



**INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
SERTÃO PERNAMBUCANO  
Campus Salgueiro

**CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DC EM SOLUÇÕES DE NaCl.**

**KLYNSMANN TENISSON SILVA VERAS**

Orientador: Prof. Msc. Chagas Francisco  
Sousa. Coorientador: Prof. Dr. Marcelo da  
Silva Souza.

**SALGUEIRO-PE**

**Março de 2016**

Ac. 7907  
Ex. 31541

**KLYNSMANN TENISSON SILVA VERAS**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DC EM SOLUÇÕES DE NaCl.**

Monografia apresentada como Trabalho de conclusão do Curso de Licenciatura em Física, para obtenção do título de Licenciada em Física pelo Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro.

SALGUEIRO-PE

Março de 2016

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DC EM SOLUÇÕES DE NaCl.****KLYNSMANN TENISSON SILVA VERAS**Aprovada em 11/03/2016**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Msc. Francisco Chagas de Sousa - IF Sertão Pernambucano  
(Orientador)



Prof. Msc. Getúlio Eduardo Rodrigues de Paiva – Membro Interno



Prof.<sup>a</sup> Andréa Freire dos Santos – Membro externo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estes anos de faculdade, porque sempre pude contar com ele durante todo esse tempo.

Agradeço a minha família pelo sempre presente apoio.

Ao meu orientador Francisco Chagas pelas discussões.

Ao professor Marcelo Souza pelo incentivo a investigação.

Agradeço a todos os professores do Instituto Federal Sertão Pernambucano campus Salgueiro, que me empurraram sempre para frente, me fazendo atingir patamares cada vez mais altos.

Aos colegas de curso pelo companheirismo.

A todos estes muito obrigado!

“Se fui capaz de ver mais longe, é porque me apoiei em ombros de  
gigantes”

(Sir. Isaac Newton).

## RESUMO

Este trabalho se propõe a realizar um estudo mais cuidadoso sobre a condução elétrica em soluções de cloreto de sódio em função de sua concentração. Em geral os livros didáticos discutem pouco a situação e deixam transparecer a ideia de que existe um modelo convincente elaborado e que explicaria o fenômeno com precisão. As tentativas de reproduzir experimentalmente as medidas de resistência elétrica em diversas concentrações de NaCl mostraram que o referido fenômeno é mais complexo que o modelo proposto nos livros e depende de muitas variáveis.

## ABSTRACT

This study aims to conduct a more careful study of electrical conduction in sodium chloride solutions due to its concentration. In general textbooks bit discuss the situation and transpire leave the idea that there is an elaborate convincing model that explains the phenomenon accurately. Attempts to reproduce the experimentally measured electrical resistance in various concentrations of NaCl showed that the above phenomenon is more complex than the proposed model in books and depends on many variables.

## Sumário

I-	9	
1.1	9	
1.2	9	
1.3	16	
II-	17	
III-	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
IV-	CONSIDERAÇÕES FINAIS	2425
	24	
VI-	REFERENCIAS	27



## I- Introdução

### 1.1 Justificativa

Estudar fenômenos experimentais que são propostos na literatura didática é um tema de interesse para o ensino de ciências. Tendo em vista os fenômenos ainda não totalmente explicados relacionados à condução elétrica de soluções iônicas, e em especial as soluções de cloreto de sódio, e sua resistência elétrica em função da concentração em água destilada. Faz-se presente esse trabalho na tentativa de explicar as causas incomuns, de acordo com as teorias de desassociação iônicas, para esses fenômenos.

Ricardo Feltre (2000) afirma que “a maior ou menor quantidade de íons em solução pode ser constatada pela condutividade elétrica da solução” [1]. Essa frase passa a ideia que de conforme se aumenta o número de íons na solução maior será a sua condutividade, ao tentar realizar medida de resistência elétrica em diversas concentrações de NaCl constatei que essa previsão teórica não batia com os resultados. Ao se realizar os experimentos, eles mostraram que as ideias iniciais que pareciam óbvias e facilmente dedutíveis eram incompletas, falsas ou no mínimo parcialmente erradas. Mostrando que a natureza, mesmo em casos aparentemente simples de fenômenos reais, se mostra às vezes muito complexa.

Fica claro que uma situação tão instigante e desafiadora não poderia ficar sem resposta, então o trabalho de conclusão de uma disciplina se tornou o trabalho de conclusão de curso, que apresento nessa monografia.

