



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**Centro de Tecnologia e Ciências**

**Faculdade De Engenharia**

# **MEDIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO**

*Relatório de Iniciação Científica*

Aluno: Aline Damm da Silva Falcão, graduanda em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. José Paulo Vilela Soares da Cunha

Rio de Janeiro, dezembro de 2014

Revisado em 29/01/2016

## **Resumo**

Com o propósito de adicionar um painel solar em um barco teleoperado, foi estudado o painel Kyoscera KD140SX. Este trabalho utiliza duas configurações de circuitos conectados ao painel solar fotovoltaico. Na primeira configuração há apenas um reostato e na segunda há dois reostatos conectados em série. Os testes utilizam um multímetro e um amperímetro conectados no painel. Gráficos de tensão, corrente e temperatura nos ajudaram a entender o painel.

## **1 – Introdução**

A função do painel fotovoltaico é converter o comportamento da luz solar em eletricidade. A luz solar incidente no painel passa através das células do painel sendo absorvida e refletida, gerando o efeito fotovoltaicos. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CRESESB, 1999).

O objetivo deste trabalho é analisar os resultados de testes realizados com o painel solar fotovoltaico modelo KD140SX, para assim garantir um bom desempenho do sistema que será utilizado numa embarcação teleoperada.

## **2 – Desenvolvimento**

As etapas deste trabalho são:

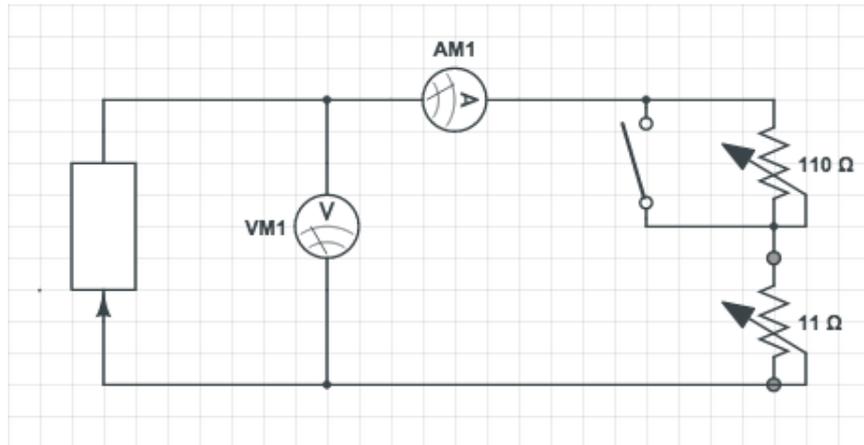
- 1- Descrição do circuito e do material utilizado;
- 2- Medições com apenas um reostato;
- 3- Medições com dois reostatos em série;
- 4- Análise de gráficos em conjunto;
- 5- Identificar a influência da incidência solar na eficiência do painel;
- 6- Medições da temperatura no painel.

### **2.1 – Material Utilizado**

Na construção do circuito foram utilizados :

- Agilent U1241B Digital Multimeter como amperímetro
- Fluke 28II IP 67 Digital Multimeter como voltímetro
- Reostato 11 ohms
- Reostato 110 ohms
- Painel solar Kyoscera KD140SX
- Cabos e conectores elétricos

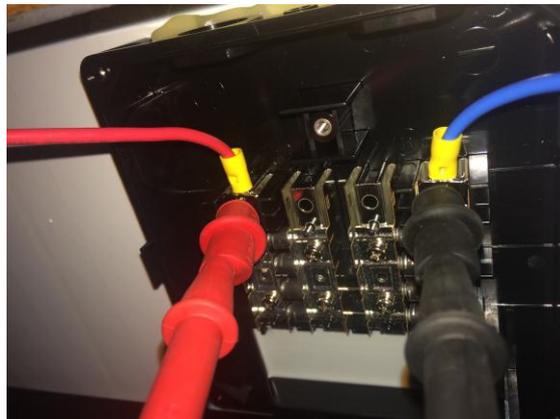
O circuito elétrico usado nas medições é apresentado na fig. 1.



**Figura 1** – Circuito completo.

O painel solar está conectado em paralelo com o voltímetro. O amperímetro é conectado em série com os reostatos. A chave que está conectada ao reostato de 110 ohms, estando fechada, permite que primeiramente o circuito seja testado com apenas o resistor de 11 ohms que suporta maior corrente(até  $x$ A). Ao finalizar as primeiras medições, a chave é aberta e os reostatos ficam em série para as próximas medições com correntes menores(até  $y$ A).

