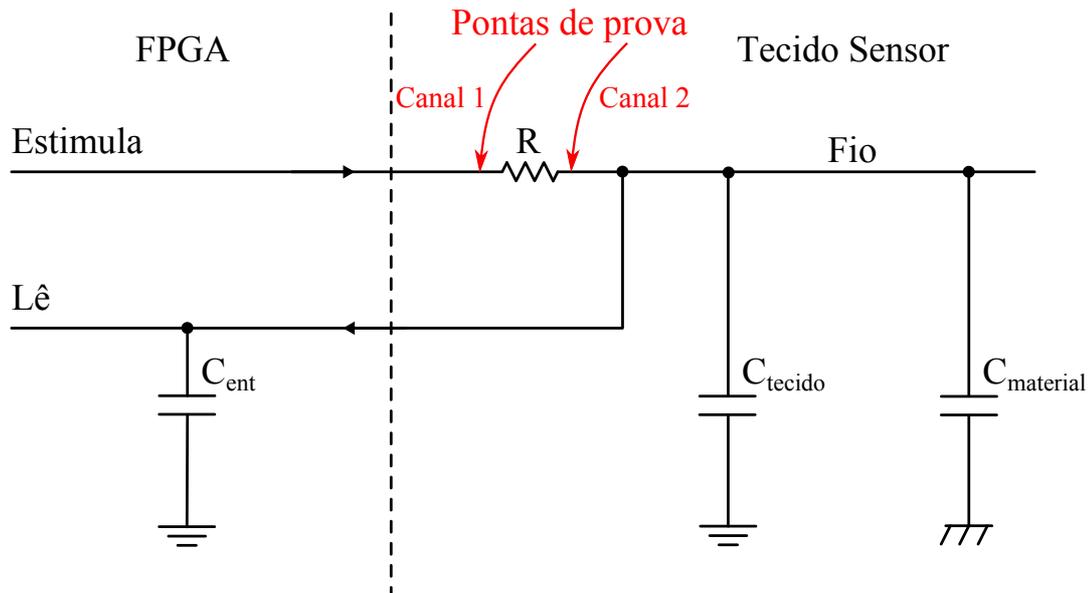


Figura 30 - Circuito equivalente com pontas de prova

Fonte: Autor

5.2.2 Ensaio com medições estáticas

As medidas estáticas são feitas para verificar a resposta do sensor quanto aos materiais condutores e isolantes, área de contato e massa colocada sobre o tecido. Estas medidas são feitas em um período de 30 s com amostragem a cada 10 ms.

5.2.3 Ensaio com medidas dinâmicas

As medidas dinâmicas são feitas para verificar a repetibilidade e capacidade de detecção do sensor com materiais condutores e isolantes e variação da massa sobre o tecido. Estas medidas são feitas em um período de 35 s com amostragem a cada 10 ms. Com os

seguintes tempos: de 0 a 5 s sem carga, de 5 a 15 s com carga, de 15 a 20 s sem carga, de 20 a 30 s com carga e de 30 a 35 s sem carga.

5.2.4 Ensaio com tecido sensor úmido

O intuito deste ensaio é fazer um estudo qualitativo para verificar a relação entre a umidade e o atraso do sinal no tecido sensor.

Os ensaios são feitos com temperatura ambiente de 27°C e umidade relativa do ar de 60%, tendo a linha estimulada parcialmente e gradativamente umedecida com água e sem nenhum tipo de material sobre o tecido sensor.

São feitos 11 ensaios para verificar a relação entre a umidade e o atraso no sinal, sendo o primeiro com o tecido seco e os demais umedecendo o tecido gradativamente, cada ensaio é feito em um período de 30 s com amostragem a cada 10 ms, com uma gota a mais de água na linha estimulada do tecido sensor

Com este procedimento é possível verificar que o tecido sensor é bastante sensível à umidade.

5.2.5 Ensaio com matriz de posicionamento

O intuito deste ensaio é verificar o posicionamento correto em que o tecido está sendo tocado, esta localização é representada em uma de interface visual por meio da saída de vídeo no padrão VGA.

Neste ensaio são estimuladas 4 (quatro) linhas e 4 (quatro) colunas, montando assim uma matriz de posicionamento com 16 pontos, ao tocar o tecido sensor o posicionamento do toque será apresentado em um monitor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através dos ensaios têxteis (caimento e transporte de umidade) e elétricos (estáticos, dinâmicos, com umidade e matriz de localização de toque) efetuados no tecido sensor.

6.1 Resultados dos ensaios têxteis

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através dos ensaios têxteis de caimento pelo método laço e de transporte de umidade pelo método de capilaridade.

6.1.1 Resultados do ensaio de caimento – método laço

A Tabela 2 apresenta os resultados para os ensaios de caimento dos corpos de prova dos tecidos com ligamento tipo tela e sarja (com e sem filamentos de cobre). É possível observar que a sarja tem um caimento melhor que a tela. Este resultado é esperado, pois a sarja possui menos pontos de ligamento.

Ao introduzir o fio de poliéster com filamentos de cobre no tecido, é possível observar que o caimento diminuiu em relação à sarja sem cobre, diminuindo 13,26% no sentido do urdume e 16,32% no sentido da trama.

Mesmo tendo uma piora no caimento em relação à sarja sem cobre, estes resultados são bastante satisfatórios, pois a sarja com fio de poliéster com filamentos de cobre tem o caimento bem próximo ao da tela, sendo 6,07% abaixo no sentido do urdume e 2,38% no sentido da trama. Isto mostra que mesmo com a inserção dos fios de poliéster com filamentos de cobre, o tecido permanece com um caimento parecido com tecidos convencionais utilizados na confecção de vestuário.

Tabela 2 - Resultado do ensaio de caimento

Caimento	Tela sem cobre		Sarja sem cobre		Sarja com cobre	
	Urdume	Trama	Urdume	Trama	Urdume	Trama
Média (5 amostras)	72,4 mm	67,2 mm	78,4 mm	78,4 mm	68 mm	65,6 mm
Desvio Padrão	0,329	0,217	0,114	0,365	0,212	0,493

Fonte: Autor

6.1.2 Resultados do ensaio de transporte de umidade – método capilaridade

A Tabela 3 apresenta os resultados para os ensaios de transporte de umidade por capilaridade. É possível observar que a tela possui um transporte de umidade maior que a sarja, isso porque possui mais pontos de ligamento e conseqüentemente menos espaços vazios entre os fios.

A sarja sem os fios de poliéster com filamentos de cobre (tecido convencional) possui um transporte de umidade 27,2% maior no sentido da trama, comparado ao transporte de umidade no sentido do urdume, esta diferença se dá por conta da estrutura deste ligamento. As extremidades dos corpos de prova da sarja que tocam a superfície da água ficam mais encharcadas que os corpos de prova de tela, pois o ligamento tipo sarja possui mais espaços vazios entre os fios.

Ao contrário da sarja convencional, a sarja com os fios de poliéster com filamentos de cobre (tecido sensor), possui um aumento no transporte de umidade de 71,23% no sentido do urdume em comparação a trama, considerando a capilaridade apenas nos fios de algodão do mesmo tecido, isto porque há uma densidade de fios de poliéster com filamentos de cobre maior no sentido do urdume, que no sentido da trama, sendo um fio de poliéster a cada 5 fios de algodão no sentido do urdume, e um fio de poliéster a cada 10 fios de algodão e no sentido da trama.

Observando apenas o tecido sensor, é possível observar que os fios de poliéster têm uma capilaridade 68,49% maior que o algodão no sentido da trama e 57,6% no sentido do urdume. Este resultado é esperado, pois o algodão possui uma alta capacidade de absorção de umidade [26], fazendo com que a capilaridade seja menor que o poliéster, que possui uma absorção de umidade entre 0,3 e 0,5% [24] [27].

Estes ensaios demonstram que o tecido sensor (sarja com fio de poliéster com filamentos de cobre) proporciona uma sensação maior de conforto quanto ao transporte de umidade, oferecendo 83,82% mais capilaridade no sentido do urdume, se comparado ao tecido convencional (sarja sem fio de poliéster com filamentos de cobre), considerando apenas os fios de algodão. Estes valores são importantes porque em tecidos com baixo transporte de umidade funciona como uma barreira, que dificulta a evaporação do suor, aumentando assim o gasto energético do corpo, fazendo com que haja uma sensação de desconforto [40].

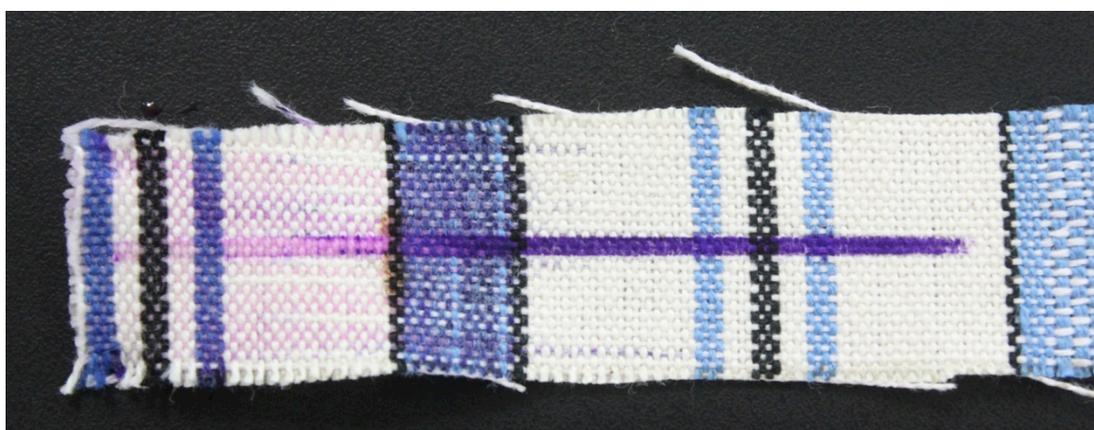
Tabela 3 - Resultado do ensaio de capilaridade

Capilaridade	Tela sem cobre		Sarja sem cobre		Sarja com cobre			
	Fio de algodão		Fio de algodão		Fio de algodão		Fio de poliéster	
	Urdume	Trama	Urdume	Trama	Urdume	Trama	Urdume	Trama
Média (5 amostras)	60,2 mm	42,6 mm	27,2 mm	34,6 mm	50 mm	29,2 mm	78,8 mm	49,2 mm
Desvio Padrão	0,841	0,488	0,277	0,378	0,877	0,540	0,497	0,915

Fonte: Autor

As Figura 31 a e b apresentam os corpos de prova após os ensaios de transporte de umidade por capilaridade da sarja, sem e com os fios de poliéster com filamentos de cobre.