### 1.1 Fundamentação teórica

#### *Corrente elétrica*

Suponha que exista um material condutor de um tamanho específico  $l$  e que sobre esse material atue um campo elétrico, esse campo elétrico age da extremidade esquerda do fio em direção à direita, de forma que os elétrons se desloquem no interior do material, surgindo assim um campo elétrico interno que

logo se tornará tão intenso quanto o campo que induziu esse deslocamento até superá-lo (isso ocorrerá se não existir nenhum agente externo que possa atrapalhar a configuração desse sistema) [1].

Sobre esse material ocorreu (durante todo o tempo em que esse processo de deslocamento de cargas existiu) uma corrente elétrica, mas para que esse processo se dê de forma contínua é necessário de haja sobre esse material uma fonte de força eletromotriz ou fonte de *fem* que realizem trabalho sobre as cargas elétricas; deslocando-as de uma extremidade para outra do material, como o campo elétrico fará novamente essas cargas se deslocarem, o sistema entrará em equilíbrio dinâmico por quanto tempo a força eletromotriz atuar sobre o sistema [2-5].

As fontes de *fem* são na verdade fontes de diferença de potencial, ou seja, ela mantém em seus terminais potenciais elétricos diferentes a extremidade de maior potencial é chamado de ânodo de sinal +, e a de menor potencial de cátodo -, como as fontes de tensão não são iguais o potencial não é constante e quando o potencial é variável temos um gradiente associado a ele. Portanto a fonte de *fem* realiza trabalho de forma a aumentar a energia potencial sobre as cargas, transferindo as cargas positivas do cátodo para o anodo, segundo a equação;

$$\Delta U_q = qV \quad (1)$$

Onde  $U_q$  é o potencial gerado pela fonte de *fem*,  $q$  carga e  $V$  são a diferença de potencial ( $V = V_{\text{ânodo}} - V_{\text{cátodo}}$ ), como a fonte de *fem* realiza trabalho temos que;

$$\Delta U = W_{fem} \quad (2)$$

E, por tanto em comparação da equação (1) em relação a (2), temos que:

$$W_{fem} = QV \quad (3)$$

Historicamente nós chamamos esse trabalho de força eletromotriz, mas como o próprio nome sugere isso não é necessariamente uma força propriamente dita, mas sim uma força que realiza trabalho, com isso temos o conceito de força eletromotriz muito mais próximo ao de trabalho do que ao de força e sendo assim

podemos em analogia ao trabalho mecânico ( $W = \int F dx$ ) e com isso podemos enunciar que;

$$e = \oint_c \vec{f}_{int} \cdot d\vec{l} \quad (4)$$

Onde  $e$  é o trabalho da força eletromotriz,  $\vec{f}_{int}$  representa as forças internas à fonte de *fem* por unidade de carga e a integral é feita sobre o circuito por tanto é uma integral fechada e  $d\vec{l}$  é a unidade infinitesimal de comprimento do material onde a força eletromotriz atua [4].

Tomando uma fonte de *fem* ideal em que as cargas são transferidas em equilíbrio, ou seja, com uma força total nula sobre as mesmas, essas forças são produzidas pela fonte de *fem* e pela força elétrica gerada pelo campo elétrico que se estabelece nos terminais, então temos;

$$\vec{f}_{int} + \vec{\mathcal{E}} = 0 \quad (5)$$

Fazendo uma simples manipulação na equação (5), obtemos a equação (6);

$$\vec{f}_{int} = -\vec{\mathcal{E}} \quad (6)$$

Se nós substituirmos  $\vec{f}_{int}$  por  $-\vec{\mathcal{E}}$  na equação (4), ficamos com;

$$e = -\oint_c \vec{\mathcal{E}} \cdot d\vec{l} \quad (7)$$

E não dependem do caminho são ditos conservativos, então  $V$  é função apenas dos pontos inicial e final, e podem ser escritos com uma diferença:

$$V_{\vec{r}} - V_{\vec{r}_{ef}} = -\int_{\vec{r}_{ef}}^{\vec{r}} \vec{\mathcal{E}} \cdot d\vec{l} \quad (8)$$



Comparando a equação (7) com a (8), temos que;

$$V = \mathcal{E} \quad (9)$$

Ou seja, a força eletromotriz tem o mesmo valor que a diferença de potencial quando nós temos uma fonte ideal. A fonte de *fem* pode até certo ponto ser comparada para fins de entendimento como uma “bomba de água”. A fonte de *fem* ‘bombeia’ as cargas por dentro do material, aumentando, conforme já foi dito, a energia potencial o que torna possível o aparecimento da corrente elétrica no material semelhante à água fluindo por dentro dos canos, mediante a isto podemos admitir uma variação semelhante como uma ‘vazão’ de cargas com o tempo, que vamos chamar de corrente elétrica e a equação seguinte mede a intensidade corrente elétrica ou variação da carga que passa através da seção reta do material [4,<sup>2</sup>];