A foto na fig. 2 apresenta a conexão do circuito ao painel solar. As garras-jacaré, vermelhas e pretas, conectam o voltímetro em paralelo. Os cabos, vermelho e azul, se conectam ao amperímetro e ao reostato de 11 ohms, respectivamente.



**Figura 2** – Caixa de conexão do circuito ao painel solar

A foto na fig. 3 mostra o circuito pronto para os testes serem iniciados.

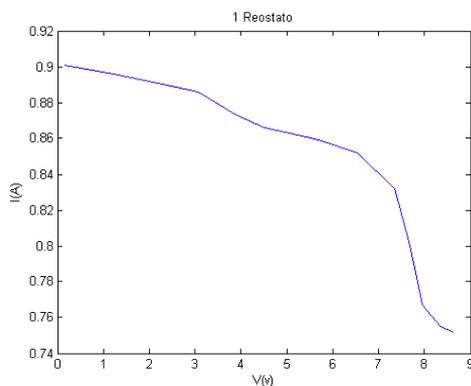


**Figura 3**– Sistema experimental com o painel solar.

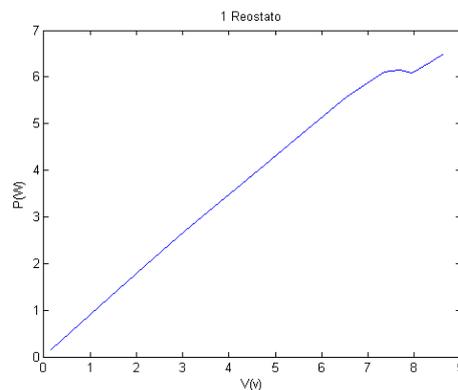
Para obter bons resultados, todas as possíveis sombras foram eliminadas para o proceder do teste.

### 2.1 – Painel Fotovoltaico conectado a um reostato

O painel solar do modelo comercial Kyocera KD140SX foi testado em um circuito com um reostato de 11 ohms. Os gráficos da figura 4 e 5 foram encontrados em um dia com algumas nuvens.



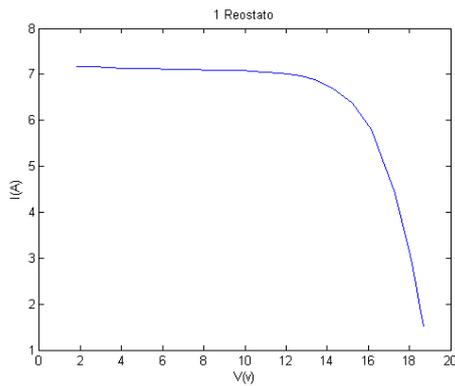
**Figura 4** - Gráfico IxV, painel conectado a um reostato. Dia parcialmente nublado.



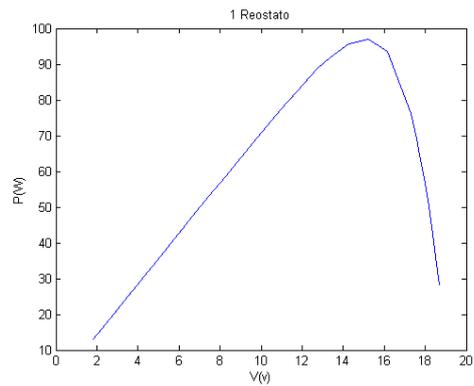
**Figura 5** - Gráfico PxV, painel conectado a um reostato. Dia parcialmente nublado.

O gráfico IxV apresenta uma mínima variação de corrente. Logo, ao longo do acréscimo da tensão ate o valor de 9 V a corrente é basicamente continua. A potencia chega a quase 7 W.

Os resultados abaixo representam os resultados de um dia ensolarado.