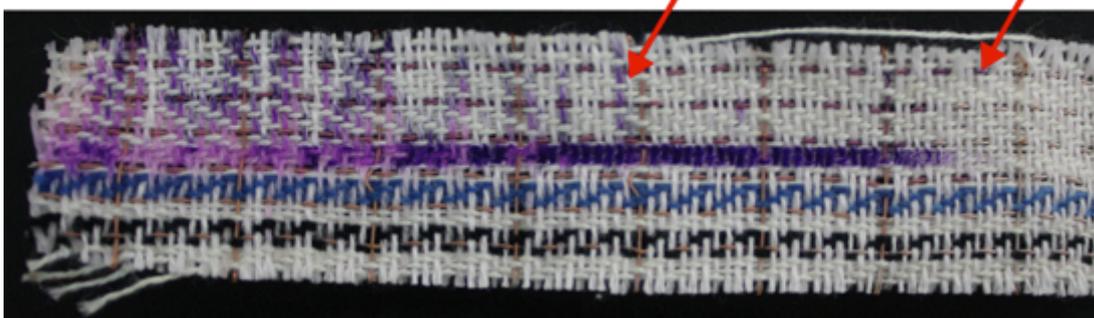
É possível observar através da Figura 31b, que a sarja com os fios de poliéster com filamentos de cobre tem uma capilaridade no fio de poliéster maior que nos fios de algodão.



a)

Fio de algodão - 45 mm

Fio de poliéster - 76 mm



b)

Figura 31 - Ensaio de capilaridade a) Sarja sem o fio de poliéster com filamento de cobre b) Sarja com o fio de poliéster com filamento de cobre

Fonte: Autor

6.2 Resultados dos ensaios elétricos

Aqui são apresentados os resultados obtidos através dos ensaios elétricos estáticos, dinâmicos, com umidade e matriz de localização de toque, efetuados no tecido sensor.

6.2.1 Comparação entre os dados obtidos pelo osciloscópio e pelo sistema digital de aquisição

Como esperado em um circuito RC, há um atraso no sinal $I\hat{e}$ (em azul) ao se modificar a capacitância do circuito, como mostram as Figura 32 a Figura 37.

Por conta da capacitância da ponta de prova o sinal **estimula** (em laranja) também aparece com uma inclinação, como mostram as Figura 33 a Figura 37.