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (10)$$

Lembremos que a unidade de carga no sistema internacional é o *Coulomb* (C), a unidade de potencial elétrico é o *volt* (V), a unidade de tempo é o segundo (s), a unidade de energia ou trabalho é o *Joule* (J). Então temos que a unidade da variação da corrente elétrica é o C/s, que recebeu o nome de *Ampère* (A). Quando em um condutor flui uma corrente que pode ser constante ou não, temos a densidade de corrente, representada algebricamente pela equação (11);

$$j = \frac{di}{ds} \quad (11)$$

Organizando e integrando a equação a equação (11), temos a equação (12);

$$i = \int \vec{j} \cdot d\vec{s} \quad (12)$$

A resistividade do material é uma característica específica dele e varia conforme o material usado. É convencionalizado que a *resistividade* ( $\rho$ ) é inversamente proporcional a *condutividade* ( $\sigma$ );

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (13)$$

Temos também a relação descrita pela equação (14), a aplicação do campo elétrico em um material cujo fluxo elétrico é dado pelo escalar da resistividade pelo campo elétrico (sendo que o sentido do fluxo e o mesmo sentido de propagação do campo), sua representação algébrica é;

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (14)$$

Podemos definir um ( $\alpha$ ) tal que ele possa nos dar uma associação entre a variação da resistividade em função da mudança de temperatura. A esse termo damos o nome de coeficiente de temperatura, sua representação matemática é;

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (15)$$

Essa equação é de fundamental importância para o entendimento desse trabalho [5]. Essas fórmulas não são exatamente iguais às que vamos utilizar no problema, porém podemos adaptá-la, para que funcionem segundo o modelo proposto. Outra equação fundamental para entendimento do problema é equação (16);

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (16)$$

Onde  $R$  é a resistência,  $\rho$  é a resistividade do material,  $l$  é comprimento e  $S$  a área do material [3]. Tomando por base as equações (15), (16) e (17) procurando por uma relação entre a equação (17) de condução de calor com a condução elétrica, temos a equação (18) de condução de calor;

$$\frac{dQ}{dt} = -KS \frac{dT}{dx} \quad (17)$$

Comparando a equação (17) temos;

$$\frac{dq}{dt} = -\sigma S \frac{dV}{dx} \quad (18)$$

Se levarmos em conta a equação (16) e integrarmos a equação (18) no intervalo  $[a, b]$  (que podemos tomar como um intervalo qualquer) podemos obter a famosa lei de Ohm:

$$V = Ri \quad (19)$$

Um resistor só poderá ser considerado ôhmico, se ele obedecer a essa lei, a equação (19), todo resistor real age de acordo com essa lei até certas temperaturas, e esse valor é específico de cada corpo analisado, pois experimentalmente verificou-se que a passagem de corrente elétrica por um material produz sempre calor e este é um dos efeitos fundamentais associados à corrente elétrica [6, 4]. Este fenômeno é chamado de *efeito joule* e ele atrapalha a passagem de corrente elétrica porque aumenta a resistência em função da potência conforme a equação seguinte;

$$P = Ri^2 \quad (20)$$

Se em nosso caso, nós quisermos analisar os efeitos da quantidade de calor em função da resistência basta nos integrarmos à equação anterior, e obtermos [19];

$$Q = \int_0^t Ri^2 dt \quad (21)$$

E como;

$$Q = mc_e \Delta T \quad (22)$$

Para variações pequenas de temperatura, temos que;

$$mc_e dT = \int_0^t Ri^2 dt \quad (23)$$

$$\frac{d(mc_e dT)}{dt} = Ri^2 \quad (24)$$



Com a equação (23) fica fácil ver a influência da temperatura sobre as medidas de resistência, corrente elétrica, e que a passagem da corrente elétrica sobre o fluido também provoca essa mudança na temperatura, porém esse trabalho não irá se focar na influência da temperatura sobre o fluido, pois inclusive tentamos amenizar esses efeitos ao máximo, como por exemplo; fazendo essas medidas em dias nublados e com chuva para que os efeitos da variação da temperatura fossem o mínimo possível sobre a corrente elétrica que passava sobre o fluido [3-7], no entanto fica claro a influência da temperatura mediante as equações (23) e (24).