**Figura 6** – Gráfico IxV, painel conectado a um reostato. Dia ensolarado.

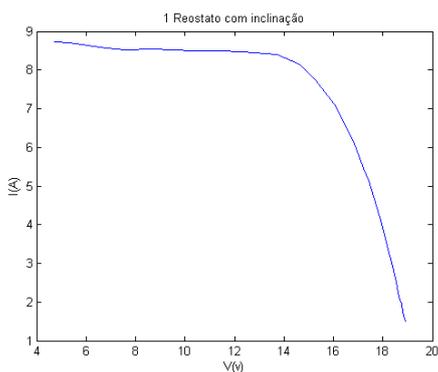


**Figura 7** – Gráfico IxV, painel conectado a um reostato. Dia ensolarado.

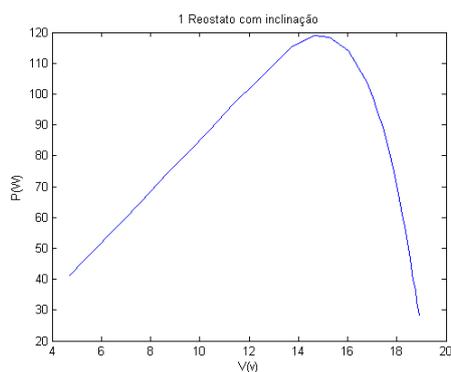
Analisando a figura 6, percebemos que o gráfico apresenta a curva da tensão pela corrente. Conforme a resistência aumenta a tensão aumenta e a corrente a princípio se mantém constante. Com a tensão aproximadamente 14V a corrente diminui. Pela figura 7, conseguimos observar que a potencia em watts aumenta atingindo quase 100 W.

Após essa configuração, o painel foi inclinado até o ponto em que possuía o maior valor de tensão. O melhor ângulo de inclinação para o modulo PV é o que produz o Máximo de energia. O arco do sol varia com as estações do ano, assim ângulos menores produzem mais energia durante o verão e maiores no inverno. (DIENSTMANN, 2009,p.23).

Os gráficos encontrados com a inclinação foram os seguintes.



**Figura 8** – Gráfico IxV, painel inclinado conectado a um reostato. Dia ensolarado.



**Figura 9** – Gráfico PxV, painel inclinado conectado a um reostato. Dia ensolarado.

Nas figuras 8 e 9 há um aumento da corrente máxima comparada as figuras 6 e 7. Na figura 8 a corrente inicial varia ente 8 e 9 A e permanece continua até aproximadamente 14 V, onde ela decai. Já na figura 6, a corrente inicial é 7 A.

Na figura 9, onde temos o gráfico PxV do painel inclinado, a potência inicial encontrada já é superior a quando o painel não esta inclinado. O mesmo acontece com o pico de potência, que chega a 120 W quando o painel está inclinado. Na Tabela 1 podemos comparar as máximas potências.

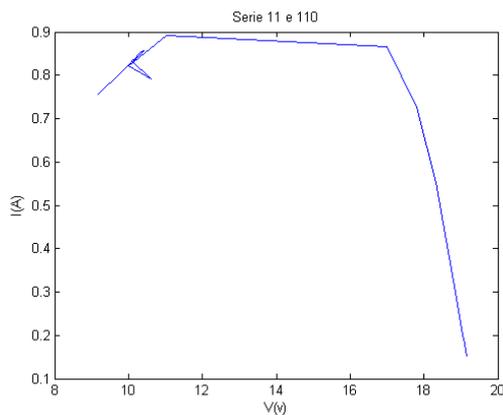
Tabela 1 – Tensão, Corrente e Potencia máximas em diferentes condições do tempo.

	I(A)	V(V)	Max P(W)
Dia nublado e painel plano	0.75 A	8,7 V	6,5 W
Dia ensolarado e painel plano	7 A	14 V	98 W
Dina ensolarado e painel inclinado	8,5 A	14 V	120 W

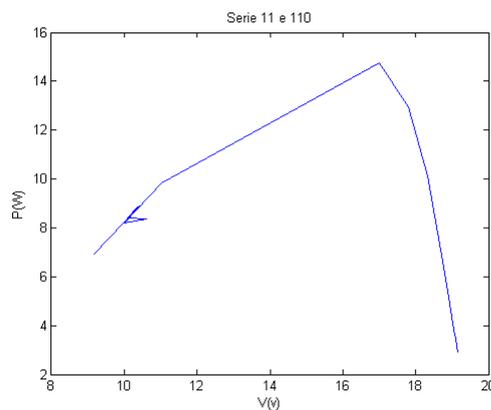
## 2.2 – Painel Fotovoltaico conectado a dois reostatos em série

O painel conectado a um circuito com dois reostatos de 11 ohms e 110 ohms em serie apresenta um melhor desempenho quando há incidência de nuvens e o painel com apenas um reostato apresenta melhor desempenho quando a maior incidência de solar. O circuito com reostatos em serie captam menores faixas de variação de corrente. Logo quando há mais nuvens e a incidência de sol é menor, os reostatos estando em serie conseguem captar toda a curva do gráfico. Já quando a incidência do sol é muito forte, os reostatos em serie captam apenas uma pequena faixa de curva do gráfico.

Os gráficos 10 e 11 abaixo representam os resultados obtidos em um dia com nuvens.



