

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

DANIEL SANTOS MENOSSI

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE FLUIDO EM RECIPIENTES INCLINADOS

SANTO ANDRÉ, SÃO PAULO

2021

DANIEL SANTOS MENOSSI

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE FLUIDO EM RECIPIENTES INCLINADOS

Monografia apresentada como requisito para a conclusão do curso de Engenharia de Informação da Universidade Federal do ABC.

SANTO ANDRÉ, SÃO PAULO

2021

RESUMO

A medição de nível de combustível é importante em diversos cenários e áreas de atuação, é uma métrica que auxilia o condutor de um veículo a estimar o quão longe ele poderá ir com a quantidade de combustível disponível no tanque. Porém, caso a medição indique um valor incorreto, a estimativa por parte do condutor estará errada, e a distância real que será possível conduzir o veículo será diferente. Os medidores de nível de combustível mais comuns, encontrados em carros e motocicletas são sensores compostos por uma resistência variável acoplada a um braço com uma boia na ponta, ao inserir o sensor dentro do tanque, a boia se encontrará sempre na superfície do líquido e a resistência apresentada está diretamente relacionada a altura da boia dentro do tanque. Um dos problemas de se medir o nível de combustível dessa maneira é que o sensor de boia não considera a inclinação da superfície na qual o tanque está, logo, caso haja uma inclinação, o valor apresentado pela resistência estará incorreto. Neste trabalho, é feita uma tentativa de corrigir este problema, minimizando os erros associados à inclinação da superfície. Utilizando um sistema microprocessado e um giroscópio, é possível mapear os diferentes valores da resistência para um mesmo volume em diferentes inclinações e, com isso, determinar com mais precisão qual é o nível de combustível dentro do tanque, mesmo que a superfície esteja inclinada.

Palavras-Chave: Medição de nível de combustível, Resistência variável, Sistema microprocessado, Giroscópio.

ABSTRACT

Fuel level measurement is important in several scenarios and areas of expertise, it is a metric that helps the driver to estimate how far he can go with the amount of fuel available in the tank. However, if the measurement indicates an incorrect value, the driver's estimate will be wrong, and the actual distance that will be possible to drive the vehicle will be different. The most common fuel gauges, found in cars and motorcycles, are sensors made with a variable resistance coupled to an arm with a float at the end, when inserting the sensor inside the tank, the float will always be on the liquid's surface and the presented resistance is directly related to the height of the float inside the tank. One of the problems with this type of measurement is that the float sensor does not take into account the slope of the surface in which the tank is on, so if there is a slope, the value shown by the resistance will be incorrect. In this paper, an attempt is made in order to try and fix this problem, mitigating the errors associated with the surface's slope. Using a microcontroller and a gyroscope, it is possible to map the irregular resistance values for the same volume at different slopes, and with that, determine the fuel level inside the tank in a more accurate way, even if the surface is inclined.

Key-Words: Fuel level measurement, Variable resistance, Microcontroller, Gyroscope.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. OBJETIVO.....	7
3. MODELAGEM INICIAL.....	8
4. MATERIAIS UTILIZADOS.....	9
5. METODOLOGIA.....	10
6. RESULTADOS OBTIDOS.....	12
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	12
8. CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
APÊNDICE A - VALORES DE RESISTÊNCIA MEDIDOS EM TODAS AS INCLINAÇÕES.....	29
APÊNDICE B - DIFERENÇAS DE VOLUME E FATORES DE CORREÇÃO SUGERIDOS.....	39

1. INTRODUÇÃO

Medir o nível de combustível é extremamente importante em automóveis, visto que esta é uma informação crítica que ajuda o usuário do veículo a estimar a distância que poderá ser percorrida com a quantidade disponível de combustível. Normalmente, essa medida é feita através de um sensor localizado dentro do tanque de combustível, que é composto de duas partes principais, um flutuador, que mede o nível atual do fluido dentro do tanque, e uma resistência variável, que está acoplada ao flutuador. Os valores apresentados por esta resistência estão diretamente relacionados à posição do flutuador, caso o tanque esteja vazio, o flutuador se encontrará encostado na superfície inferior do tanque e a resistência medida pelo sensor será a maior, indicando que o tanque está vazio. A medida que o tanque é preenchido, o flutuador muda de posição, e estará sempre no nível do fluido, com isso, a resistência medida diminui até chegar no menor valor, que corresponderá ao tanque completamente cheio. A figura a seguir ilustra um modelo atual de uma boia de combustível:

Figura 1: Modelo de uma boia de combustível padrão.



Fonte: [1]

Existem outras maneiras de medir mais precisamente o volume de um tanque de combustível como, por exemplo, no caso de aeronaves, onde a imprecisão nessa medida deve ser evitada, já que as consequências de uma imprecisão nestes casos podem ser catastróficas. Nos aviões de grande porte, o sensor presente nos tanques emprega uma tecnologia diferente, sendo um sensor capacitivo ou ultrassônico. Esta medida é auxiliada por outros tipos de sensores, que fornecem informações sobre a altitude e a temperatura do tanque e com isso, a informação apresentada sobre o nível atual de fluido no tanque é mais confiável [2].

De volta ao problema de medição do volume de combustível em automóveis, pela natureza do sensor de boia, há a possibilidade de erro na leitura do nível de combustível atual, pois esse dispositivo mede a altura do líquido dentro do tanque tendo como referência uma superfície plana. Logo, se o tanque é inclinado para algum lado, a altura do combustível dentro do tanque também varia, mas o sensor não capta essa inclinação e acaba retornando uma medida errada [3]. Apesar da baixa precisão, é uma solução barata, por isso, é a mais utilizada nos carros atualmente.

Existem algumas soluções que tentam contornar este problema. Com o auxílio de sensores não exclusivamente acoplados ao tanque de combustível, é possível determinar as condições em que o veículo se encontra, se está estacionado, se está em uma superfície inclinada e se está acelerando ou desacelerando, sendo assim, uma medição mais precisa pode ser feita. Caso o veículo se encontre em uma condição estacionária, pode-se usar uma leitura rápida e direta do sensor de combustível, porém, caso encontre-se em movimento, é feita uma estimativa do consumo de combustível com o auxílio de um sensor de injeção, no período em que o veículo estava em movimento. Com essa estimativa, pode-se subtrair o valor calculado do quanto havia no tanque antes das condições não-estacionárias existirem e, portanto, as condições adversas de operação na qual o veículo se encontra se tornam menos relevantes ao medir o nível de combustível [4].

Outra possibilidade, mais simples, é a de acoplar um sensor de inclinação ao aparato de medição de combustível, a fim de medir se a inclinação na qual o veículo se encontra está dentro de uma faixa plausível. Neste método, o volume de combustível medido é armazenado apenas se a inclinação do veículo está dentro da faixa permitida, caso contrário, as medições são desconsideradas e é aplicado um fator de correção na última medida válida considerando o ângulo de inclinação do veículo [5].

Desta forma, este trabalho visa desenvolver um método barato e mais eficiente de medição de volume de fluidos em recipientes em movimento.

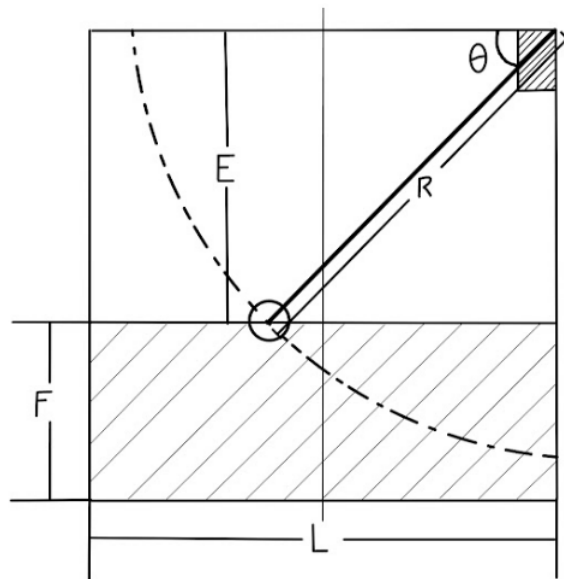
2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho, portanto, será melhorar a precisão da medida de nível de combustível do sensor de boia, tentando compensar o erro associado à inclinação do tanque com o auxílio de um giroscópio e um sistema microprocessado, capaz de receber e interpretar as informações enviadas pela boia de combustível e pelo giroscópio.

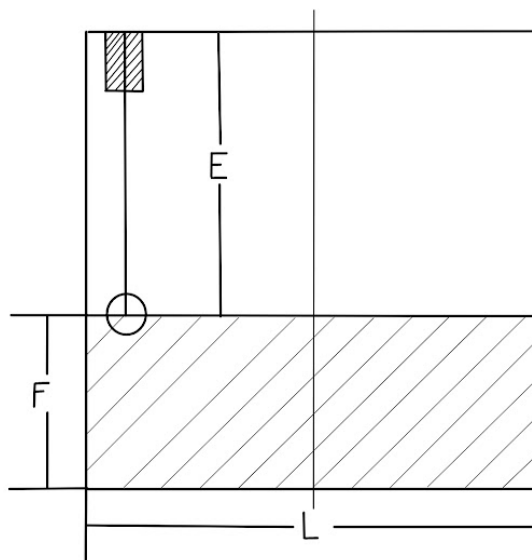
3. MODELAGEM INICIAL

Para ilustrar o problema de forma mais clara, será considerado um tanque de formato cúbico, com o sensor de boia preso em uma das extremidades. Nas imagens a seguir, o tanque está no plano. F representa a altura do combustível dentro do tanque, θ é o ângulo da boia com relação a superfície superior, L é o comprimento dos lados do tanque, E é a altura sem combustível e R é a extensão do corpo do sensor [3].

Desenho 1: Vista lateral do tanque de combustível com o sensor acoplado.



Desenho 2: Vista frontal do tanque de combustível com o sensor acoplado.



Pelo desenho 2, é possível perceber que caso haja alguma inclinação para algum dos lados, sem alterar o volume dentro do tanque, a posição da boia irá mudar, causando um erro na medição do volume de combustível dentro do tanque.

Caso a inclinação seja para a direita, o sensor irá indicar um valor menor do que o real e caso a inclinação seja para a esquerda, indicará um valor maior do que o real.

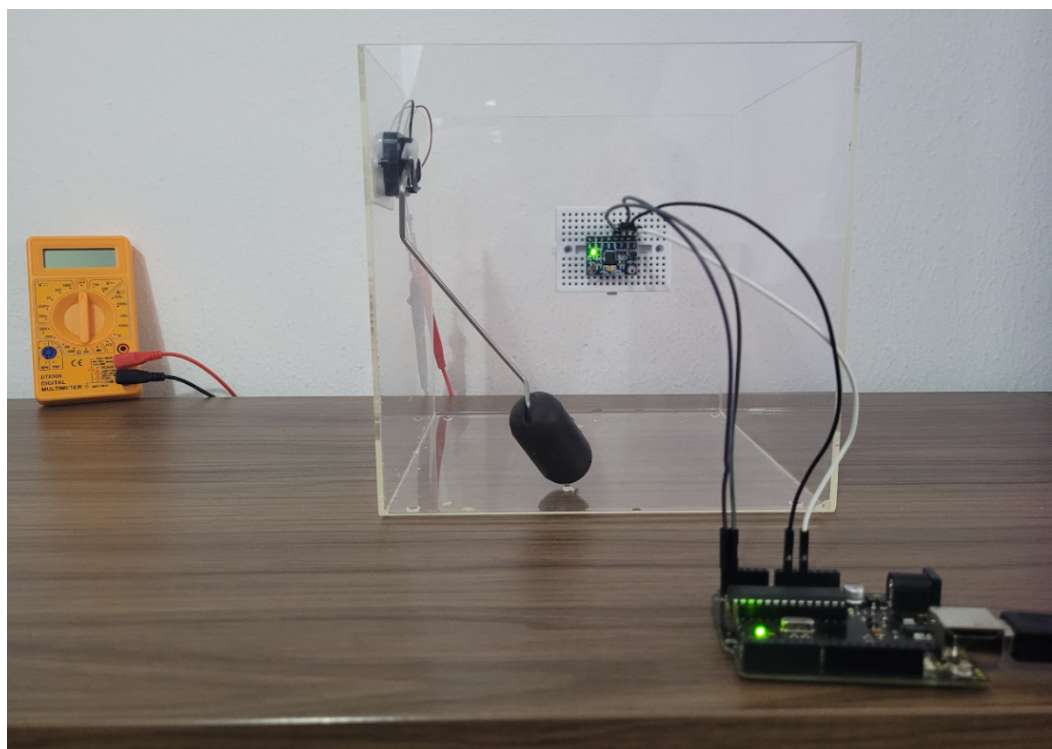
Com o giroscópio acoplado a parede do tanque, o volume de líquido conhecido e o valor da resistência apresentada pela boia, será possível medir a inclinação do tanque e tentar corrigir os erros de medida associados ao cenário exposto anteriormente, onde a inclinação do tanque gera um erro no valor medido pela boia.

4. MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para a realização do experimento estão listados a seguir:

- Placa BlackBoard UNO V1.0 (Arduino UNO);
- Sensor giroscópio e acelerômetro MPU6050;
- Boia de combustível MHX Motoparts;
- Multímetro digital EDA DT830B;
- 2 Cabos para multímetro com ponta agulha;
- 4 Cabos Jumper Macho x Macho;
- Mini Protoboard 170 furos;
- Caixa de acrílico com dimensões 20 cm x 20 cm x 20 cm;

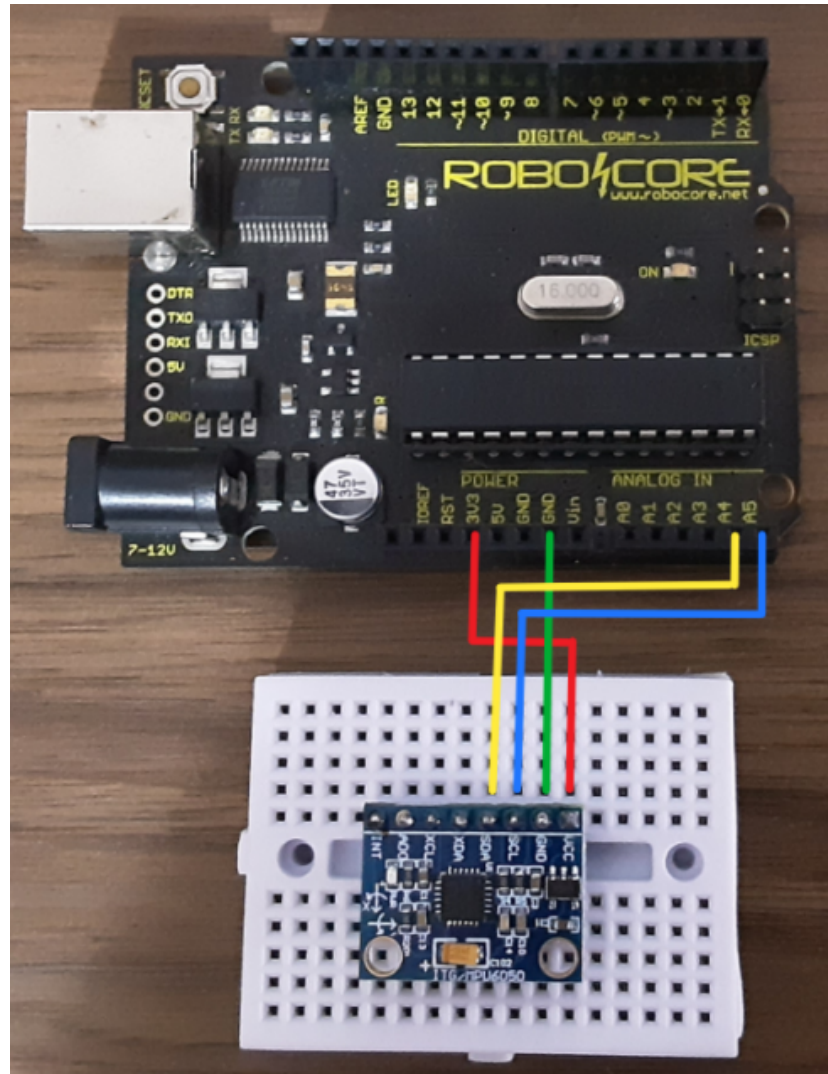
Figura 2: Cenário de testes com os materiais listados anteriormente.



5. METODOLOGIA

Para montar o cenário de testes, primeiro a boia foi presa na parede da caixa a uma altura onde ficasse na iminência de tocar a base, o próximo passo foi encaixar o sensor MPU 6050 na mini protoboard e fixá-la na parede do tanque, o sensor foi conectado ao arduino, seguindo o esquema apresentado a seguir:

Figura 3: Esquema eletrônico para conectar o sensor MPU6050 no Arduino.



O Arduino foi então conectado ao computador por uma porta USB, e foi configurado através da IDE proprietária, utilizando a biblioteca MPU6050_tockn. Por fim, as duas pontas de prova do multímetro foram conectadas aos fios da boia para apresentar a resistência medida.

Após a montagem do cenário de testes, o primeiro passo foi encontrar o volume máximo no qual se verifica alteração na resistência medida pela boia. A faixa de resistência medida varia de 274 Ohms, quando o tanque está vazio, até 10 Ohms,

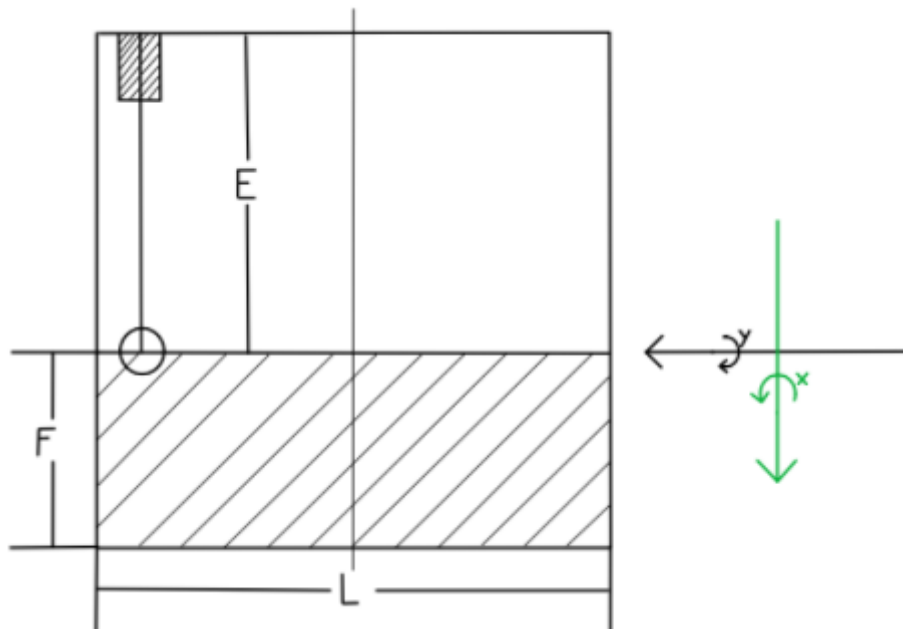
quando o tanque está cheio. A quantidade de água inserida na caixa foi medida pelo uso de um recipiente graduado e calculada utilizando a equação 1:

$$Volume = Lado * Lado * Altura \text{ (1)}$$

Ao final deste processo, a altura da coluna de água dentro do recipiente era de 10,75 cm de altura, sabendo que os lados da caixa possuem 20 cm, e utilizando a equação 1, tem-se que o volume máximo onde há alteração na resistência da boia foi de 4,3 Litros, valor este que foi o mesmo medido utilizando os valores do recipiente graduado. Nesta etapa também foi medido o valor de resistência da boia a cada 100 ml de água inseridos na caixa, a fim de mapear e representar os valores de volume em porcentagem, para uma melhor representação dos dados colhidos.

A segunda etapa do processo foi encher a caixa em 10% do valor máximo (430 ml), e incliná-la através dos eixos X e Y, de 5 ° em 5 ° até um máximo de 30 ° ou até um mínimo de -30 °. Os valores dos ângulos de inclinação foram medidos utilizando o Arduino em conjunto com o sensor MPU6050. Os valores de resistência foram medidos ligando as pontas de prova do multímetro aos fios existentes na boia de combustível utilizada e configurando o multímetro para leitura de resistência.

Desenho 3: Vista frontal do cenário de testes com os eixos de inclinação.



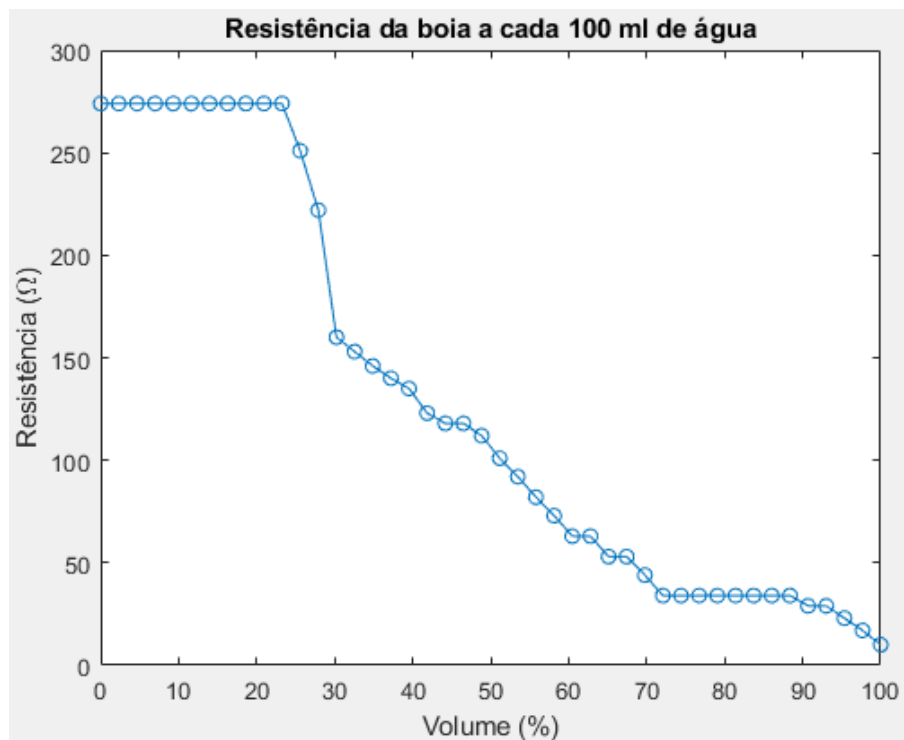
Esse procedimento foi repetido por 10 vezes, até que o volume máximo da caixa fosse atingido. Em cada volume de água e a cada 5 ° de inclinação a resistência da boia foi aferida e anotada em uma tabela. Esse processo foi realizado

por duas pessoas, um dos indivíduos encheu a caixa com a água e a inclinou até a angulação desejada, enquanto o outro anotou os valores de resistência medidos pela boia e apresentados pelo multímetro.

6. RESULTADOS OBTIDOS

A seguir, no gráfico 1, é possível ver os valores de resistência medidos pela boia a cada 100 ml de água inserida na caixa.

Gráfico 1: Resistência medida a cada 100 ml de água.