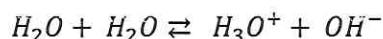
### *Soluções*

O estudo das soluções é de fundamental importância para uma compreensão adequada da Físico-química. As soluções e os mecanismos desassociativos desempenham papéis importantes na compreensão dos fenômenos relacionados, porém o mecanismo que é importante para esse trabalho a desassociação iônica um fenômeno também chamado de solvatação dos íons [1].

A água é tida como uma substância polar, pelo fato de que na molécula de água os átomos de hidrogênio e oxigênio formam um ângulo de  $105,3^\circ$  entre se, por causa disso, e da forte eletronegatividade do oxigênio, ela apresenta polos elétricos que atraem para si átomos de moléculas que realizam ligações iônicas, doação de elétrons ou pares de elétrons, ou que também apresentem polos elétricos em sua estrutura molecular.

Quando o cloreto de sódio é posto em água o seu reticulado cristalino é quebrado, pois a extremidade mais eletronegativa da água arranca os íons de sódio do composto da mesma forma que a parte mais eletropositiva faz com os íons de cloro, desfazendo a estrutura cristalina do sal, formando compostos químicos que se ligam apenas por forças puramente eletroestáticas.

Esses íons que ficam soltos na água, têm carga elétrica, é justamente o deslocamento deles que permitem a passagem da corrente elétrica pelo fluido segundo a teoria eletroquímica. A água pode se ionizar por processos naturais formando através da equação de equilíbrio químico representada abaixo;



(25)

Porém para uma água com alto nível de pureza o grau de ionização é  $\alpha = 1,81 \cdot 10^{-9}$ . Nós damos o nome de defeito estrutural a esse tipo de resultado, pois por razões eletrodinâmicas e de entalpia do próprio sistema envolvido, há formação de material que reage com o próprio material sobe condições normais de temperatura ou pressão [1-6].

Então, com um grau de ionização tão baixo para representar um novo estudo que eleve a sério a formação desses íons, e sua influência sobre movimento das cargas que estão sobre ação dos campos elétricos responsáveis pela corrente era aparente que o comportamento se desse da forma prevista pelo raciocínio proposto pelo Ricardo Feltre, no entanto, existe um positivo consenso sobre o relaxamento estrutural da rede de ligação de hidrogênio que ocorre em soluções de água e na escala de tempo  $ps$  e  $fs$ , o que ocorre é que durante um pequeníssimo intervalo de tempo as força extramoleculares que formam as pontes de hidrogênio e consequentemente redes de hidrogênio da ordem de bilhões de átomos se rompem formando mais compostos de  $+H_3O^+$  e  $-OH^-$  e é de fundamental importância para nós que o relaxamento estrutural resulte na formação de mais movimento de defeitos estruturais, como os citados acima. [5,6].

A presença das espécies carregadas em água e em solução aquosa, fornece esses meios com poderosa resposta eletrodinâmico, condições convenientes para estudo fenomenológico independentemente da estrutura microscópica, que foi realizado e será apresentado logo adiante nas metodologia usadas.

## **1.2 Objetivo**

Estudar a resistência elétrica DC de uma solução de NaCl em função da concentração de cloreto de sódio, para diferentes concentrações, investigar a hipótese sugerida pelos livros didáticos de que com mais íons temos mais cargas e com isso uma resistência elétrica menor com quanto maior for a concentração de NaCl.



## II- Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes materiais: Água destilada, NaCl, proveta 250 ml, proveta 50 ml, multímetro digital, quatro elétrodos circulares de alumínio, duas pipetas, balança de precisão.

As soluções foram produzidas em diferentes concentrações utilizando água destilada e NaCl, em seguida armazenadas em recipientes de 150 ml. A solução saturada de NaCl foi obtida considerando a condição de saturação em que 357 g dessa substância em um litro de água a 0° Celsius (em nenhum momento trabalhei com temperaturas próximas de 0° Celsius a média foi de 29°, porém para que a solubilidade realmente seja alterada de forma significativa teria de trabalhado com uma temperatura próxima a 100° Celsius). É fácil ver que para obtermos uma relação da concentração saturada para 150 ml, precisamos realizar alguns cálculos simples;

$$\frac{1\text{litro de água}}{0,15\text{litro de água ou }150\text{ml}} = \frac{357\text{g de NaCl}}{x} \quad (26)$$

Realizando um cálculo simples de proporção, vemos que para uma solução de 150 ml de água destilada obtemos a saturação com apenas 53,55 g de NaCl, se continuarmos seguindo o raciocínio exposto em cima podemos obter uma tabela de concentrações relativas à saturação (com a saturação sendo o limite Máximo de 100% e as outras medidas sendo submúltiplos dela).