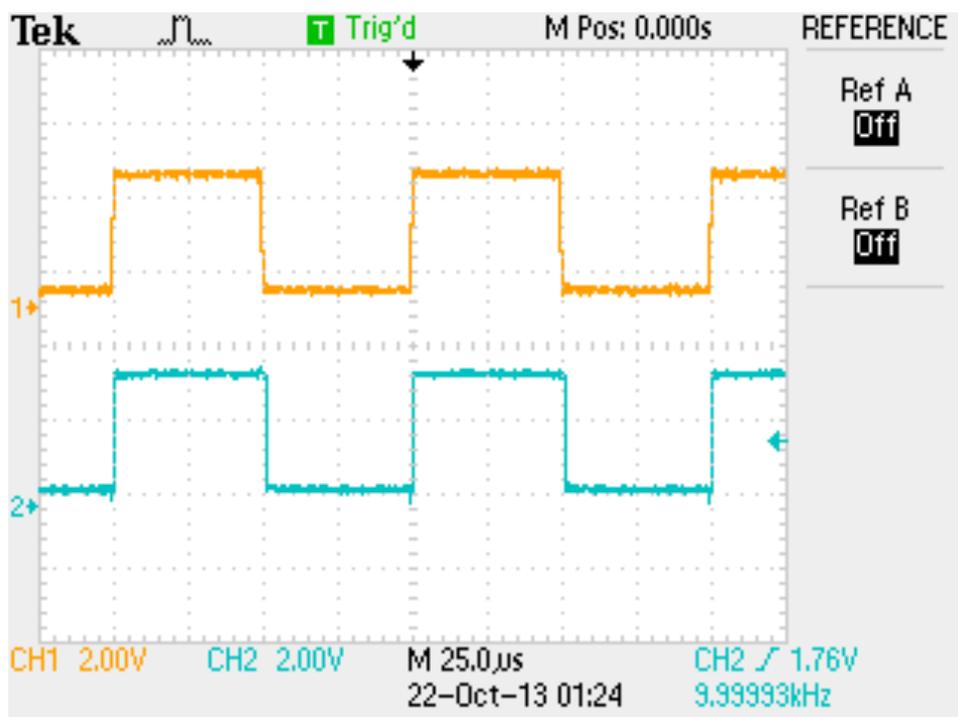


Figura 32 - Forma de onda sem tocar o tecido

Fonte: Autor

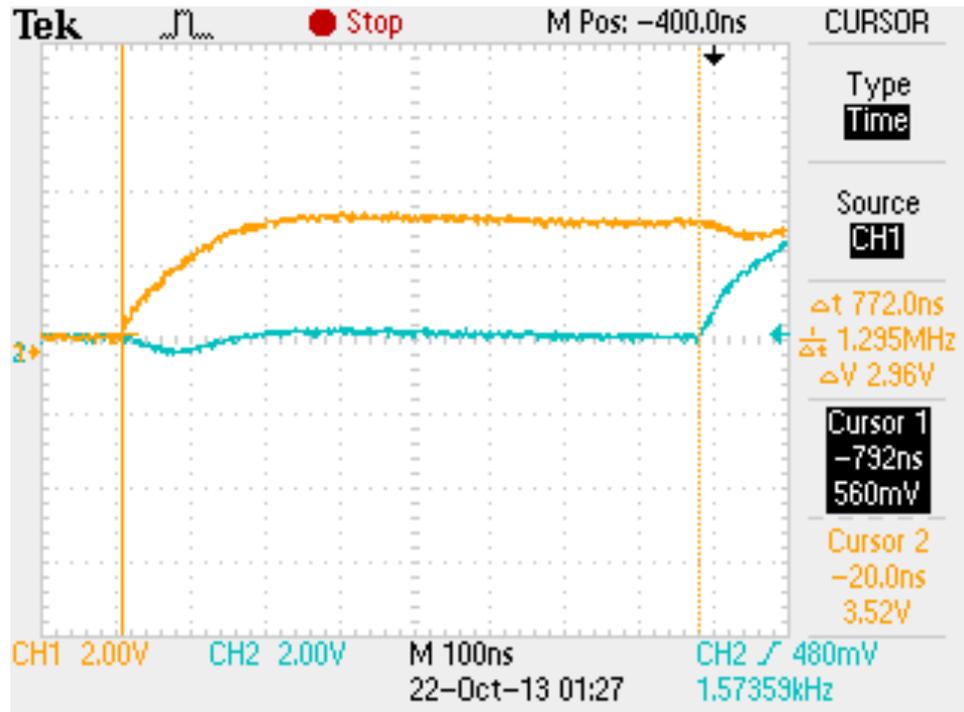


Figura 33 - Atraso do sinal sem tocar o tecido

Fonte: Autor

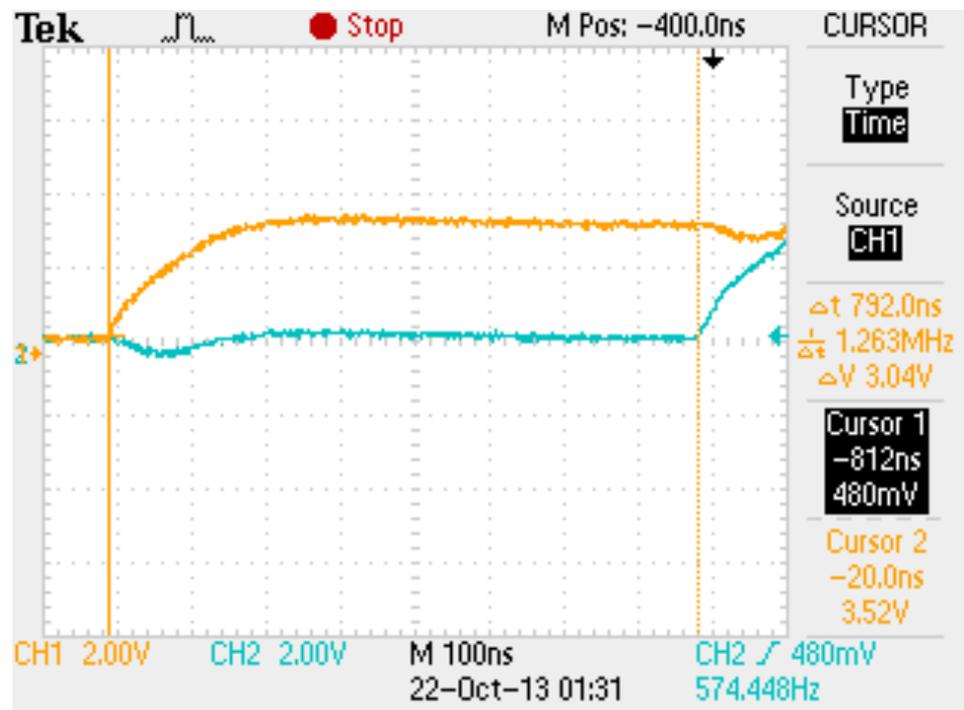


Figura 34 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm sobre o tecido

Fonte: Autor

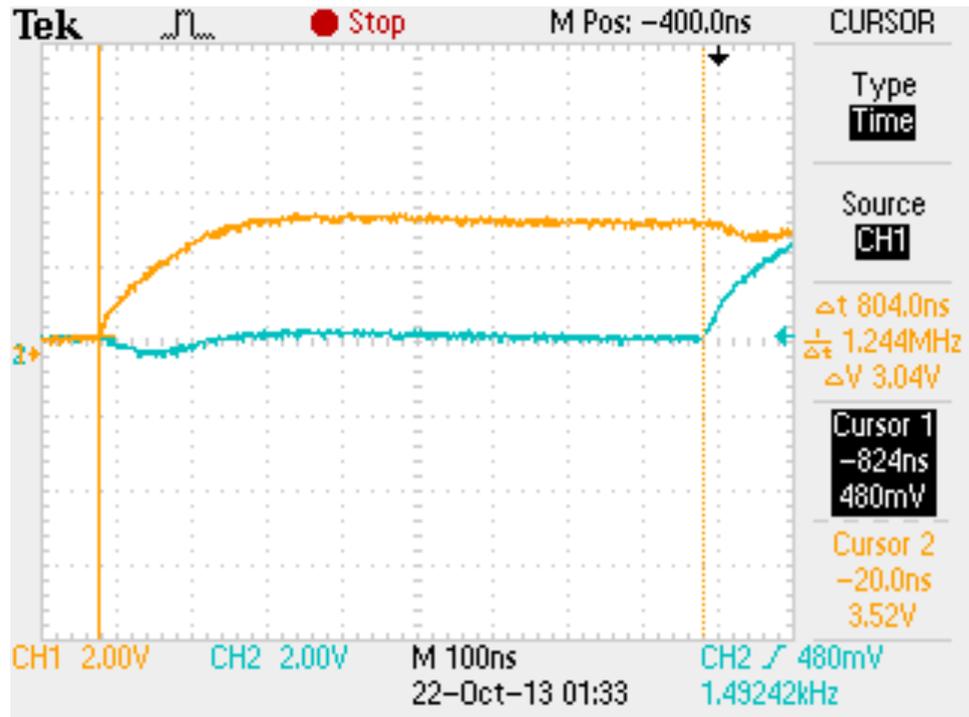


Figura 35 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm e massa de 500 g sobre o tecido

Fonte: Autor

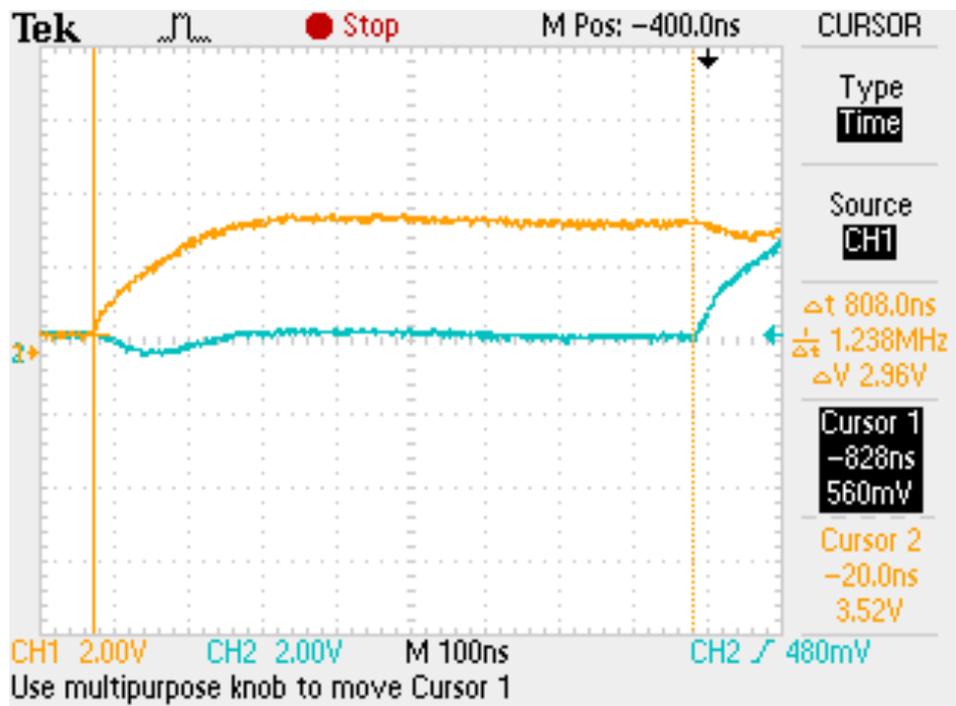


Figura 36 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm e massa de 1 kg sobre o tecido

Fonte: Autor

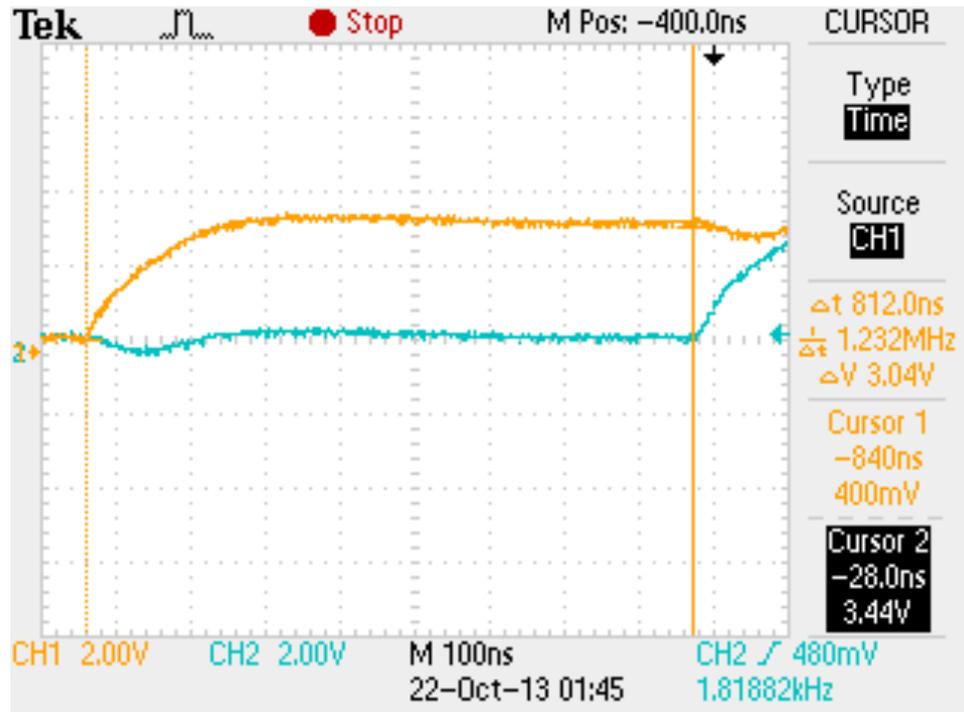


Figura 37 - Atraso do sinal com placa de cobre de 30 mm e massa de 2 kg sobre o tecido

Fonte: Autor

Ao comparar os dados obtidos pelo osciloscópio e pelo sistema digital de aquisição, é possível verificar que há uma diferença menor que 0,4%, isto é positivo, pois mostra que o tratamento das informações feitas no FPGA estão de acordo com o real, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação entre o sinal do osciloscópio e o sistema digital de aquisição

Massa	Atraso no sinal (ns)		Diferença entre os sinais (%)
	Osciloscópio	Supervisório	
Tecido	772	771,39	0,079
0 g	792	788,84	0,399
500 g	804	801,97	0,252
1 kg	808	805,10	0,359
2 kg	812	810,35	0,203

Fonte: Autor

6.2.2 Resultados dos ensaios com medições estáticas

É possível observar que o PVC, o acrílico e a madeira têm respostas muito próximas, como mostram as Figura 38f, g e h, sem grandes variações com o aumento da massa. Como estes materiais são isolantes alteram apenas uma parcela C_{tecido} , através da compressão e deslocamento de um fio em relação ao outro (trama e urdume).

O cobre, o alumínio, o latão, o aço e o inox têm uma variação maior com o aumento da massa, como mostram as Figura 38a - e. Sendo estes materiais condutores, além de alterarem uma parcela do C_{tecido} , como acontece com os materiais isolantes, eles alteram também o C_{material} , pois por serem condutores eles aumentam a placa do capacitor, que é diretamente proporcional à capacitância, como mostrado na equação 7.

Como o C_{material} está em paralelo com o C_{tecido} a capacitância total aumenta, aumentando assim o atraso do sinal (equação 8).

A Figura 38 mostra a resposta do sensor com materiais condutores e isolantes com área de contato de 10 mm, em função do tempo.

O ruído apresentado nos gráficos (entre os valores mínimo e máximo) ocorre por conta de interferências eletromagnéticas e do erro de quantização. Isso porque o sinal original é arredondado para um nível de quantização, que neste caso equivale a 5 ns, o sinal original possui um desvio, que pode chegar até a metade do intervalo de cada amostra.