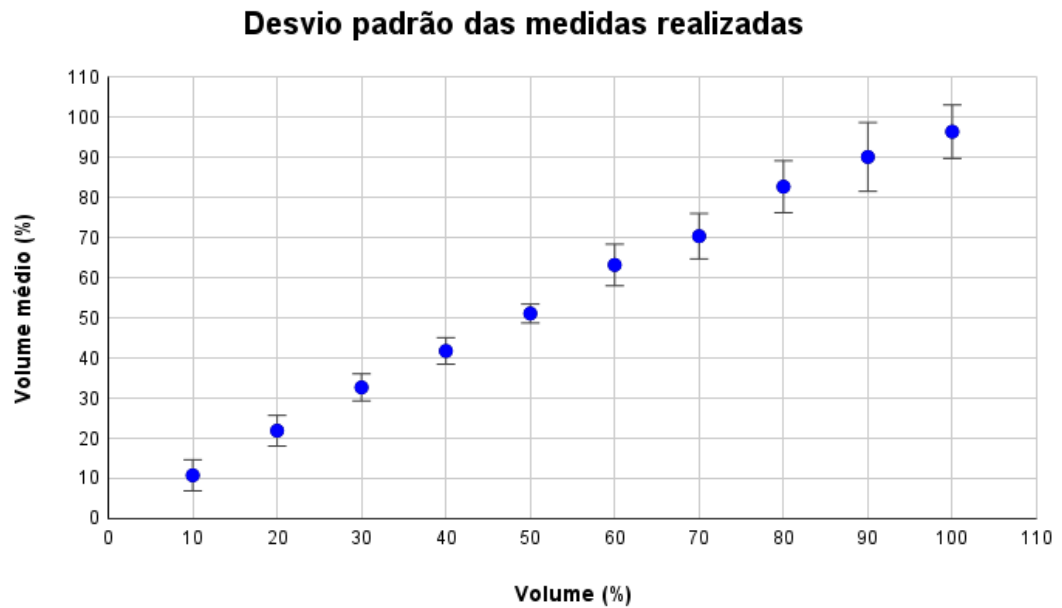
As tabelas 1 a 10, dispostas no apêndice A, mostram os valores de resistência ao inclinar a caixa nos diferentes eixos e em diferentes angulações, fixando em cada tabela, o volume de líquido.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pelo gráfico 1, é possível perceber que a resistência marcada pela boia não segue um padrão à medida que o volume de água aumenta, esse efeito é mais perceptível nas faixas de volume de 0% à 25% e de 70% à 90%, onde a resistência se mantém constante.

A seguir, no gráfico 2, é mostrado o desvio padrão de todas as medidas realizadas no experimento, por faixa de volume.

Gráfico 2: Desvio padrão das medidas de volume aferidas no experimento.



Pelo desvio padrão apresentado, é possível visualizar a diferença entre os erros associados a cada medida de volume, tornando assim inviável a utilização de uma equação matemática que satisfaça e corrija os valores medidos incorretamente.

Portanto, para tentar resolver o problema das medições incorretas, serão estimados alguns fatores de correção, levando em consideração os valores apresentados pela boia quando a caixa está inclinada e os valores esperados para aquela quantidade de líquido quando a caixa está no plano.

Através dos gráficos a seguir, é possível visualizar a variação de volume em um ângulo de inclinação fixo, comparando com os valores esperados de volume quando a caixa está no plano.

Gráfico 3: Resistência medida ao inclinar a caixa em $Y + 5^\circ$.

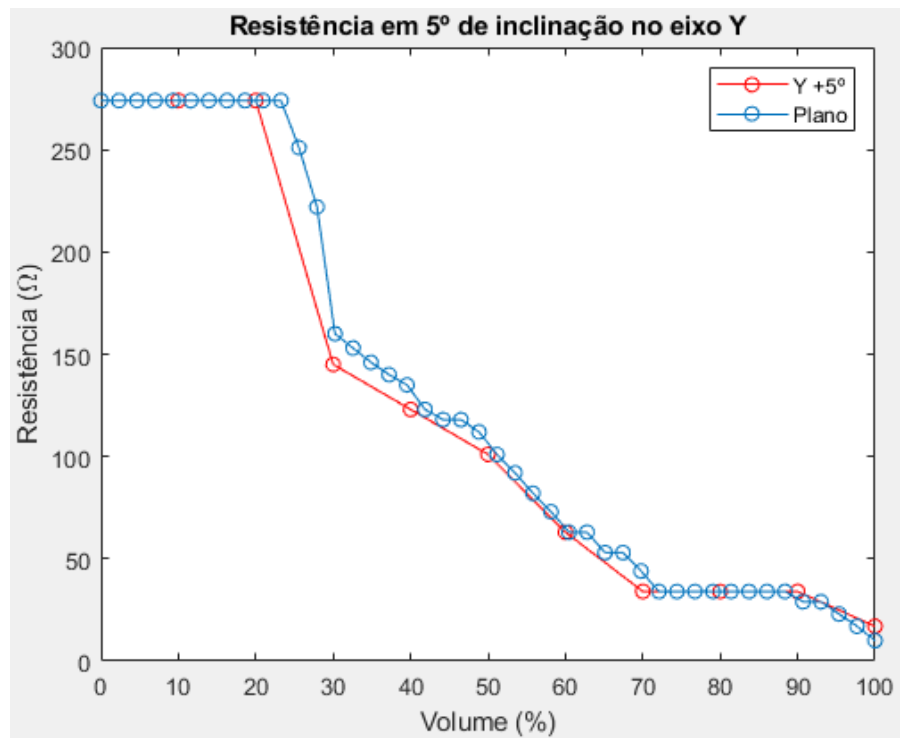


Gráfico 4: Resistência medida ao inclinar a caixa em $Y + 10^\circ$.

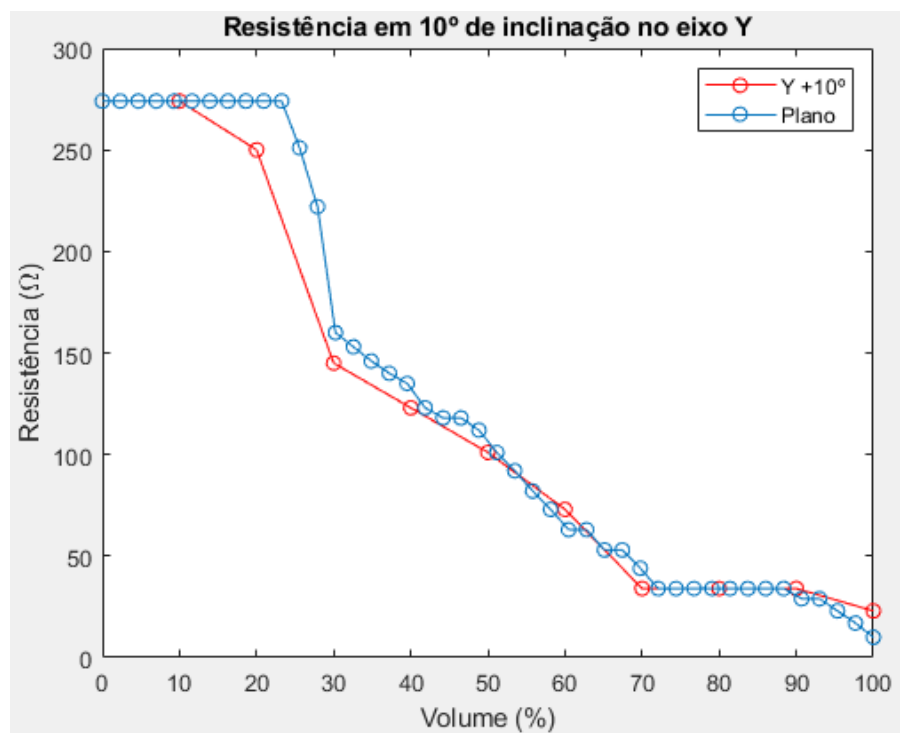


Gráfico 5: Resistência medida ao inclinar a caixa em $Y + 15^\circ$.

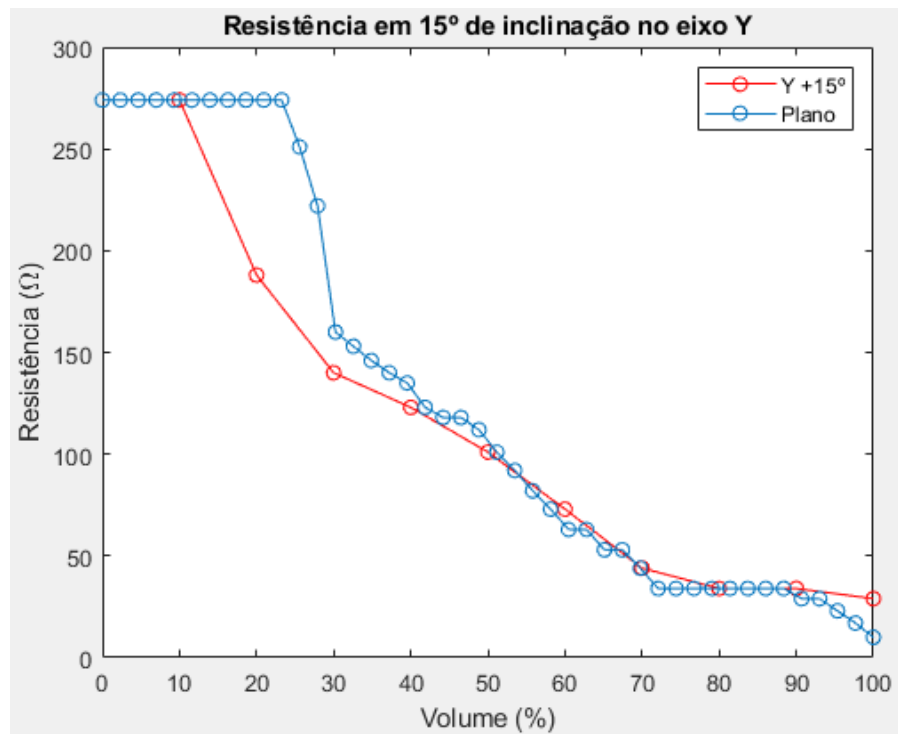


Gráfico 6: Resistência medida ao inclinar a caixa em $Y + 20^\circ$.

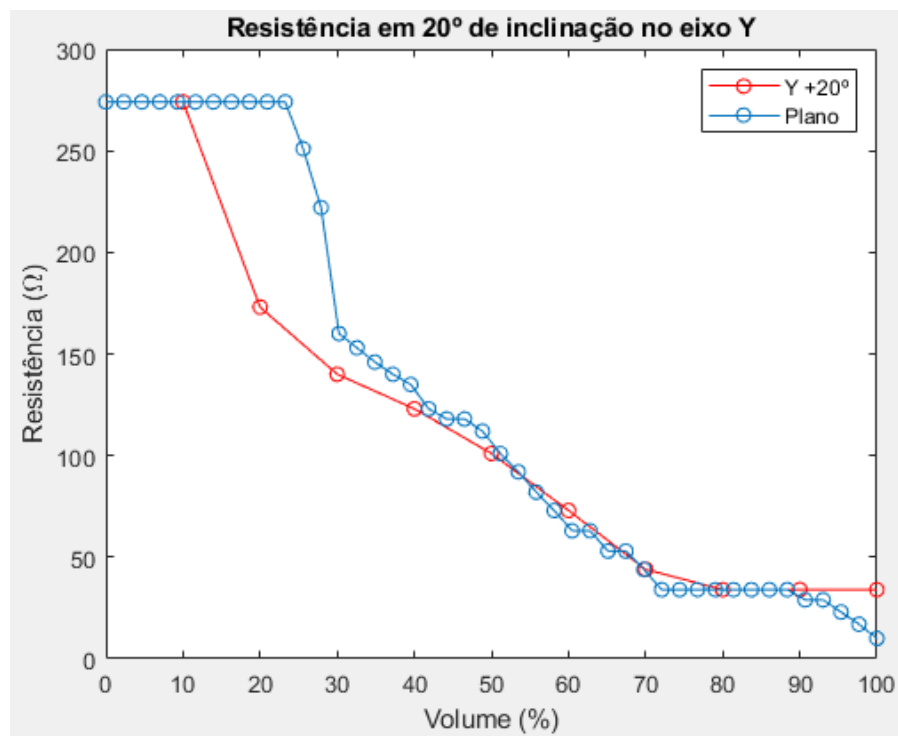


Gráfico 7: Resistência medida ao inclinar a caixa em $Y + 25^\circ$.