A tabela 1 apresenta as concentrações utilizadas:

Em cada garrafa foi posta uma das quantidades de NaCl respectiva as suas concentrações (a solução saturada foi deixada de fora, pois em outros testes ela se mostrou com características elétricas diferente das outras soluções), foi necessário usar uma balança de precisão para que fosse posta a medida da forma mais próxima o possível da medida teórica.

A fim de obter medições melhores foi necessário modificar uma proveta, a ideia era fazer um furo em baixo dela para fazer passar um fio com o eletrodo circular de alumínio de diâmetro igual ao da proveta de 50 ml, após esse

procedimento, e com a proveta devidamente isolada de vazamentos, foi colocado o outro eletrodo circular sobre a solução na proveta, com isso fechando o circuito.

**Tabela 1:** Concentração das soluções utilizadas para o estudo da variação da resistência.

Concentração em mol/l	Porcentagem proporcional à saturação (100%)	Gramas de NaCl (g)
0 mol/l	0%	0g
0,553 mol/l	10%	5,355g
1,052 mol/l	20%	10,710g
1,661 mol/l	30%	16,065g
2,2159 mol/l	40%	21,42g
2,8733 mol/l	50%	27,775g
3,4273 mol/l	60%	33,13g
3,9813 mol/l	70%	38,485g
4,5352 mol/l	80%	43,195g
5,0892 mol/l	90%	49,195g

Para evitar que a temperatura ambiente atrapalhasse as medidas, o experimento foi realizado sempre observando a temperatura e em determinados horários do dia ou da noite (e de preferência em dias nublados) com o objetivo de fazer todas as medidas sobre aproximadamente à mesma temperatura, foram observadas que com o uso de um ar-condicionado as medidas se tornavam ainda mais imprecisas por causa das repentinas retiradas de calor do meio feito pelo mesmo.

### III- Resultados e discussão

Após a preparação das soluções foi necessário fazer as medidas. Após tentativas anteriores o experimento se mostrou muito sensível às diversas variantes como, por exemplo; temperatura, colisões próximas, dobradiços nos fios, superfície de contato pequena e bolhas no líquido. Houve um processo muito longo de aprendizagem até se chegar aos métodos descritos nesse trabalho.

Mesmo tomando precauções para tirar o máximo possível dos fatores externos do experimento a variação no multímetro era muito alta, então foi decidido que era necessário tomar muitos valores, aproximadamente 10 para cada medida e com isso fazer uma média dos resultados, retirando a cada três medições o eletrodo superior da solução esperando o multímetro estabilizar, pois toda vez que o multímetro era retirado e recolocado na solução os valores registrados no LDC aumentavam e não paravam de subir até atingir certo limite em que oscilava por um tempo e então voltava a subir apesar da retirada das bolhas.

A conclusão era clara que mesmo o experimento estando sobre a mesma temperatura o tempo em que a solução fica em contato com os eletrodos alterava as medidas fazendo com que os valores de resistência elétrica das soluções aumentassem, a teoria era que talvez ocorresse fuga de cargas do eletrodo para a solução, no entanto não se notou corrosão do material nem mudanças na resistência refazendo o experimento outro dia os resultados sobre a mesma temperatura eram praticamente iguais.

Após a falha da hipótese inicial foi necessário fazer medidas de tensão elétrica, que também se mostraram instáveis, contudo o valor médio para a DDP entre os eletrodos para as diferentes concentrações foi de 4,65 Volts. Isso implica que se o campo elétrico for aproximadamente constante dentro da solução seu módulo deve ser proporcional a DDP e a distância entre os eletrodos [7].

Sempre que os resultados se mostraram inconstante foi necessário realizar média e outros tratamentos estatístico, para se chegar a resultados mais confiáveis.

Existe no panorama científico atual, um debate acerca da teoria de Arrhenius sobre a condutibilidade iônica das soluções aquosas de íons, na qual, a água é considerada como sendo um ambiente quimicamente inerte, contudo trabalhos