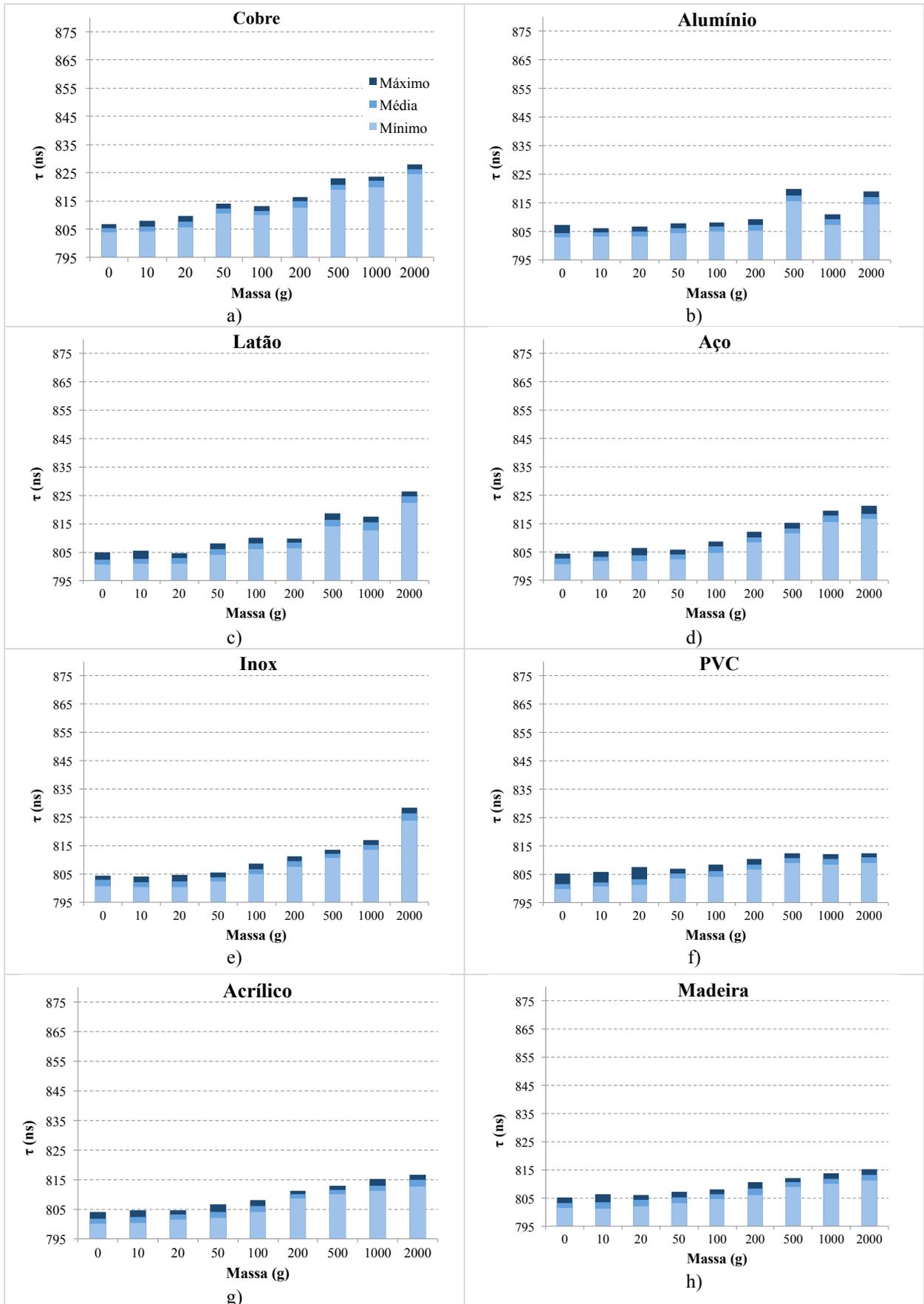


Figura 38 - Medidas estáticas com materiais de 10 x 10 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor

Para verificar a influência da área do material em contato com o tecido também são feitos ensaios com materiais de 20 e 30 mm, como mostram a Figura 40 e a Figura 41, respectivamente.

É possível observar que a área do material em contato com o tecido influencia diretamente o atraso do sinal $I\hat{e}$, quanto maior a área (A), maior será a capacitância (C), como apresentado pela equação 7.

No caso dos materiais isolantes (Figura 40f, g e h, Figura 41f, g e h), o aumento no atraso é por conta do C_{tecido} , pois quanto maior a área do material, maior será a quantidade de pontos de ligamento atingidos, entre os fios de cobre no sentido da trama e do urdume, como mostra a Figura 39.

No caso dos materiais condutores (Figura 40a - e, Figura 41a - e), além do aumento do C_{tecido} , igualmente aos materiais isolantes, há o aumento do C_{material} , como explicado nos resultados obtidos com materiais de 10 mm.

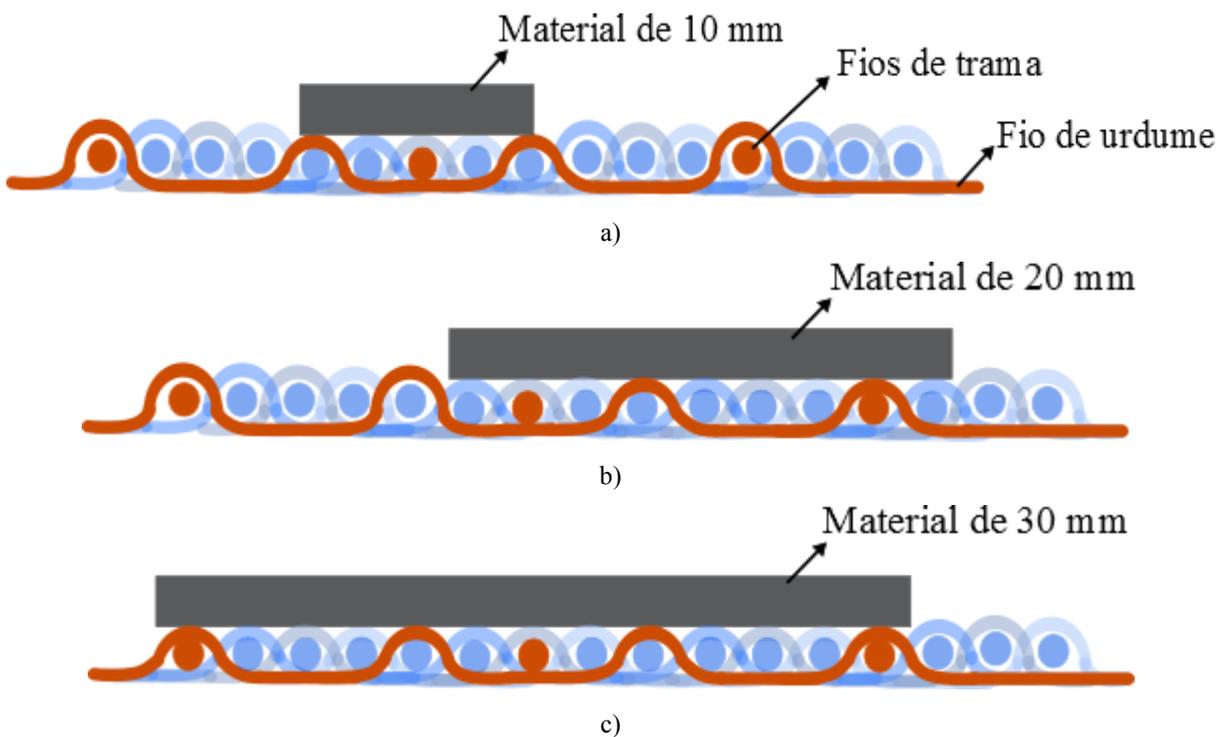


Figura 39 - Influência do material no C_{tecido} a) material de 10 mm, b) material de 20 mm, c) material de 30 mm