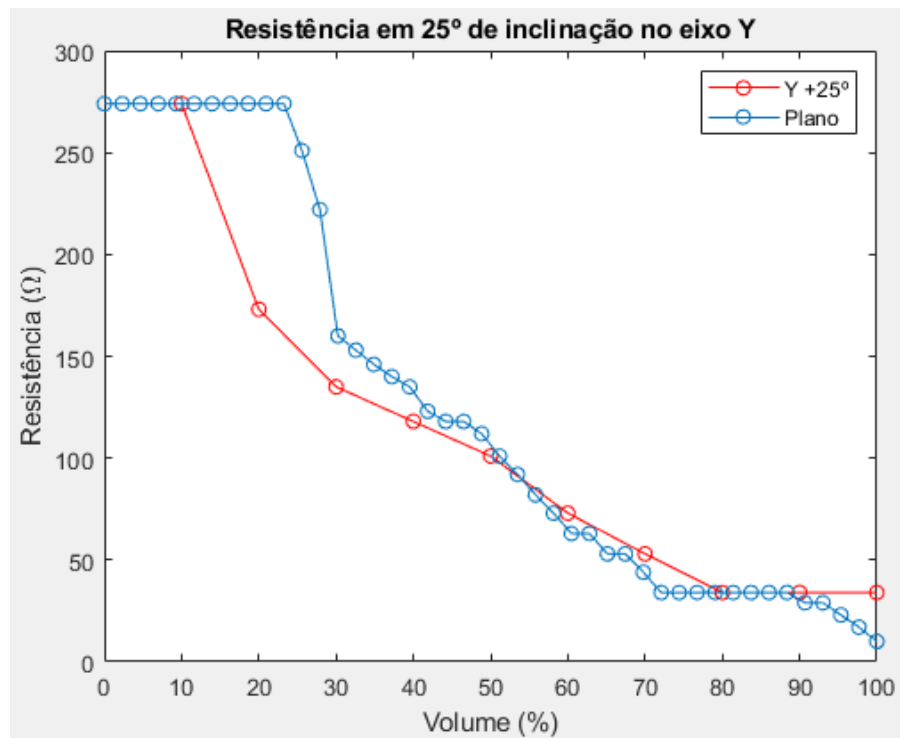


Gráfico 8: Resistência medida ao inclinar a caixa em $Y + 30^\circ$.

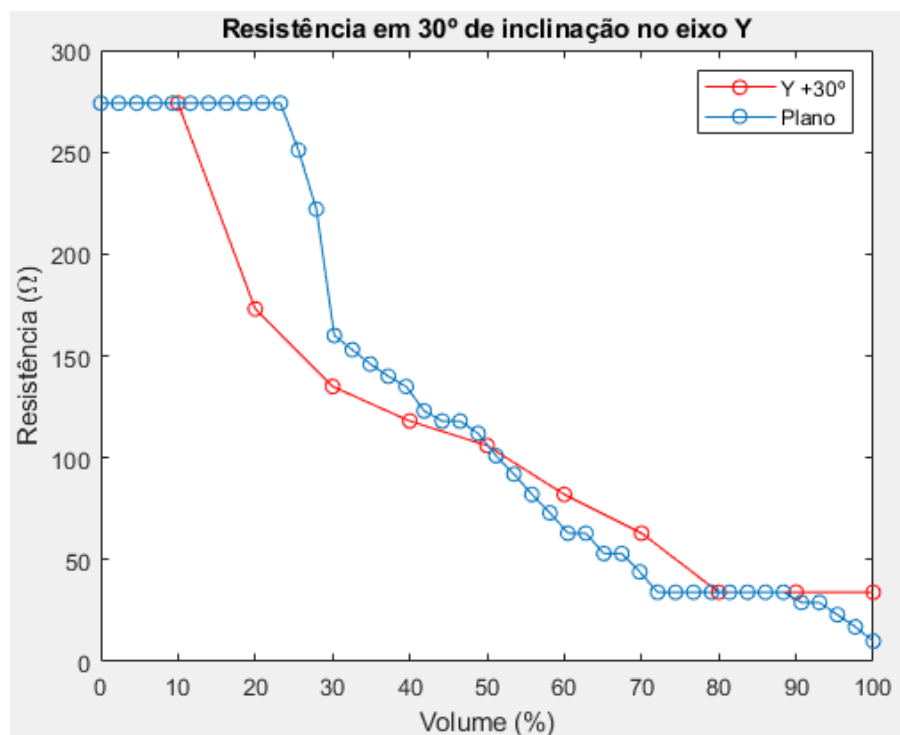


Gráfico 9: Resistência medida ao inclinar a caixa em Y - 5°.

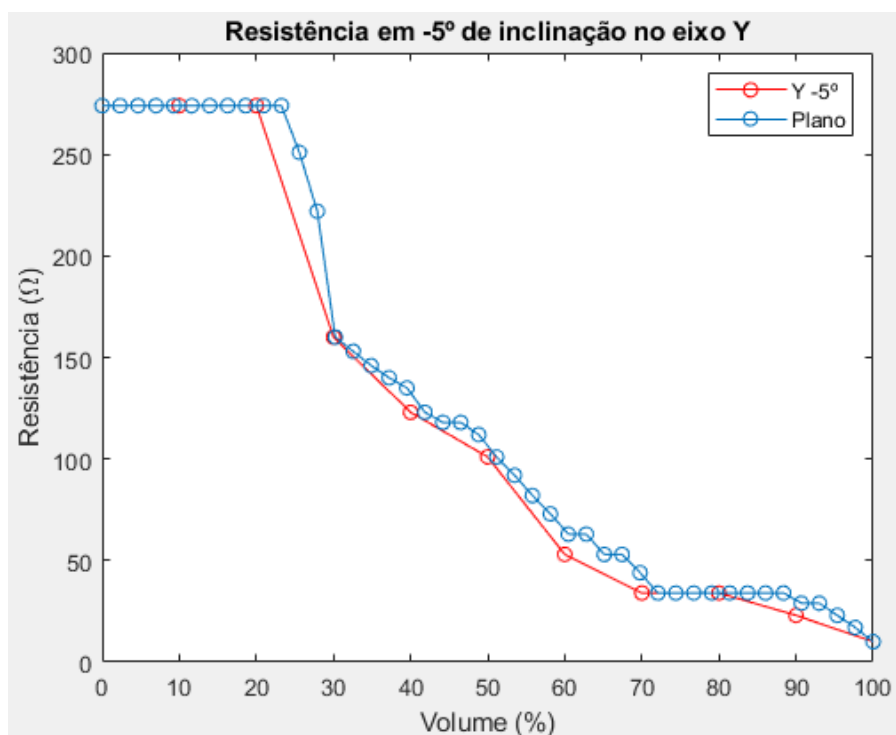


Gráfico 10: Resistência medida ao inclinar a caixa em Y - 10°.

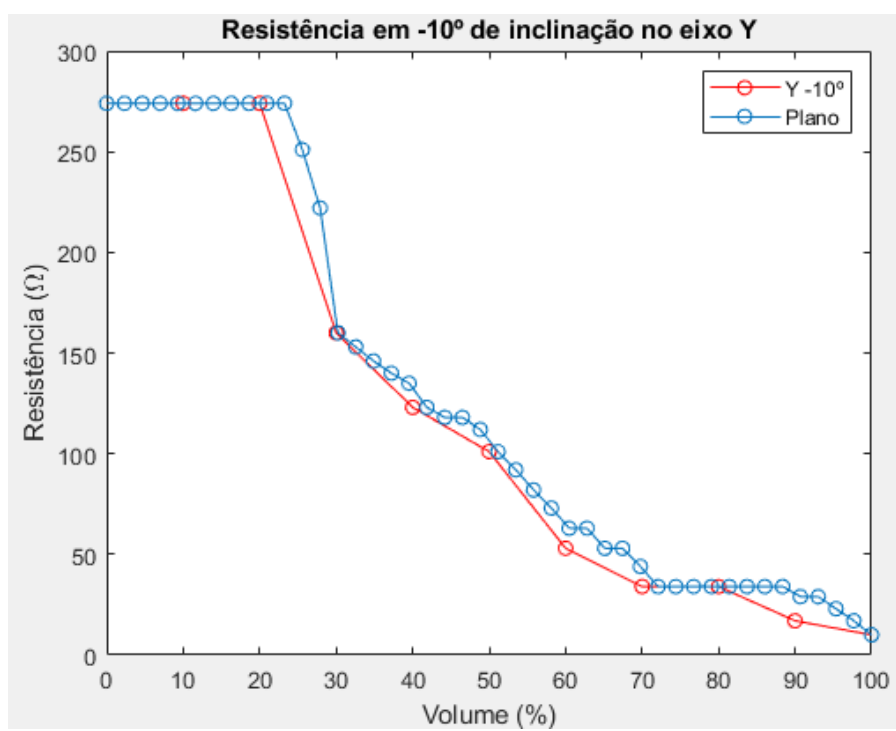


Gráfico 11: Resistência medida ao inclinar a caixa em Y - 15°.

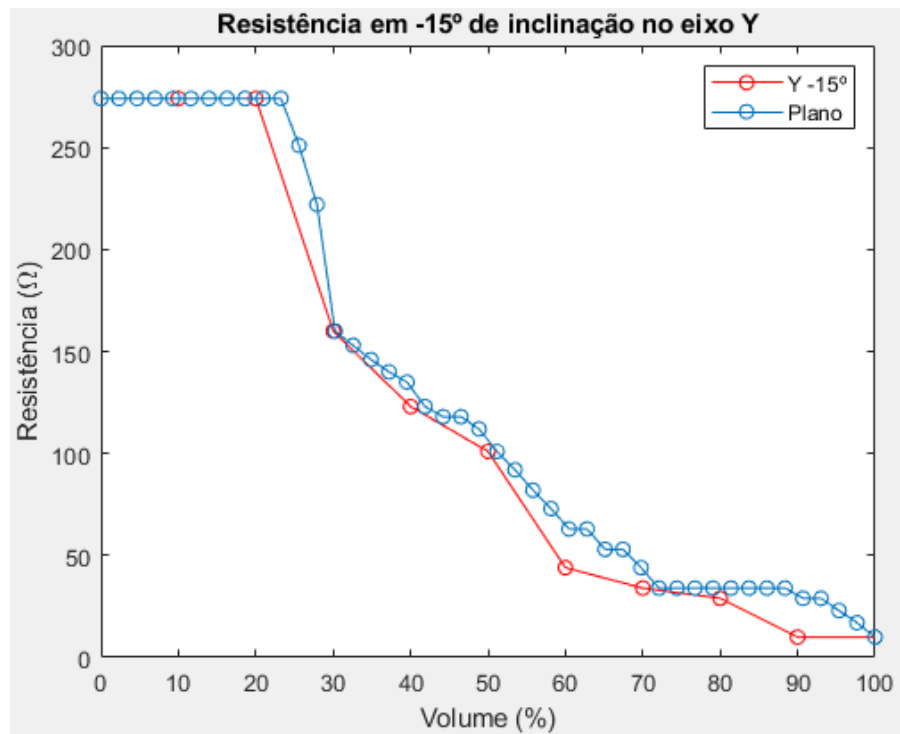


Gráfico 12: Resistência medida ao inclinar a caixa em Y - 20°.