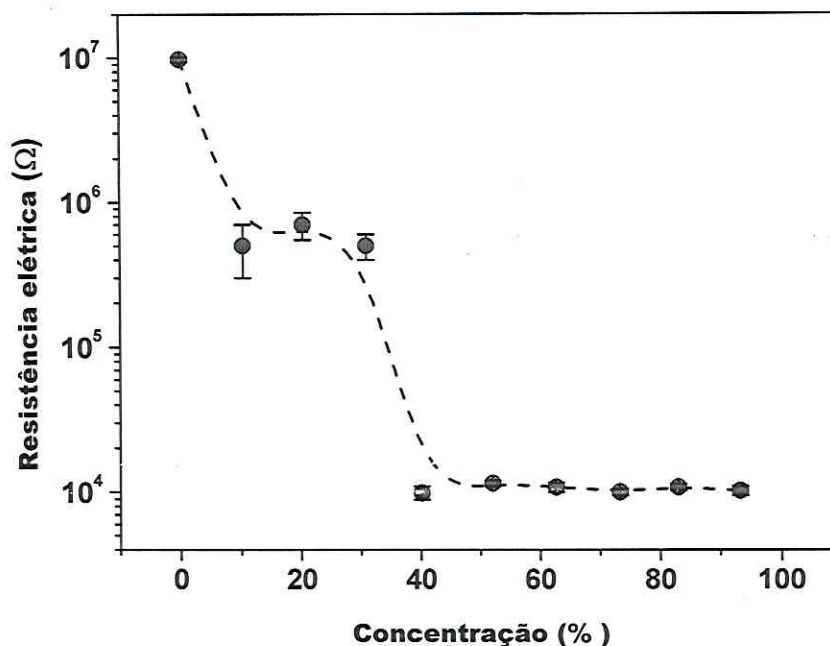
atuais conseguem modelar a condutividade iônica DC e a constante dielétrica aquosa de diversas soluções como: NaOH e NaCl sem considerar os cátions e ânions dissolto como principais portadores de carga [8]. Com base nos dados coletados neste trabalho, mediu-se a resistência DC da água em função da concentração de cloreto de sódio, uma das principais dificuldades encontradas é a sensibilidade do sistema às condições de contorno. A tabela 2 exemplifica tal sensibilidade, mostrando as medidas de resistividade obtidas para a água pura em diferentes temperaturas. A resistividade foi calculada utilizando a eq. (22), os valores da área do eletrodo e da distância entre os eletrodos foram respectivamente de  $(3,1415 * 10^{-4} \text{ m}^2$  e  $12,4 * 10^{-2} \text{ m})$ .

**Tabela 2** – Diferença nos valores das medidas de resistência e resistividade DC da água em função da temperatura.

Temperatura (°C )	Resistividade ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	Resistência ( $\Omega$ )
(29,5 ± 0,5)	(2,4 ± 0,5)	(9,7 ± 0,4).10 <sup>6</sup>
(25,5 ± 0,5)	(0,53 ± 0,3)	(2,1 ± 0,3).10 <sup>6</sup>

Conforme pode ser observado, os resultados obtidos são fortemente influenciados pelos parâmetros externos. Essa grande sensibilidade à temperatura é possível de ser explicada teoricamente, pois a energia cinética média das moléculas de água aumenta o que pode com maior probabilidade eventualmente ativar alguma impureza carregada na água, tendo em vista que o campo elétrico aplicado, não é suficiente para romper a rigidez dielétrica da água pura. Uma questão relevante no estudo desse sistema, é a necessidade de obter uma boa regularidade nas condições em que o experimento ocorreu. Por esse motivo, as medidas foram tomadas considerando o controle da temperatura, o tempo de manutenção no campo elétrico, a limpeza dos eletrodos, etc. Foram coletadas mais de 200 medidas de resistência DC, para um arranjo em que os eletrodos possuíam a mesma geometria, eles foram mantidos paralelos com uma mesma distância de afastamento. Mediu-se a resistência elétrica em função da concentração de NaCl dissolvido em água.

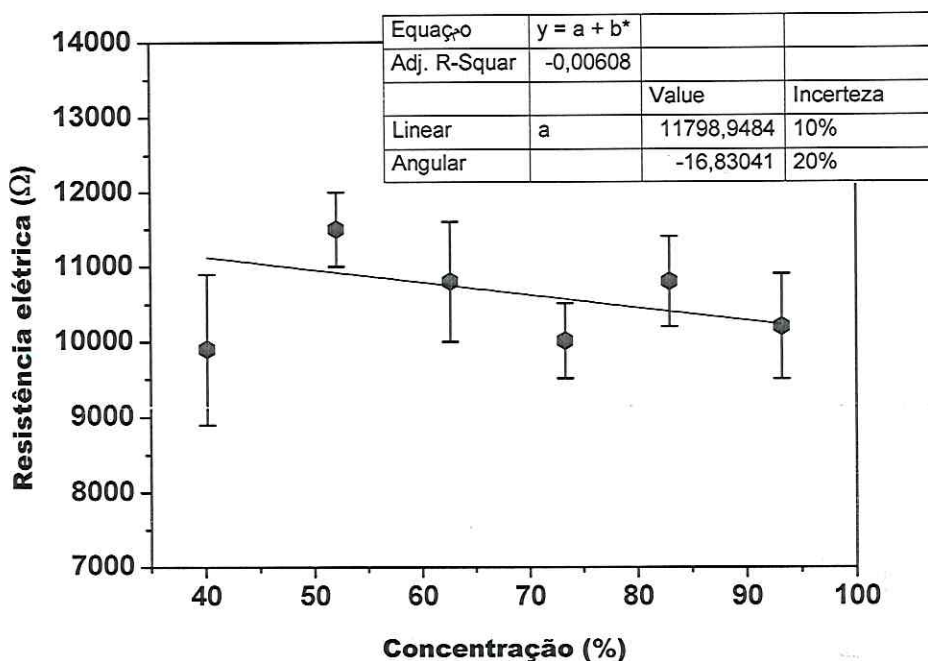
O Gráfico 1 mostra uma variação da resistência em função da concentração.