Fonte: Autor

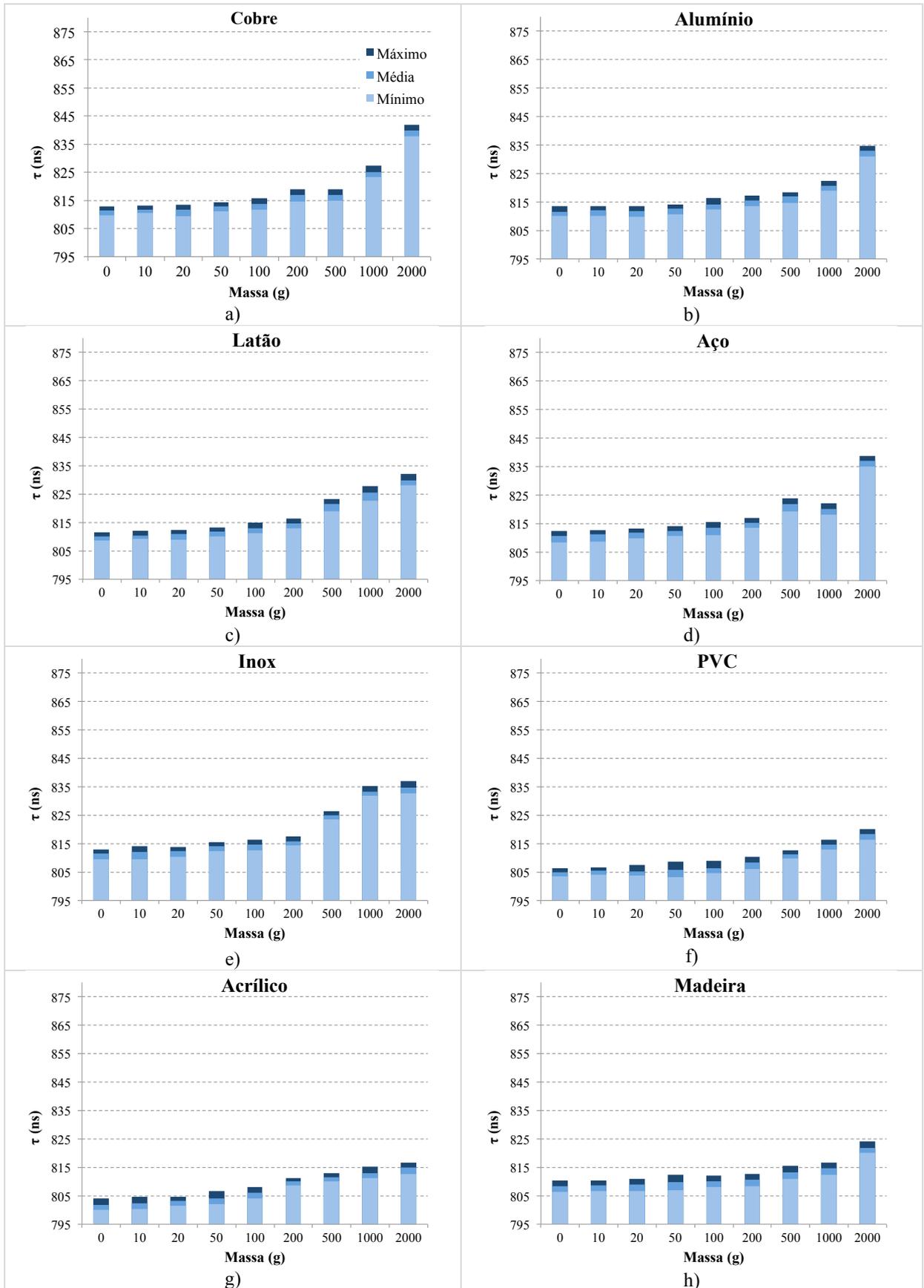


Figura 40 - Medidas estáticas com materiais de 20 x 20 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor

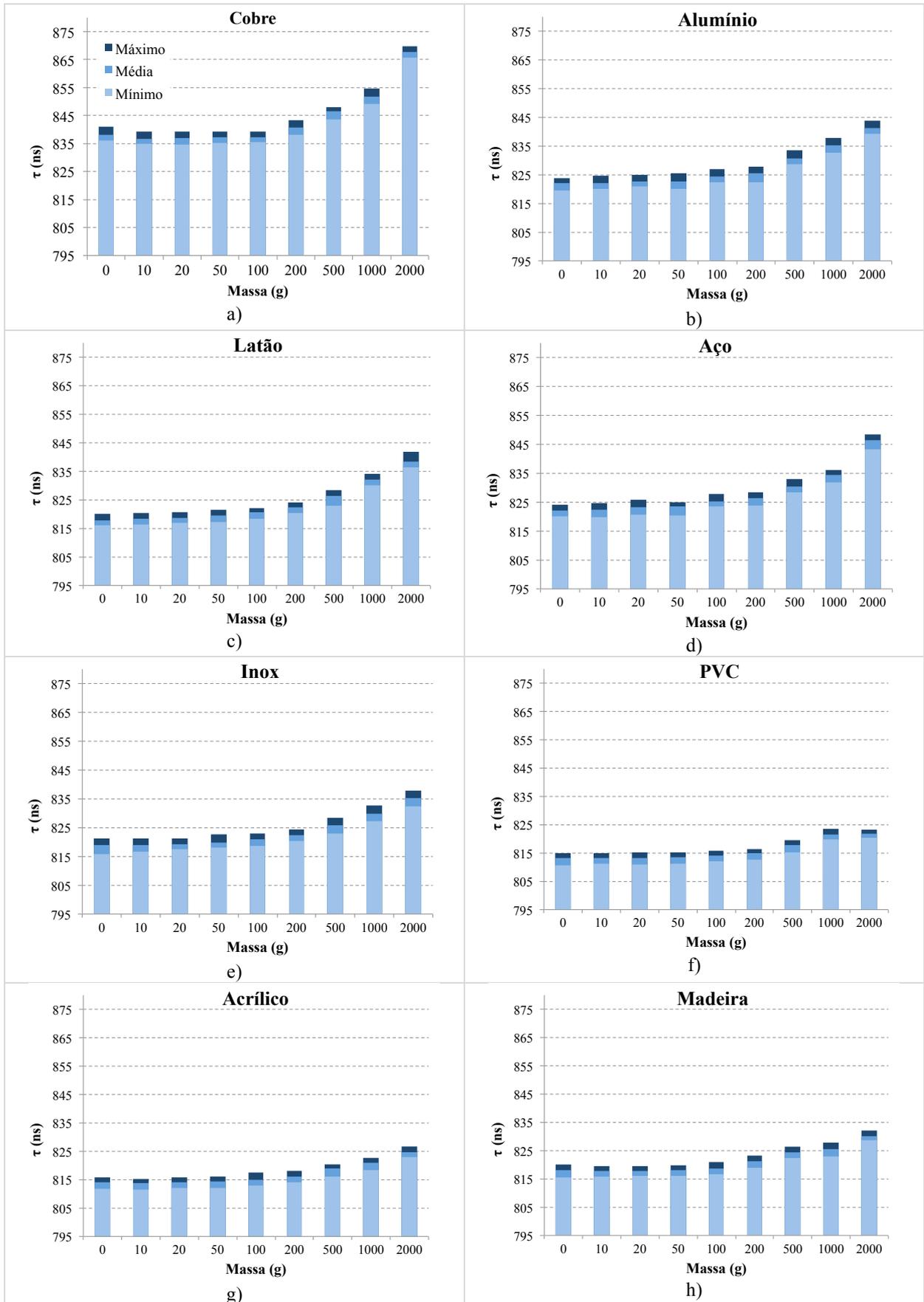
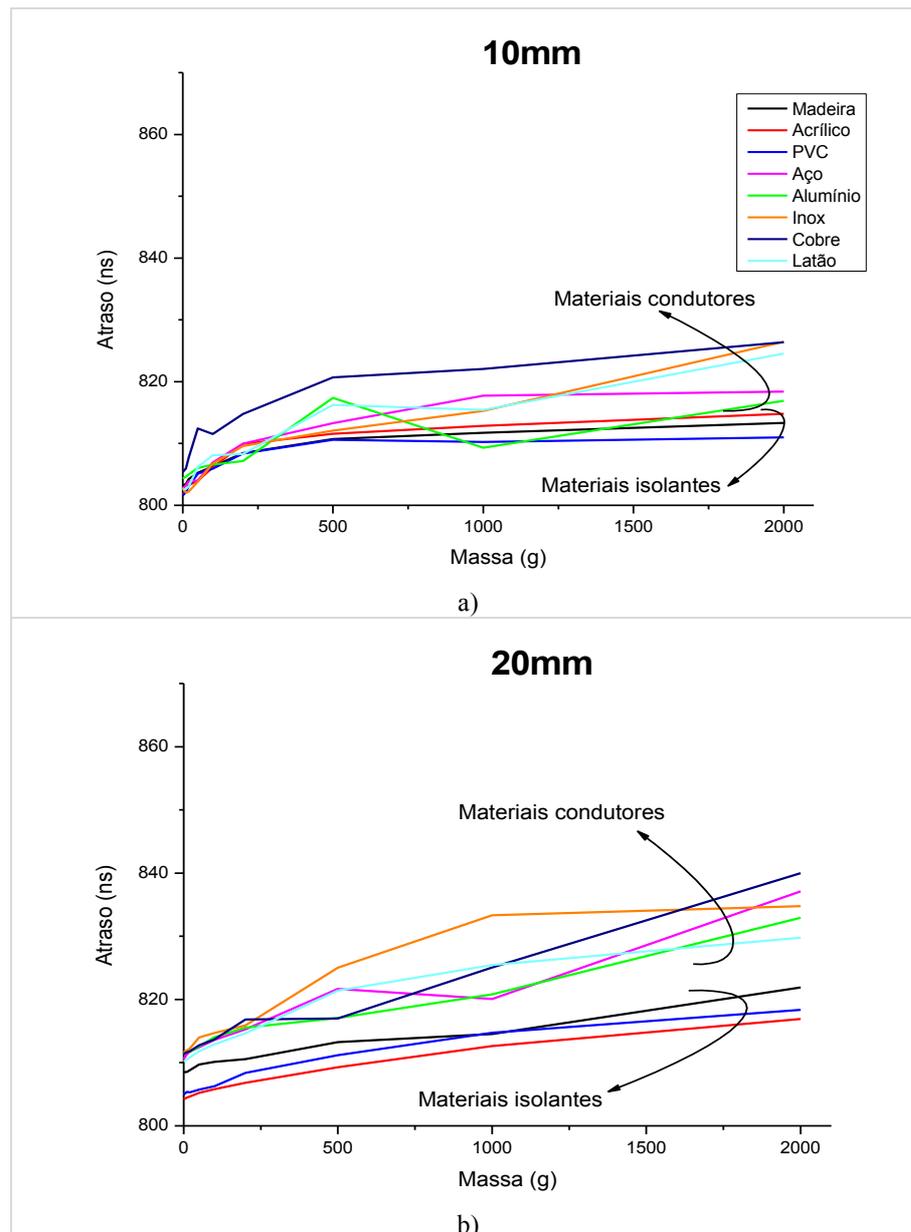


Figura 41 - Medidas estáticas com materiais de 30 x 30 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor

Através da Figura 42 é possível observar que os materiais condutores influenciam mais o atraso que os materiais isolantes.

Como explicado anteriormente os materiais isolantes influenciam o C_{tecido} e os materiais condutores influenciam o C_{tecido} e o C_{material} .

As flutuações apresentadas nos gráficos são por conta dos ruídos por interferências eletromagnéticas e do erro de quantização.