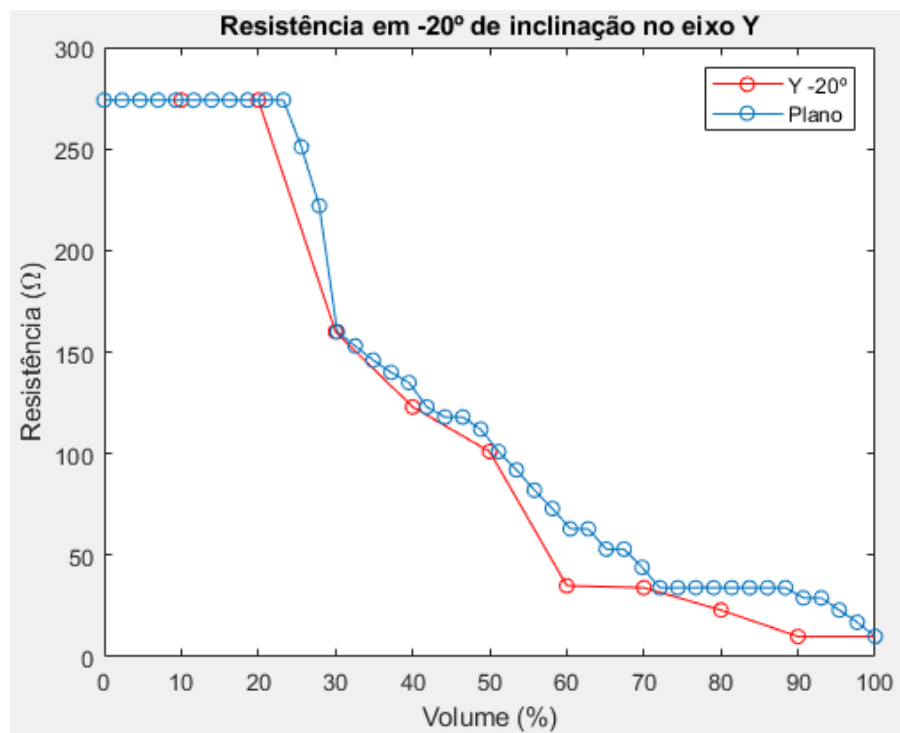


Gráfico 13: Resistência medida ao inclinar a caixa em Y - 25°.

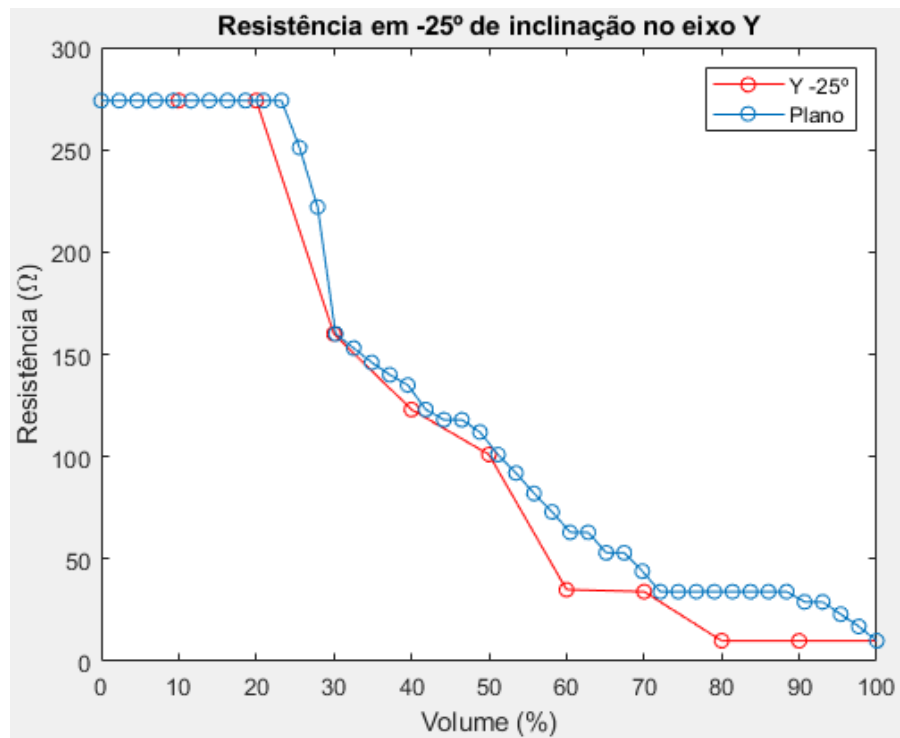


Gráfico 14: Resistência medida ao inclinar a caixa em Y - 30°.

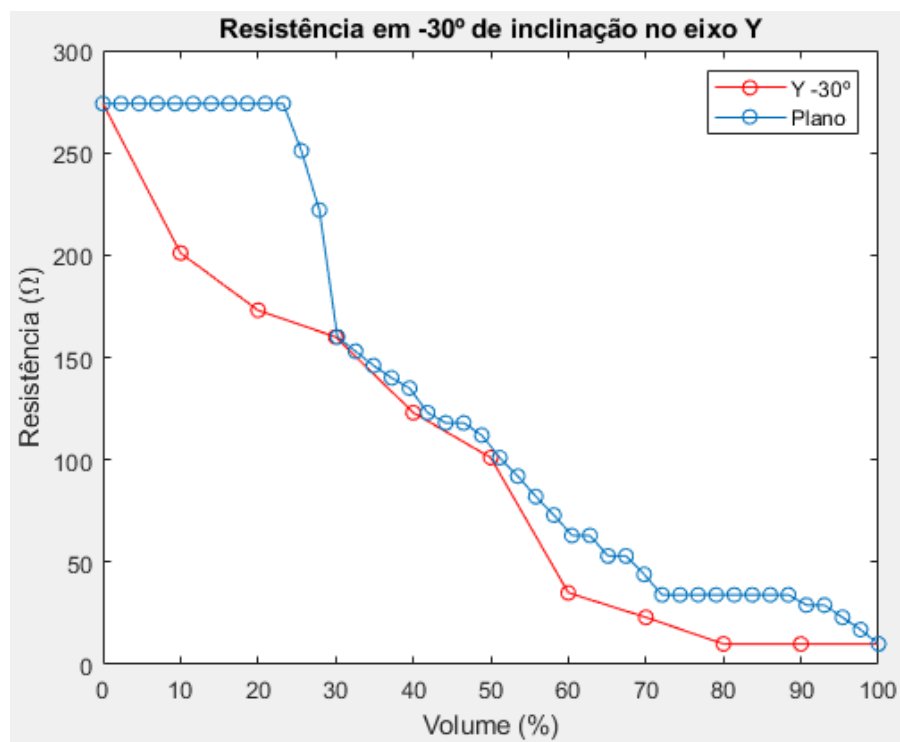


Gráfico 15: Resistência medida ao inclinar a caixa em $X + 5^\circ$.

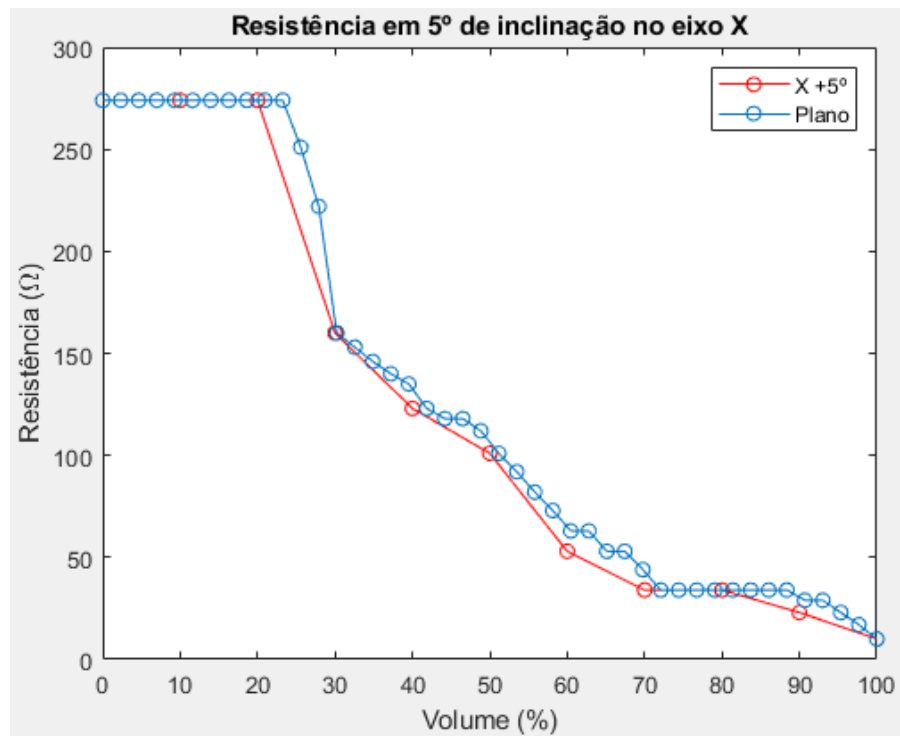


Gráfico 16: Resistência medida ao inclinar a caixa em $X + 10^\circ$.

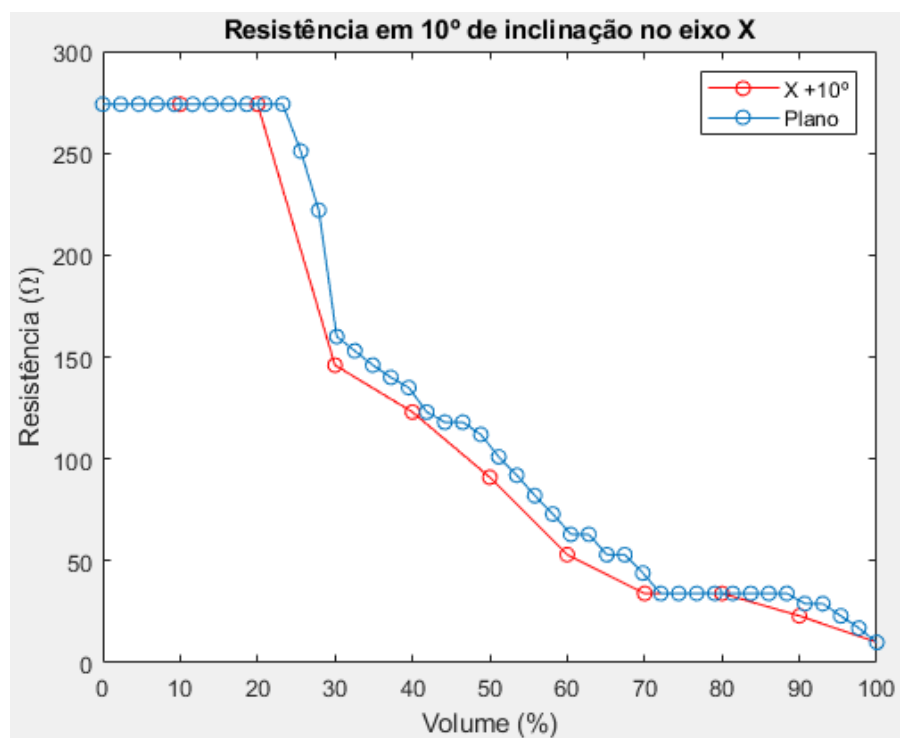


Gráfico 17: Resistência medida ao inclinar a caixa em $X + 15^\circ$.