**Gráfico 1** – Variação da resistência da água em função da concentração de NaCl medidas realizadas a 39,5 °C.

É possível observar uma variação de praticamente 3 ordens de grandeza na resistência elétrica quando a concentração de NaCl vai de 0 até 40% para as concentrações dentro desse intervalo, observou-se uma oscilação no valor da resistência, esse fenômeno pode ser atribuído a variações no campo elétrico e conseqüentemente variações no efeito de eletroforese. Eletroforese é o movimento de partículas dispersas ou íons de uma solução sujeita a um campo elétrico. Esse fenômeno é, causado pela presença de uma interface carregada entre a superfície da partícula e o fluido circundante, ou seja, a capacidade do íon arrastar as moléculas de água em sua vizinhança varia em função do campo elétrico e também da concentração de íons [9, 10]. Claramente a queda da resistividade da solução não é linear, e possui dois patamares, um para concentrações inferiores a 30% e outro para concentração superior a 40%. Observa-se no Gráfico 2 através de um ajuste linear uma tendência de queda dos valores da resistência para as regiões de maior concentração de NaCl. Embora não seja possível determinar apenas com estes dados que a queda da resistência em função da concentração seja linear, o ajuste mostra uma clara tendência com coeficiente angular negativo de aproximadamente -16, o que significa que, em média, nesse intervalo ocorre uma queda de 16Ω na

resistência elétrica da solução para cada 1% de NaCl adicionado. Apenas nesse intervalo a proposição da literatura é razoável com os resultados experimentais.



**Gráfico 2** – Ajuste linear da resistência da água em função da concentração de NaCl para altas concentrações.

De uma maneira geral medidas sequenciais ocasionaram em um aumento da resistência elétrica da solução, o Gráfico 3 ilustra o caso da solução com 70%. Esse comportamento, ocorre devido ao aumento das cargas nos elétrodos provocado pelo deslocamento das mesma em direção ao campo elétrico, fazendo com que ele mude de intensidade e assim a resistência aumente pela maior dificuldade do sistema em manter o fluxo das cargas.

E isso reafirma a hipótese de que há acúmulo de cargas superficiais nos elétrodos reduzindo a intensidade do campo elétrico na solução. Como esse aumento acontece mesmo para a água pura, esse resultado corrobora com a proposição da existência íons de  $H^3O^+$  e  $OH^-$ .