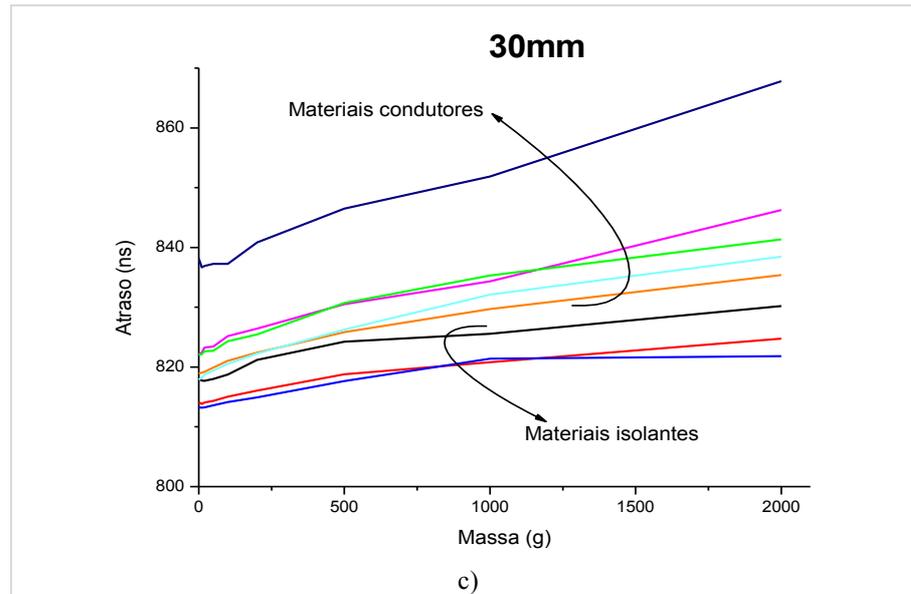


Figura 42 - Relação entre massa e atraso a) materiais de 10 x 10 mm, b) materiais de 20 x 20 mm, c) materiais de 30 x 30 mm

Fonte: Autor

A Tabela 5 mostra a diferença que há no atraso entre as medidas feitas com uma massa de 2 kg e 0 g sobre o material que está sobre o tecido. É possível observar que no caso dos materiais isolantes, o aumento da massa influencia menos no atraso, como por exemplo, o PVC de 30 mm que possui uma diferença de 8,6 ns entre as massas de 0 g e 2 kg. Já os materiais condutores sofrem uma influência maior com o aumento da massa, como no caso da placa de 30 mm de cobre que possui uma diferença de 29,66 ns, 244% maior que o PVC.

Tabela 5 - Diferença de atraso entre 0 g e 2 kg

Área de contato	Diferença de atraso entre 0 g e 2 kg (ns)							
	Materiais Isolantes			Materiais Condutores				
	Madeira	Acrílico	PVC	Aço	Alumínio	Inox	Cobre	Latão
10 mm	10,09	13,00	9,42	15,69	12,59	23,59	21,01	22,06
20 mm	13,39	12,71	13,40	26,55	21,56	23,14	28,61	19,56
30 mm	12,15	10,65	8,60	24,19	19,30	16,48	29,66	20,58

Fonte: Autor

6.2.3 Resultados dos ensaios com medidas dinâmicas

Através da Figura 43 observa-se que o sistema consegue detectar quando há ou não um material sobre o tecido, é possível implementar um circuito digital descrito em VHDL capaz de verificar se o material é isolante ou condutor pela diferença apresentada por cada um desses materiais, além de poder verificar também a massa que há sobre ele.

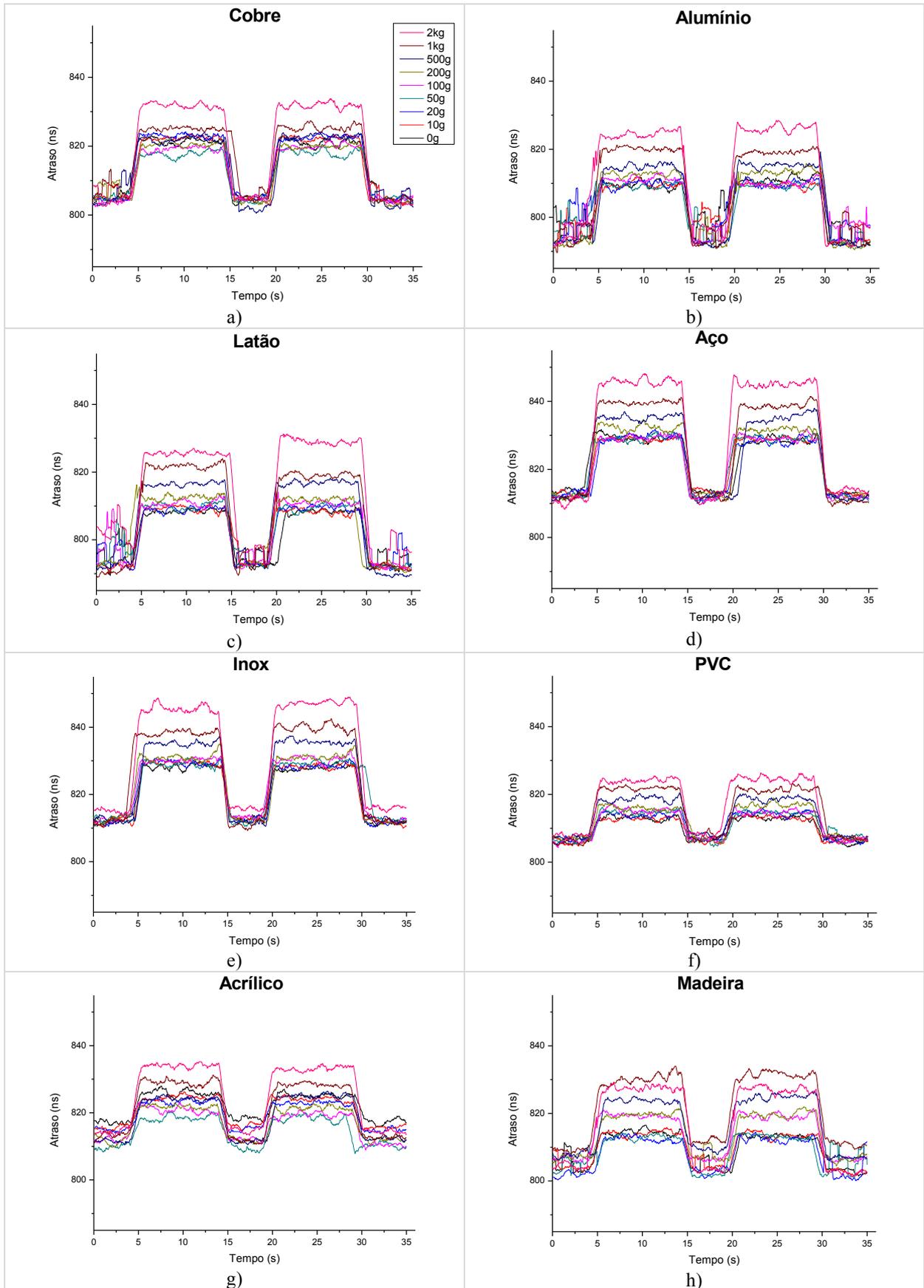


Figura 43 - Medidas dinâmicas com materiais de 30 x 30 mm a) Cobre, b) Alumínio, c) Latão, d) Aço, e) Inox, f) PVC, g) Acrílico, h) Madeira Fonte: Autor

Os ensaios com medidas dinâmicas mostram que o tecido sensor apresenta boa repetibilidade, apresentando uma diferença menor que 0,4% entre o primeiro e o segundo pulso, como apresentado pela Tabela 6, estes resultados são positivos, pois estes critérios são indispensáveis para um sensor.

Tabela 6 - Diferença percentual entre os pulsos das medidas dinâmicas

Material	Diferença entre o primeiro e o segundo pulso (%)								
	0 g	10 g	20 g	50 g	100 g	200 g	500 g	1000 g	2000 g
Cobre	0,055	0,030	0,031	0,033	0,078	0,101	0,078	0,019	0,020
Alumínio	0,183	0,065	0,050	0,049	0,232	0,102	0,014	0,145	0,195
Latão	0,003	0,142	0,082	0,019	0,034	0,076	0,079	0,313	0,379
Aço	0,033	0,006	0,195	0,012	0,048	0,042	0,027	0,139	0,118
Inox	0,050	0,129	0,136	0,043	0,026	0,040	0,069	0,218	0,185
PVC	0,026	0,020	0,072	0,019	0,066	0,163	0,025	0,066	0,064
Acrílico	0,130	0,088	0,041	0,013	0,129	0,003	0,115	0,042	0,110
Madeira	0,180	0,076	0,031	0,000	0,033	0,006	0,129	0,174	0,048

Fonte: Autor

6.2.4 Resultados dos ensaios com tecido sensor úmido

Através da Figura 44 observa-se que o tecido sensor apresenta sensibilidade à umidade, variando o valor de atraso no sinal com o aumento da umidade no tecido sensor, isto porque a água altera a constante dielétrica relativa, consequentemente alterando a capacitância do tecido (C_{tecido}), como apresentado pela equação 7. Este não é um resultado positivo, pois qualquer alteração que haja no ambiente ou no próprio tecido relacionado à umidade, como por exemplo, a transpiração da pessoa que estiver utilizando o tecido sensor, causa variações no atraso do sinal, estas alterações devem ser compensadas através de um circuito digital e um sensor de umidade acoplados ao tecido sensor.