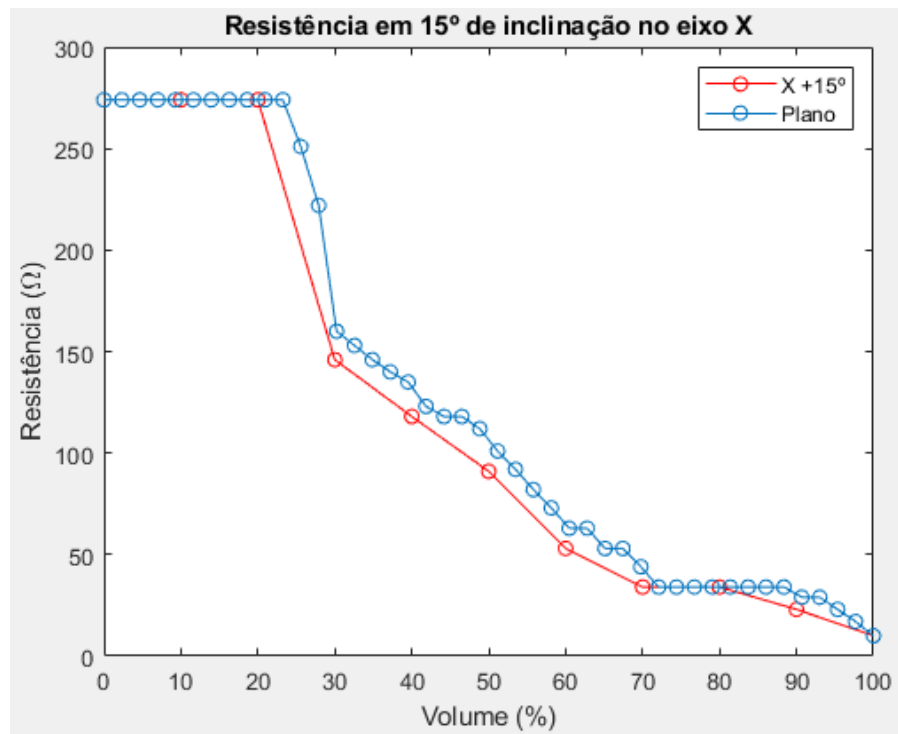


Gráfico 18: Resistência medida ao inclinar a caixa em $X + 20^\circ$.

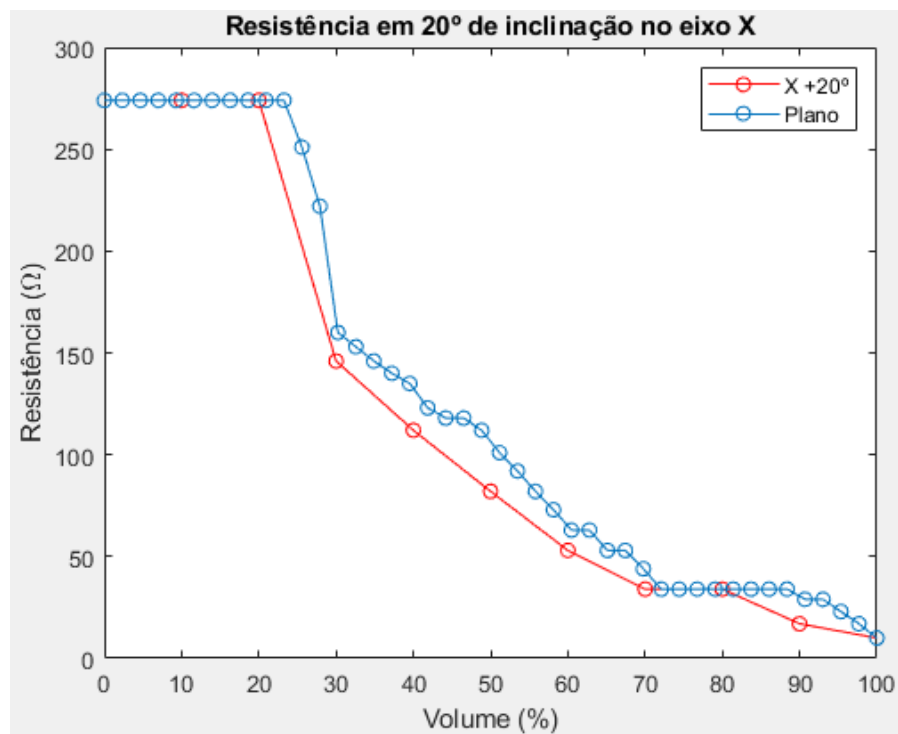


Gráfico 19: Resistência medida ao inclinar a caixa em $X + 25^\circ$.

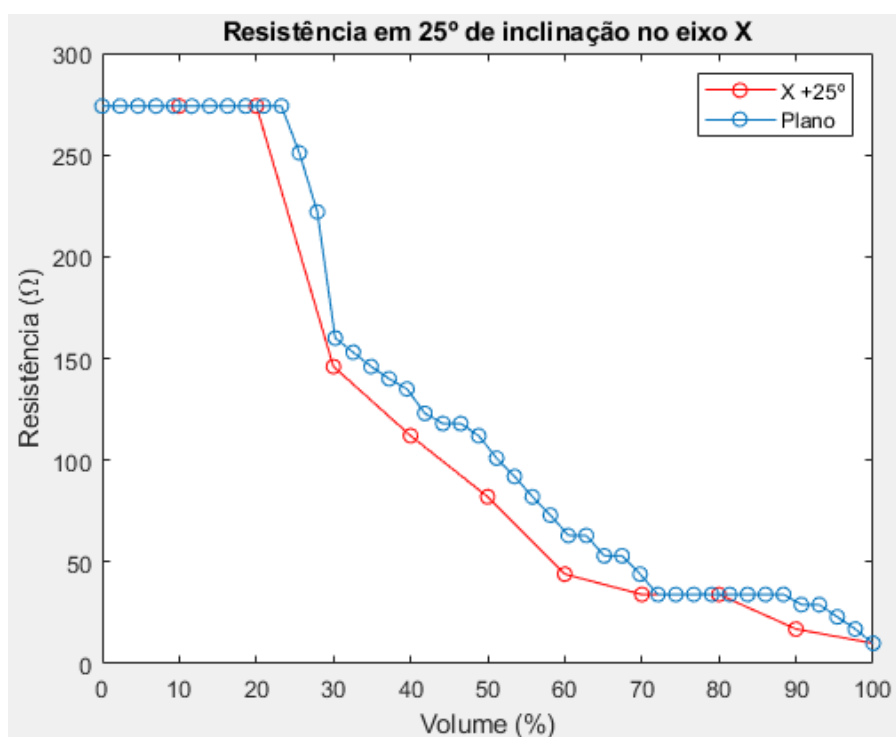


Gráfico 20: Resistência medida ao inclinar a caixa em $X + 30^\circ$.

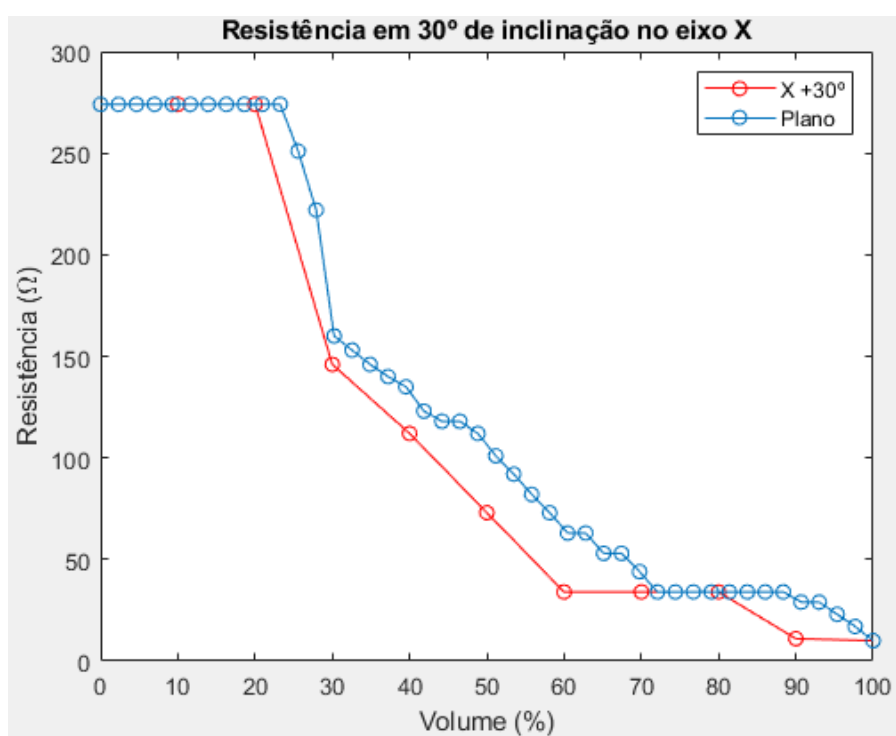


Gráfico 21: Resistência medida ao inclinar a caixa em X - 5°.

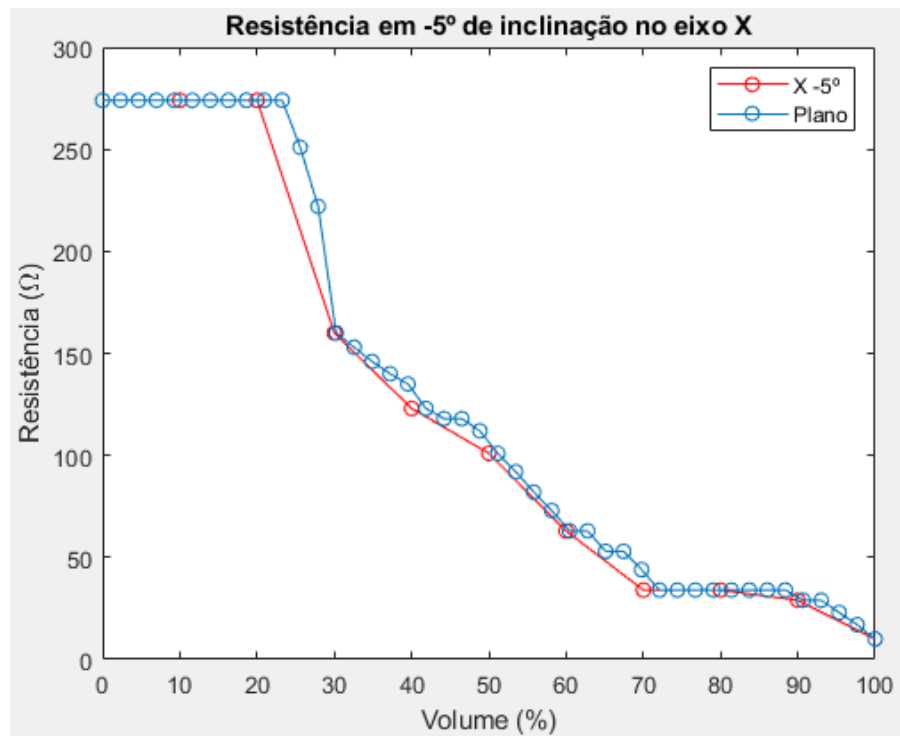


Gráfico 22: Resistência medida ao inclinar a caixa em X - 10°.

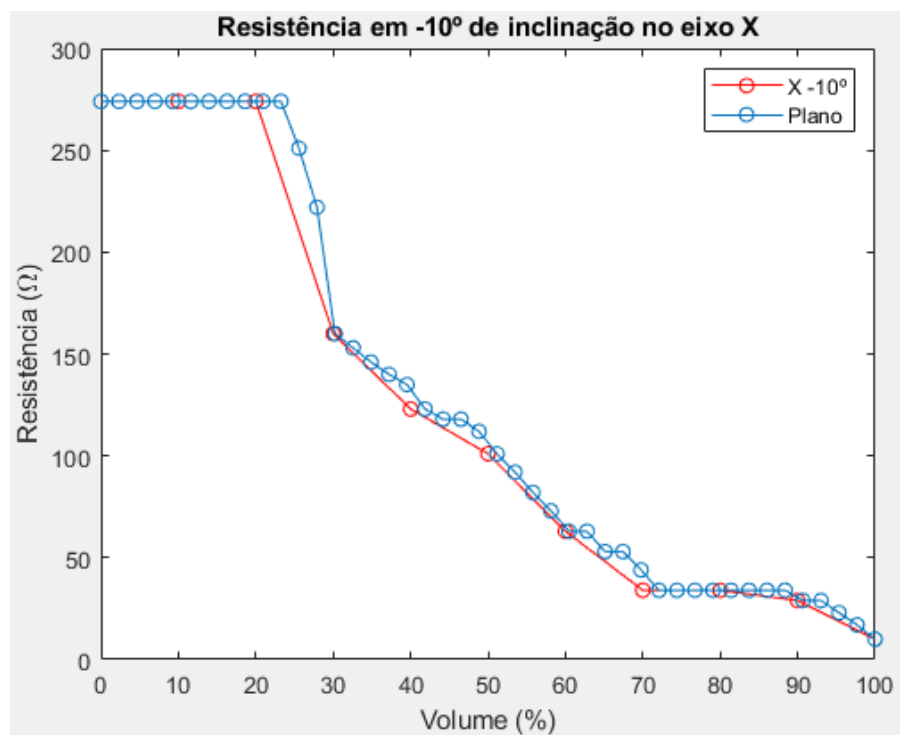


Gráfico 23: Resistência medida ao inclinar a caixa em X - 15°.