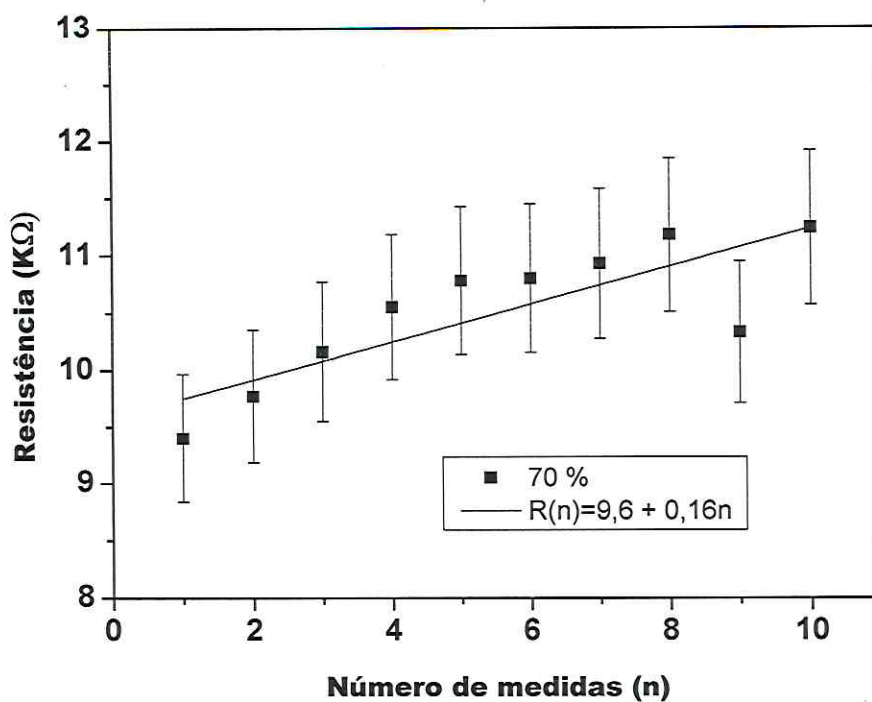


Gráfico 3 – Ajuste linear da resistência da água em função do numero de sucessivas medidas.

De um modo geral os dados sugerem que as moléculas do NaCl dissolvido podem interagir quimicamente com os íons de  $H^3O^+$  e  $OH^-$  e o pode promover um efeito de ativação nelas [12, 11]. Assim, os íons de  $H^3O^+$  e  $OH^-$  também deveriam ser considerados no processo de condutividade DC, e os íons de  $Na^+$  e  $Cl^-$  atuariam também como "ativador" desses portadores.

#### **IV- Considerações finais**

Foram estudadas as resistências elétricas de soluções com diferentes concentrações de NaCl, foi observado que o modelo proposto na literatura é coerente apenas com intervalos específicos da curva de resistência em função da concentração.

Medidas sucessivas apresentaram um coeficiente angular negativo da resistência elétrica. Com base nestes efeitos podemos inferir que a proposição de Arrhenius é um modelo simplificado e que não funciona para a solução como um todo.

Esse trabalho representou um avanço em meu entendimento sobre as pesquisas científicas e também mostrou que mesmo de problemas e situações relativamente simples podemos encontrar questões difíceis de física.



## V- Trabalhos futuros

O objetivo futuro é tentar resolver as questões pendentes desse experimento com estudos em função da temperatura e para concentrações em torno do ponto de saturação.

## VI- Referencias

- 
- 1 [] NUSSENZVEIG, Hech Moysés. Curso de Física básica. Vol.3 4ed-São Paulo: Edgard Blucher, 2002.
  - 2 [] ADIR, Moysés Luiz. Física 3 Eletromagnetismo, teoria e problemas resolvidos, São Paulo 2009, Ed. Livraria da Física.
  - 3 [] HALLIDAY, David / RESNIK, Robert. Fundamentos de Física: ELETROMAGNETISMO. Vol.3. 8ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
  - 4 [] HEWITT, Paul G. Física Conceitual-11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
  - 5 [] BURROWS, Andrew, HOLMAN John, PARSONS Andrew, PILLING Gwen, PRICE Gareth, INTRODUÇÃO À QUÍMICA INORGÂNICA, ORGÂNICA E FÍSICO-QUÍMICA - VOL. 1 ED LTC 2012.
  - 6 [] BURROWS, Andrew, HOLMAN John, PARSONS Andrew, PILLING Gwen, PRICE Gareth, INTRODUÇÃO À QUÍMICA INORGÂNICA, ORGÂNICA E FÍSICO-QUÍMICA - VOL. 2 ED LTC 2012.
  - 7 [] SILVA, Cláudio Xavier / BARRETO FILHO, Benigno. Física aula por aula: eletromagnetismo. Vol1. São Paulo: FTD, 2010.
  - 8 [] Artemov V. G.; Volkov A. A.; Sysoev N.N.; Volkov A. A. Conductivity of aqueous HCL, NaOH and NaCl solutions: Is water Just a substrate? A letteres Journal Exploring the frontiers of Physics, 109, (2015) 26002.1 – 26002.8.
  - 9 [] Kruyt, H.R. (1952). Colloid Science. Volume 1, Irreversible systems Elsevier [S.I.].
  - 10 [] Dukhin, A.S.; P.J. Goetz (2002). Ultrasound for characterizing colloids Elsevier .
  - 11 [] Truman S. Light, Stuart Licht, Anthony C. Bevilacqua, and Kenneth R. Morash. Mettler-Toledo Thornton. Electrochemical and Solid-State Letters, 8 (1) E16-E19 (2005) 1099-0062/2004/8(1)/E16/4.