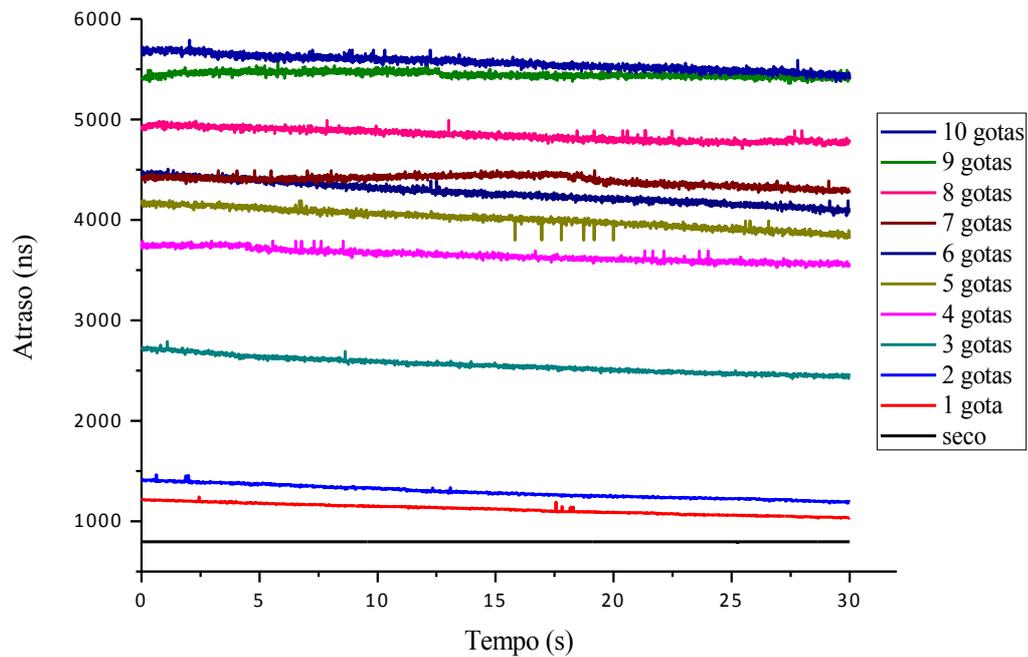


Figura 44 - Medidas com tecido úmido

Fonte: Autor

Na Tabela 7 pode-se observar que a umidade presente no tecido sensor provoca uma variação maior no atraso do sinal, além da maior instabilidade apresentada, a umidade presente no tecido vai evaporando com o tempo, ocasionando uma diminuição no atraso.

Tabela 7 - Variação das medidas com tecido sensor úmido

Atrasos	seco	1 gota	2 gotas	3 gotas	4 gotas	5 gotas	6 gotas	7 gotas	8 gotas	9 gotas	10 gotas
Valor médio (ns)	795	1120	1291	2555	3646	4013	4269	4394	4844	5448	5563
Valor mínimo (ns)	791	1032	1180	2420	3525	3800	4040	4260	4710	5360	5380
Valor máximo (ns)	795	1242	1461	2790	3790	4195	4505	4495	4990	5590	5790
Variação (ns)	4	210	281	370	265	395	465	235	280	230	410

Fonte: Autor

6.2.5 Resultados dos ensaios com matriz de posicionamento

Através dos ensaios com a matriz de posicionamento é possível verificar no monitor a posição em que o tecido sensor é tocado, como neste ensaio são estimuladas 4 (quatro) linhas e 4 (quatro) colunas, como mostra a Figura 45, é possível obter 16 (dezesesseis) quadrados no monitor, um para cada ponto do tecido sensor, como mostra Figura 46.

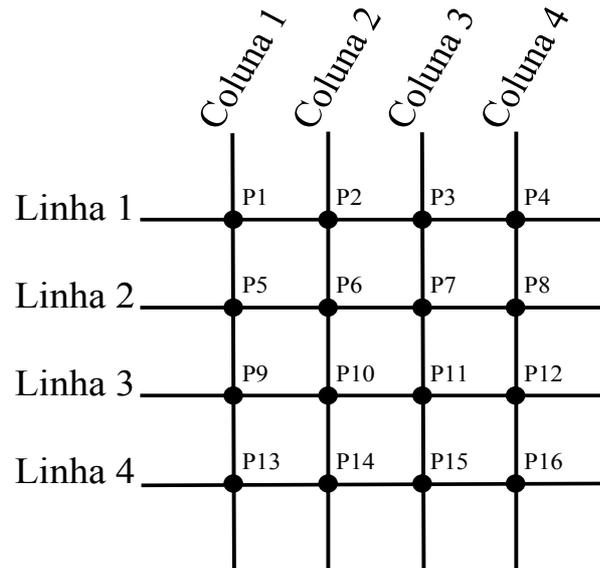


Figura 45 - Matriz de pontos no tecido sensor

Fonte: Autor

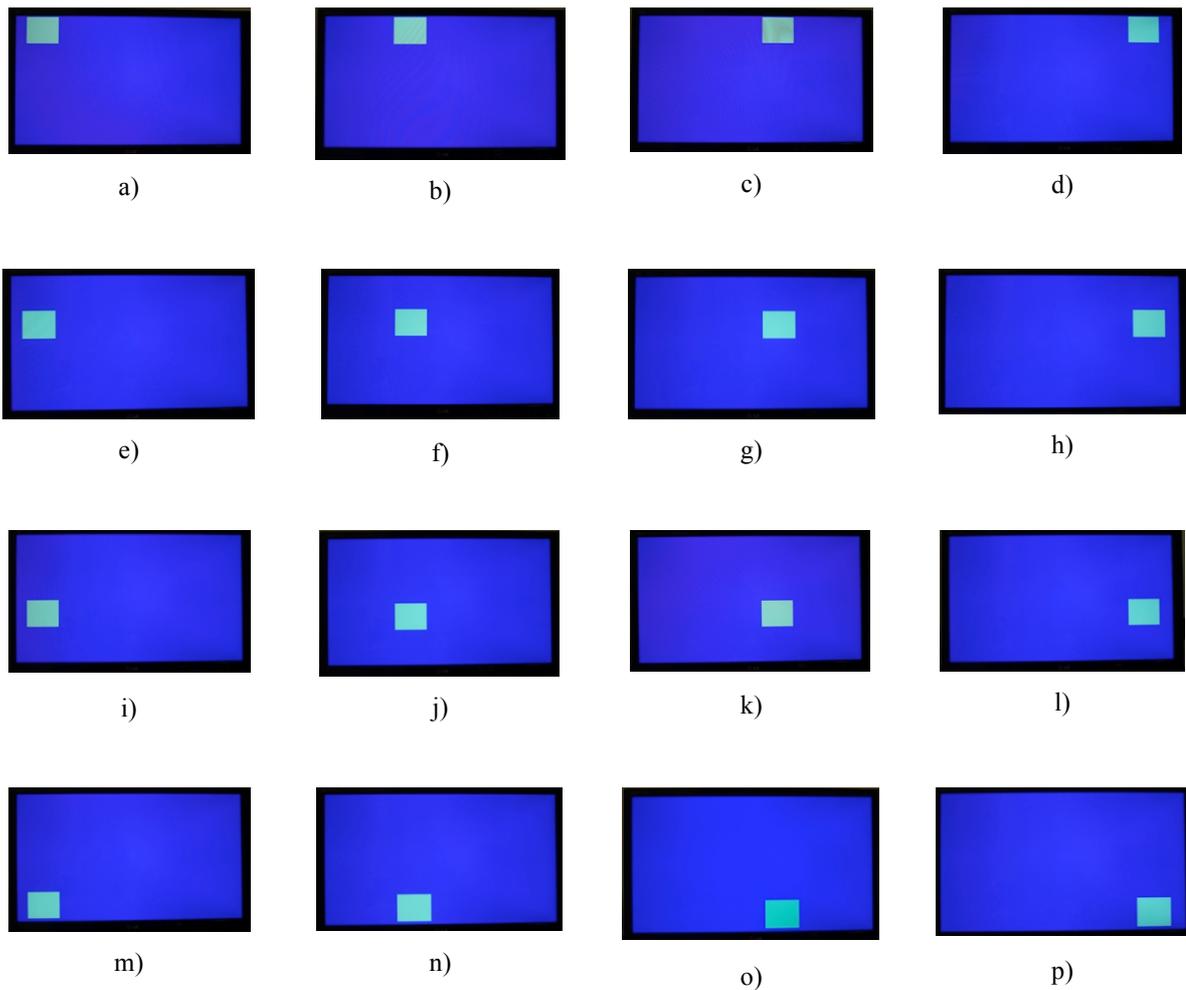


Figura 46 - Pontos na matriz de posicionamento a) P1, b) P2, c) P3, d) P4, e) P5, f) P6, g) P7, h) P8, i) P9, j) P10, k) P11, l) P12, m) P13, n) P14, o) P15, p) P16 Fonte: Autor

7 CONCLUSÕES

Através dos ensaios feitos na área têxtil e elétrica é possível concluir que o sistema digital de aquisição apresenta resultados consistentes e compatíveis com os tempos levantados com uso do osciloscópio, havendo uma diferença de menos de 0,4%.

É possível concluir que materiais isolantes têm respostas muito próximas quando há aumento da massa, isso porque os materiais isolantes alteram apenas uma parcela da capacitância variável, responsável pelo atraso do sinal, a alteração da capacitância pela compressão e deslocamento de um fio em relação ao outro (trama e urdume).

Os materiais condutores têm uma variação maior com o aumento da massa, pois estes materiais alteram todas as parcelas da capacitância variável responsável pelo atraso do sinal, além de alterar a capacitância pela compressão e deslocamento dos fios de cobre, o material condutor aumenta a área da placa do capacitor e conseqüentemente sua capacitância.

Através das medidas dinâmicas é possível observar que o sensor tem uma resposta rápida e com boa repetibilidade, apresentando uma diferença menor que 0,4% entre dois estímulos seguidos.

Através dos ensaios feitos com o tecido sensor úmido é possível verificar que este apresenta sensibilidade à umidade, variando o valor de atraso no sinal com o aumento da umidade, isto porque a água altera a constante dielétrica relativa e conseqüentemente a capacitância.