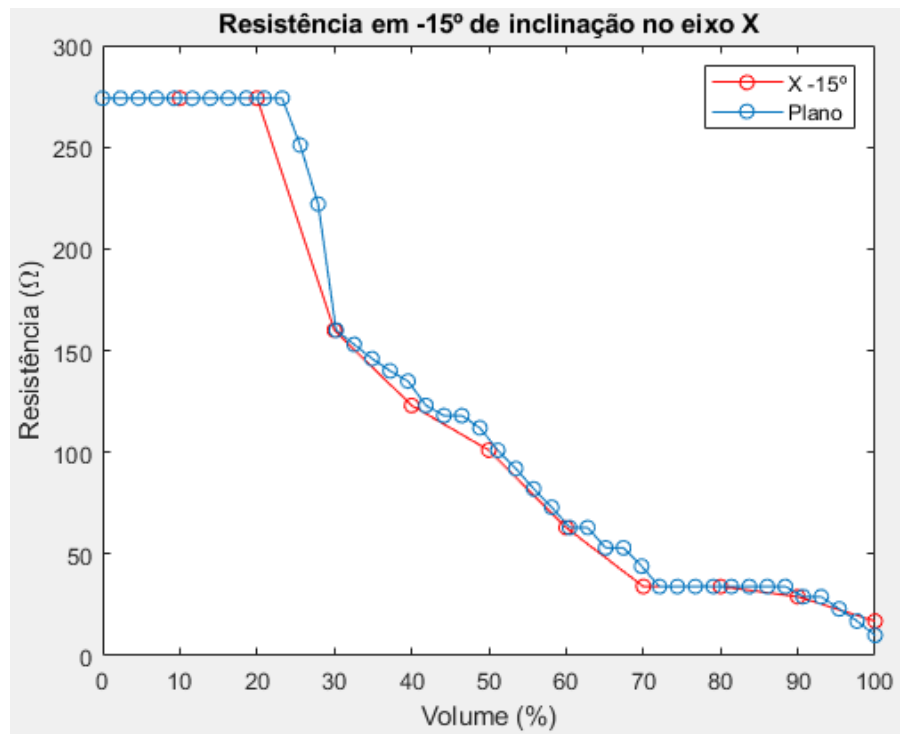


Gráfico 24: Resistência medida ao inclinar a caixa em X - 20°.

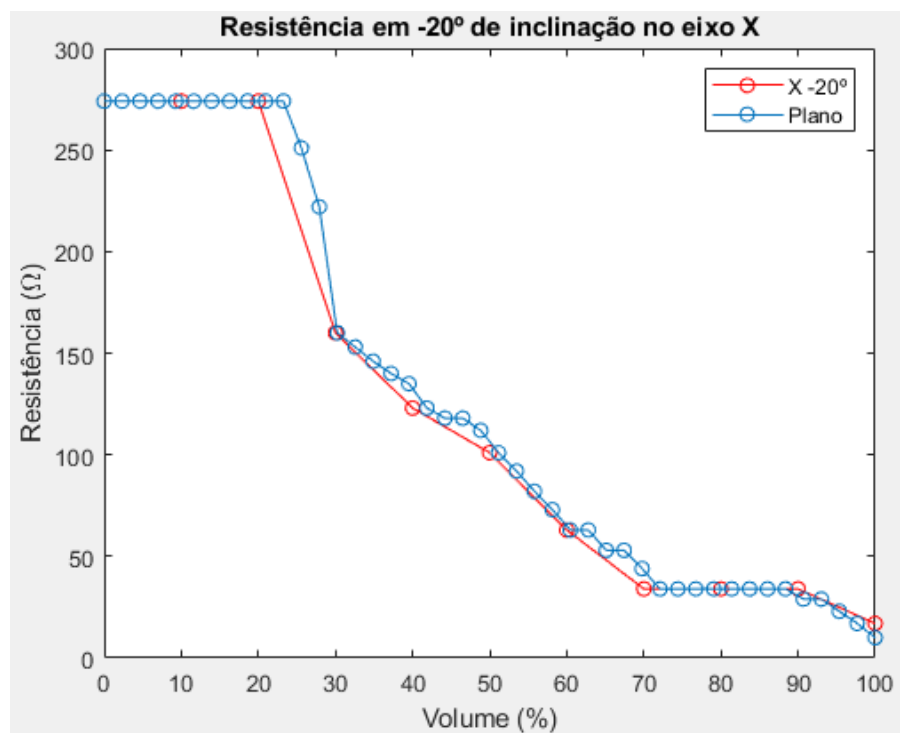


Gráfico 25: Resistência medida ao inclinar a caixa em X - 25°.

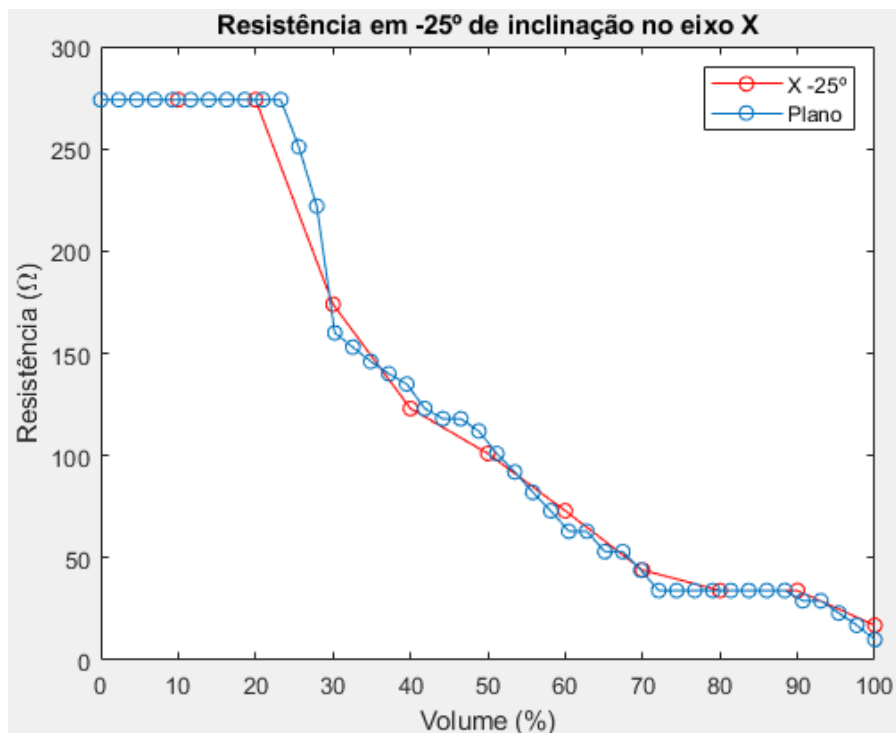
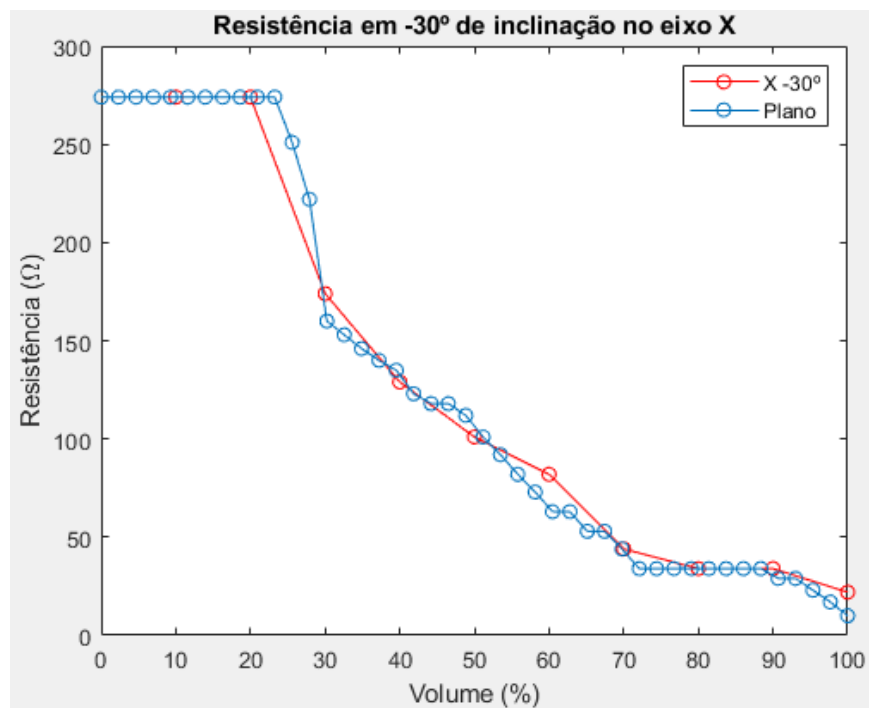


Gráfico 26: Resistência medida ao inclinar a caixa em X - 30°.



Fixando o ângulo de inclinação e variando o volume, é possível determinar os fatores de correção para cada inclinação testada, levando em consideração a resistência apresentada pela boia, o valor da inclinação atual da caixa e o volume esperado quando a caixa está no plano. As tabelas de 11 a 35, dispostas no apêndice B, contém os valores utilizados para gerar os gráficos acima como também, os fatores de correção sugeridos para cada medida.

Com os fatores de correção determinados, a abordagem ideal seria encontrar uma equação que pudesse relacionar as variáveis existentes no problema, mas como é possível analisar através dos resultados e gráficos apresentados, o comportamento das variações de resistência não são lineares ou constantes, a ponto de ser possível encontrar uma relação matemática para resolver o problema apresentado.

Desta forma, a correção é feita utilizando como base os valores de referência do nível de combustível quando a caixa está no plano e os valores apresentados em determinada inclinação. Em um cenário realista, o procedimento seria armazenar como valor de referência a última medida de nível de combustível quando o veículo ainda se encontrava no plano, com isso é possível saber qual o nível atual de fluido dentro do tanque, e comparar essa medida de referência com a medida atual, onde há inclinação, e assim, aplicar o fator de correção correspondente à situação apresentada, esse valor corrigido se tornaria o novo valor de referência para a próxima medição e assim sucessivamente, até que o veículo se encontre em uma superfície plana novamente.

8. CONCLUSÃO

A solução apresentada neste trabalho é uma abordagem mais simplista, quando comparada com as soluções existentes e que são discutidas no início deste trabalho. É uma solução de baixo custo que emprega o uso de dispositivos e mecanismos previamente existentes em um veículo, com exceção talvez, do giroscópio. Tanto o microcontrolador quanto a boia de combustível estão presentes em veículos com sistemas de injeção eletrônica, e o giroscópio é um componente barato e simples de ser utilizado.

O método desenvolvido é testado em diversos cenários de declives que o motorista de um veículo poderá enfrentar, encontrando um fator de correção para cada situação e assim, corrigindo as medições incorretas.

Os resultados, apesar de satisfatórios e de resolverem o problema, poderiam ser mais consistentes.

Para realizar as medições, por exemplo, poderia ser utilizado um suporte para o tanque, onde se tem um controle exato da inclinação da superfície. Outra melhoria que pode ser implementada é com relação ao sensor utilizado, no momento da realização deste trabalho, o MPU6050 era o sensor mais barato encontrado no mercado, e em algumas medições a calibração não era exata e precisava ser refeita, para que todos os testes fossem feitos de maneira consistente. Sendo assim, um sensor de melhor qualidade provavelmente não teria esse problema.

Dito isso, o custo-benefício desta solução é relevante e algo que deve ser levado em conta ao analisar os problemas e as limitações do sistema projetado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DWYLER, Dwyler Equipamentos Industriais. Como funcionam os sensores de nível de combustível nos carros atuais? Disponível em <<https://www.dwyler.com.br/destaques/como-funcionam-os-sensores-de-nivel-de-combustivel-nos-carros-atuais/>>. Acesso em 20.julho.2021.
- [2] CRITCHLEY, AZO Sensors, How Does a Fuel Level Sensor Work? Disponível em <<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=1616>>. Acesso em 20.julho.2021.
- [3] BISWAS; SIVAKUMAR; Accurate fuel level measurement system with tilt compensation using tilt sensor, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 3, March-2016.
- [4] BEGIN, Donald R. System and Method for Measuring a Fuel Level in a Vehicle Fuel Tank. Titular: GM Global Technology Operations Inc. US 7,865,317 B2. Concessão: 04 Jan. 2011. Int. Ci. G01F 23/00 (2006.01).
- [5] NAWROCKI, Ryszard. Apparatus and Method for Gauging the Amount of Fuel in a Vehicle Fuel Tank Subject to Tilt. Titular: Ford Motor Company. US 5,072,615. Concessão: 17 Dez. 1991. Int. Ci. G01F 23/00; H01H 35/18.
- [6] BlackBoard UNO R3 V1.1. Disponível em <<https://www.robocore.net/descontinuados/arduino-blackboard-v1>>. Acesso em 21.novembro.2021.

APÊNDICE A - VALORES DE RESISTÊNCIA MEDIDOS EM TODAS AS INCLINAÇÕES

Tabela 1 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 430 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	274
Y + 5	274
Y + 10	274
Y + 15	274
Y + 20	274
Y + 25	274
Y + 30	274
Y - 5	274
Y - 10	274
Y - 15	274
Y - 20	274
Y - 25	274
Y - 30	201
X + 5	274
X + 10	274
X + 15	274
X + 20	274
X + 25	274
X + 30	274

Tabela 2 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 860 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	274
Y + 5	274
Y + 10	250
Y + 15	188
Y + 20	173
Y + 25	173
Y + 30	173
Y - 5	274
Y - 10	274
Y - 15	274
Y - 20	274
Y - 25	274
Y - 30	173
X + 5	274
X + 10	274
X + 15	274
X + 20	274
X + 25	274
X + 30	274
X - 5	274
X - 10	274
X - 15	274
X - 20	274
X - 25	274
X + 30	274

Tabela 3 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 1290 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	160
Y + 5	145
Y + 10	145
Y + 15	140
Y + 20	140
Y + 25	135
Y + 30	135
Y - 5	160
Y - 10	160
Y - 15	160
Y - 20	160
Y - 25	160
Y - 30	160
X + 5	160
X + 10	146
X + 15	146
X + 20	146
X + 25	146
X + 30	146
X - 5	160
X - 10	160
X - 15	160
X - 20	160
X - 25	174
X - 30	174

Tabela 4 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 1720 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	123
Y + 5	123
Y + 10	123
Y + 15	123
Y + 20	123
Y + 25	118
Y + 30	118
Y - 5	123
Y - 10	123
Y - 15	123
Y - 20	123
Y - 25	123
Y - 30	123
X + 5	123
X + 10	123
X + 15	118
X + 20	112
X + 25	112
X + 30	112
X - 5	123
X - 10	123
X - 15	123
X - 20	123
X - 25	123
X - 30	129

Tabela 5 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 2150 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	101
Y + 5	101
Y + 10	101
Y + 15	101
Y + 20	101
Y + 25	101
Y + 30	106
Y - 5	101
Y - 10	101
Y - 15	101
Y - 20	101
Y - 25	101
Y - 30	101
X + 5	101
X + 10	91
X + 15	91
X + 20	82
X + 25	82
X + 30	73
X - 5	101
X - 10	101
X - 15	101
X - 20	101
X - 25	101
X - 30	101

Tabela 6 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 2580 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	63
Y + 5	63
Y + 10	73
Y + 15	73
Y + 20	73
Y + 25	73
Y + 30	82
Y - 5	53
Y - 10	53
Y - 15	44
Y - 20	35
Y - 25	35
Y - 30	35
X + 5	53
X + 10	53
X + 15	53
X + 20	53
X + 25	44
X + 30	34
X - 5	63
X - 10	63
X - 15	63
X - 20	63
X - 25	73
X - 30	82

Tabela 7 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 3010 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	34
Y + 5	34
Y + 10	34
Y + 15	44
Y + 20	44
Y + 25	53
Y + 30	63
Y - 5	34
Y - 10	34
Y - 15	34
Y - 20	34
Y - 25	34
Y - 30	23
X + 5	34
X + 10	34
X + 15	34
X + 20	34
X + 25	34
X + 30	34
X - 5	34
X - 10	34
X - 15	34
X - 20	34
X - 25	44
X - 30	44

Tabela 8 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 3440 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	34
Y + 5	34
Y + 10	34
Y + 15	34
Y + 20	34
Y + 25	34
Y + 30	34
Y - 5	34
Y - 10	34
Y - 15	29
Y - 20	23
Y - 25	10
Y - 30	10
X + 5	34
X + 10	34
X + 15	34
X + 20	34
X + 25	34
X + 30	34
X - 5	34
X - 10	34
X - 15	34
X - 20	34
X - 25	34
X - 30	34

Tabela 9 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 3870 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	29
Y + 5	34
Y + 10	34
Y + 15	34
Y + 20	34
Y + 25	34
Y + 30	34
Y - 5	23
Y - 10	17
Y - 15	10
Y - 20	10
Y - 25	10
Y - 30	10
X + 5	23
X + 10	23
X + 15	23
X + 20	17
X + 25	17
X + 30	11
X - 5	29
X - 10	29
X - 15	29
X - 20	34
X - 25	34
X - 30	34

Tabela 10 - Resistência medida ao inclinar a caixa nos diferentes eixos com volume em 4300 ml.

Direção e Ângulo de inclinação (°)	Resistência (Ω)
Plano	10
Y + 5	17
Y + 10	23
Y + 15	29
Y + 20	34
Y + 25	34
Y + 30	34
Y - 5	10
Y - 10	10
Y - 15	10
Y - 20	10
Y - 25	10
Y - 30	10
X + 5	10
X + 10	10
X + 15	10
X + 20	10
X + 25	10
X + 30	10
X - 5	10
X - 10	10
X - 15	17
X - 20	17
X - 25	17
X - 30	22

APÊNDICE B - DIFERENÇAS DE VOLUME E FATORES DE CORREÇÃO SUGERIDOS

Tabela 11 - Fatores de correção quando há inclinação em $Y + 5^\circ$.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	35	-5
40	40	0
50	50	0
60	60	0
70	70	0
80	80	0
90	80	+10
100	98	+2

Tabela 12 - Fatores de correção quando há inclinação em $Y + 10^\circ$.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	35	-5
40	40	0
50	50	0
60	58	+2
70	70	0
80	80	0
90	80	+10
100	95	+5

Tabela 13 - Fatores de correção quando há inclinação em Y + 15°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	29	-8
30	37	-7
40	40	0
50	50	0
60	58	+2
70	70	0
80	80	0
90	80	+10
100	92	+8

Tabela 14 - Fatores de correção quando há inclinação em Y + 20°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	29	-9
30	37	-7
40	40	0
50	50	0
60	58	+2
70	70	0
80	80	0
90	80	+10
100	80	+20

Tabela 15 - Fatores de correção quando há inclinação em Y + 25°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	29	-9
30	39	-9
40	45	-5
50	50	0
60	58	+2
70	66	+4
80	80	0
90	80	+10
100	80	+20

Tabela 16 - Fatores de correção quando há inclinação em Y + 30°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	29	-9
30	39	-9
40	45	-5
50	49	+1
60	56	+4
70	60	+10
80	80	0
90	80	+10
100	80	+20

Tabela 17 - Fatores de correção quando há inclinação em Y - 5°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	66	-6
70	70	0
80	80	0
90	95	-5
100	100	0

Tabela 18 - Fatores de correção quando há inclinação em Y - 10°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	66	-6
70	70	0
80	80	0
90	98	-8
100	100	0

Tabela 19 - Fatores de correção quando há inclinação em Y - 15°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	70	-10
70	70	0
80	91	-11
90	100	-10
100	100	0

Tabela 20 - Fatores de correção quando há inclinação em Y - 20°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	70	-10
70	70	0
80	95	-15
90	100	-10
100	100	0

Tabela 21 - Fatores de correção quando há inclinação em Y - 25°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	70	-10
70	70	0
80	100	-20
90	100	-10
100	100	0

Tabela 22 - Fatores de correção quando há inclinação em Y - 30°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	29	-19
20	30	-10
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	70	-10
70	95	-25
80	100	-20
90	100	-10
100	100	0

Tabela 23 - Fatores de correção quando há inclinação em $X + 5^\circ$.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	66	-6
70	70	0
80	80	0
90	95	-5
100	100	0

Tabela 24 - Fatores de correção quando há inclinação em $X + 10^\circ$.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	35	-5
40	40	0
50	54	-4
60	66	-6
70	70	0
80	80	0
90	95	-5
100	100	0

Tabela 25 - Fatores de correção quando há inclinação em $X + 15^\circ$.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	35	-5
40	46	-6
50	54	-4
60	66	-6
70	70	0
80	80	0
90	95	-5
100	100	0

Tabela 26 - Fatores de correção quando há inclinação em $X + 20^\circ$.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	35	-5
40	49	-9
50	56	-6
60	66	-6
70	70	0
80	80	0
90	98	-8
100	100	0

Tabela 27 - Fatores de correção quando há inclinação em X + 25°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	35	-5
40	49	-9
50	56	-6
60	70	-10
70	70	0
80	80	0
90	98	-8
100	100	0

Tabela 28 - Fatores de correção quando há inclinação em X + 30°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	35	-5
40	49	-9
50	58	-8
60	70	-10
70	70	0
80	80	0
90	100	-10
100	100	0

Tabela 29 - Fatores de correção quando há inclinação em X - 5°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	60	0
70	70	0
80	80	0
90	90	0
100	100	0

Tabela 30 - Fatores de correção quando há inclinação em X - 10°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	60	0
70	70	0
80	80	0
90	90	0
100	100	0

Tabela 31 - Fatores de correção quando há inclinação em X - 15°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	60	0
70	70	0
80	80	0
90	90	0
100	98	+2

Tabela 32 - Fatores de correção quando há inclinação em X - 20°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	60	0
70	70	0
80	80	0
90	80	+10
100	98	+2

Tabela 33 - Fatores de correção quando há inclinação em X - 20°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	30	0
40	40	0
50	50	0
60	60	0
70	70	0
80	80	0
90	80	+10
100	98	+2

Tabela 34 - Fatores de correção quando há inclinação em X - 25°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	29	+1
40	40	0
50	50	0
60	58	+2
70	69	+1
80	80	0
90	80	+10
100	98	+2

Tabela 35 - Fatores de correção quando há inclinação em X - 30°.

Volume real (%)	Volume apresentado (%)	Fator de correção (%)
10	10	0
20	20	0
30	29	+1
40	40	0
50	50	0
60	56	+4
70	70	0
80	80	0
90	80	+10
100	96	+4