Os ensaios realizados com a matriz de posicionamento demonstram que é possível representar em um monitor a posição em que o tecido sensor é tocado, cada quadrado no monitor representa um ponto de intersecção entre os filamentos de cobre no sentido da trama com os filamentos no sentido do urdume.

Além das funções elétricas, o tecido sensor também pode ser usado como um tecido comum utilizado no vestuário, considerando suas características de caimento e transporte de umidade.

O tecido sensor, com fio de poliéster com filamentos de cobre, teve uma diminuição no caimento em relação ao tecido comum, diminuindo 13,26% no sentido do urdume e 16,32% no sentido da trama. Porém, o caimento é bem próximo ao de um tecido tipo tela, somente de algodão, sendo 6,07% abaixo no sentido do urdume e 2,38% no sentido da trama. Isto mostra que mesmo com a inserção dos fios de poliéster com filamentos de cobre, o tecido permanece com um caimento próximo ao caimento de tecidos convencionais.

Os ensaios de transporte de umidade demonstram que o tecido sensor proporciona uma sensação maior de conforto quanto ao transporte de umidade, oferecendo 83,82% mais capilaridade no sentido do urdume, comparado ao tecido com apenas os fios de algodão.

Estes ensaios mostram que o tecido, mesmo com a inserção do fio de poliéster com filamentos de cobre, pode oferecer conforto no aspecto fisiológico, que está ligado à interferência nos mecanismos de metabolismo do corpo, especialmente o termorregulador, causadas pelo vestuário e no aspecto psicológico, ligado aos fatores relacionados à estética.

8 PUBLICAÇÕES GERADAS DURANTE O PERÍODO DE MESTRADO

ANDRADE, G.; BORELLI, C.; GIACOMINI, R. A New textile tactil wide-area sensor for clothing. Submitted for: AUTEX 2014: WORLD TEXTILE CONFERENCE, 14, 2014, Bursa.

ANDRADE, G. ; MADEIRA, F. M. ; Stolf, R. ; AGOPIAN, P. G. D. ; Giacomini, R. . Sensibility Analysis of a Pixel Sensor Amplifier to Design Parameters. In: VII Workshop on Semiconductors and Micro and Nano Technology, 2012, S B Campo. Proceedings of, 2012. v. 1. p. 79-80.

NOVO, C. D. C. P. ; MADEIRA, F. M. ; ANDRADE, G. ; Stolf, R. ; Giacomini, R. . Circuit Technology and Diode Geometry Evaluations for Active Pixel. In: Workshop on Circuits and Systems, 2012, Brasilia. Proceedings of the Workshop on Circuits and Systems. Brasília: UnB, 2012.

REFERÊNCIAS

1. SYSTEMS, P. P. Pressure profile systems, Inc. Disponível em: <www.pressureprofile.com>. Acesso em: 2013.
2. ROTHMAIER, M.; LUONG, M. P.; CLEMENS, F. Textile pressure sensor made of flexible plastic optical fibers. **Sensors**, 8, 2008. 4318-4329.
3. KEW, L. H.; CHANG, S.; YOON, E. A Flexible Polymer Tactile Sensor: Fabrication and Modular Expandability for Large Area Deployment. **Journal of Microelectromechanical Systems**, v. 15, n. 6, Dec. 2006.
4. M. IBANA, Y. H. K. N. T. N. S. K. A. H. I. A full-body tactile sensor suit using electrically conductive fabric and strings. **IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst. '96**, 2, 1996. 450-457.
5. M. SERGIO, N. M. M. T. R. G. A. R. C. A textile based capacitive pressure sensor. **Proc. IEEE Sensors**, 2, Jun. 2002. 1625-1630.
6. M. SHIMOJO, A. N. M. I. R. M. A. K. M. A tactile sensor sheet using pressure conductive rubber with electrical- wires stitched method. **IEEE Sensors J.**, 4, Oct. 2004. 589-595.
8. MARKUS, M.; MARCUS, O. **Circuitos elétricos: corrente contínua e corrente alternada**. São Paulo: Érica, 2001. 81-92 p.
7. ALTERA. DE2-70 Development and education board User Manual. [S.l.]: [s.n.], 2007.
9. JOHN A. BUCK; JR., W. H. H. **Eletromagnetismo**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 17-90 p.
10. RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro: Livro Técnico, v. 2, 1973.
11. YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física**. 12. ed. São Paulo: Addison-Wesley, v. 4, 2008.
12. MICROCHIP TECHNOLOGY WEB SEMINAR. Capacitive m Touch Sensing Solutions. Disponível em: <http://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm_sg/documents/DeviceDoc/en542979.pdf>. Acesso em: 2013.
13. MARKUS, O.; CIPELLI, M. **Eletricidade: Circuitos em Corrente Contínua**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2000. 165-167 p.
14. TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. **Sistemas digitais - princípios e**

- aplicações**. 10. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2007. 727-732 p.
15. ERCEGOVAC, M. D.; LANG, T.; MORENO, J. H. **Introdução aos sistemas digitais**. [S.l.]: Bookman, 2000. 316 - 320 p.
 16. NATIONAL INSTRUMENTS. National Instruments, 21 Dec. 2011. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/6984/pt/>>. Acesso em: 2013.
 18. RUSHTON, A. **VHDL for logic synthesis**. 3. ed. [S.l.]: Wiley, 2011.
 17. ORDONEZ, E. D. M. et al. Projeto, desempenho e aplicações de sistemas digitais em circuitos programáveis (FPGAs). Pompéia: BLESS, 2003.
 19. VAHID, F.; LYSECKY, R. **VHDL for digital design**. [S.l.]: Wiley, 2007.
 20. IEL; SEBRAE; CNA. Análise da eficiência econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira. Brasília: IEL, 2000.
 21. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA , NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL– CONMETRO. **Resolução n.º 02 , de 6 de maio de 2008**. [S.l.]: [s.n.].
 22. CORBMAN, B. P. **Textiles fiber to fabric**. 6. ed. New York: Mcgraw-Hill International Editions, 1983.
 23. WIKIPEDIA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fibra_têxtil>. Acesso em: 15 Janeiro 2014.
 24. AGUIAR NETO, P. P. **Fibras têxteis**. 1. ed. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, v. 1, 1996.
 25. HATCH, K. L. **Textile science**. 1. ed. Arizona: West Publishing Company, 1993.
 26. ERHARDT, T. et al. **Curso técnico têxtil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 2, 1975 - 1976. 9-19 p.
 28. PEREIRA, G. D. S. **Introdução à tecnologia têxtil**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina - Unidade de Ensino de Araranguá. ed. Santa Catarina: Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, 2009.
 27. ERHARDT, T. et al. **Curso técnico têxtil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 3 v., 1975 - 1976. 12 p.
 29. ARAÚJO, M. D. **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v. 1, 1986. 148 - 152 p.
 30. MALUF, E.; KOLBE, W. **Dados técnicos para a indústria têxtil; manual**. São Paulo:

- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2003. 65 - 66, 69, 92, 119 - 135 p.
31. JUNKER, P. **Manual para padronagem de tecido plano**. Lisboa: Editora Brasiliense, v. 1, 1988. 12- 22 p.
 32. JUNKER, P. **Manual para padronagem de tecido plano**. Lisboa: Editora Brasiliense, v. 2 v., 1988. 5, 13 - 16 p.
 33. CHATAIGNIER, G. **Fio a fio: tecido, moda e linguagem**. [S.l.]: Estação das Letras, 2006. 65-70 p.
 34. GASI, F.; BITTENCOURT, E. Estudo das propriedades de conforto em tecidos de malha das fibras sintéticas de poliéster e poliamida 6.6: permeabilidade ao vapor, transporte de umidade e proteção ultravioleta. **Revista de Design, Inovação e Gestão Estratégica - REDIGE**, v. 1, n. 1, 2012.
 35. HIGGINS, L.; ANAND, S. Textile materials and products for activewear and sportswear, United Kingdom, 1 July 2003.
 36. MARTIN, J. R. S. Transpirando conforto: a gestão da funcionalidade e conforto nos tecidos. **Revista Química Têxtil, n° 100**, Setembro 2010.
 38. JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. JIS L 1096 - Testing methods for woven and knitted fabrics. [S.l.]: [s.n.]. 2011.
 37. W. SMITH, S. **The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing**. 1. ed. [S.l.]: California Technical Pub, 1997. 277-284 p.
 39. _____. **JIS L 1907: 2010 - Testing methods for water absorbency of textiles**. [S.l.]: [s.n.]. 2010.
 40. VOLTARELLI, R.; WATANABE, T. Propriedades de transporte de umidade em tecido de malha de poliéster, 2012.

APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DO TECIDO E DA MÁQUINA

Tear marca	Ribeiro
Modelo	RCS 4
Ano de fabricação	1982
Sistema de inserção	Lançadeira
RPM do motor	1150
RPM do eixo principal	130
Título dos fios de urdume	Ne 20/2
Material	100% Algodão
Total de fios de urdume	2288
N° de quadros de liço	8
Malhas/Quadro	286
Tipo de passamento	Quadro abaixo
N° de pente	9
Passamento/Pua	2
Densidade de urdume	18 fios/cm
Largura útil do pente	185,5 cm
Largura do tecido em pente	125,5 cm
Densidade de trama	14 fios/cm

APÊNDICE B – RAPORT DE CORES DO URDUME

Fios	
Quant	Cores
8	Azuis
2	Pretos
24	Branco
4	Azuis
4	Branco
4	Preto
4	Branco
4	Azul
24	Branco
2	Preto
8	Azul
88	Total

n° de portadas

8 portadas com 264 fios = 2112

1 portada com 176 fios = 176

Totalde fios no rolo = 2288

n° de repetições do raport = 26