**Figura 10** – gráfico IxV, painel conectado a dois reostatos, 11 e 110 ohms, em série. Dia parcialmente nublado.



**Figura 11** – gráfico PxV, painel conectado a dois reostatos, 11 e 110 ohms, em série. Dia parcialmente nublado.

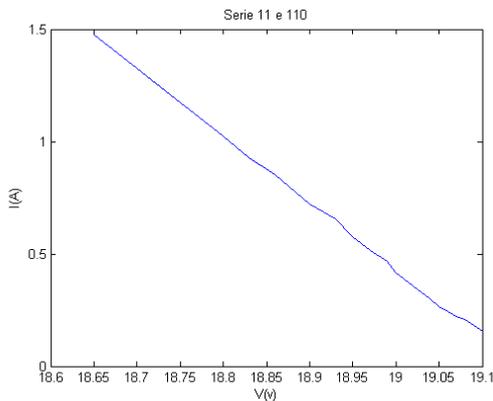
A figura 10, demonstra que até atingir ao redor 17 V a corrente esta constante, a partir desse ponto a uma queda de corrente. A potência máxima, como mostra a figura 11, chega a 14 W.

Na Tabela 2, podemos comparar as máximas potências para esse tipo de circuito.

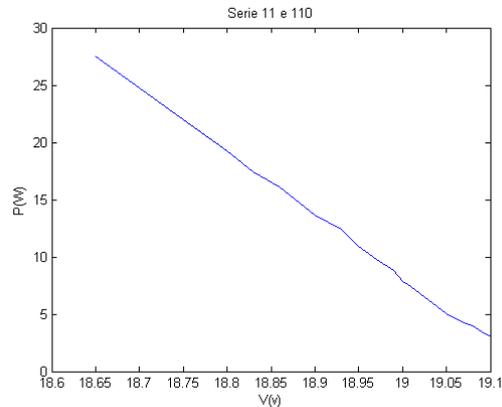
Tabela 2 – Tensão, Corrente e Potencia máximas em diferentes condições do tempo.

	I(A)	V(V)	Max P(W)
Dia nublado e painel plano	0.85 A	17,7 V	15 W
Dia ensolarado e painel plano	1,5 A	18,65 V	27,9 W
Dina ensolarado e painel inclinado	1,5 A	18,9 V	28,3 W

Na figura 12, abaixo, o gráfico apresenta a curva da tensão pela corrente em dia ensolarado sem nuvens.



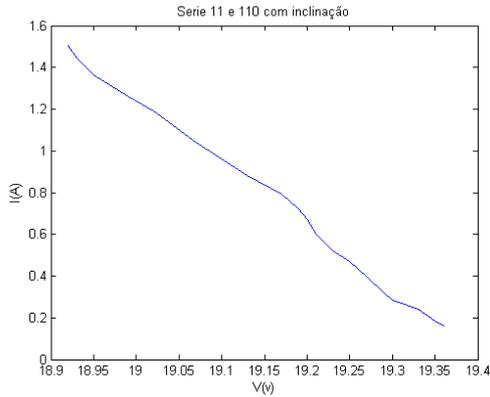
**Figura 12** – gráfico IxV, painel conectado a dois reostatos, 11 e 110 ohms, em série. Dia ensolarado.



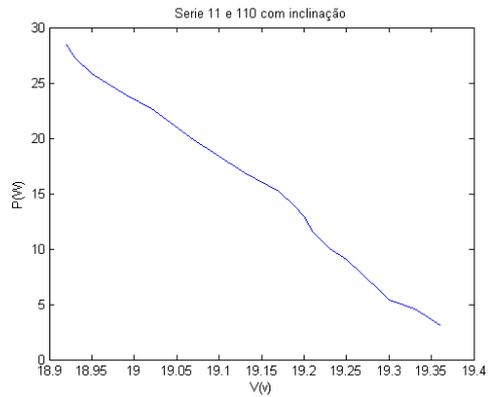
**Figura 13** - gráfico PxV , painel conectado a dois reostatos, 11 e 110 ohms, em série. Dia ensolarado.

A corrente se altera apenas aproximadamente 1 A, ou seja, a corrente esta praticamente constante apesar da variação da resistência. A tensão máxima se aproxima de 19 volts. A figura 13, a qual o gráfico apresenta a curva da tensão pela potência, conseguimos visualizar que a potência máxima nessa faixa é aproximadamente 25 W.

Nos gráficos abaixo, o painel foi inclinado. A corrente, tensão e potência máxima tiveram um aumento pequeno ao serem comparados com os valores do painel sem inclinação. O circuito com dois reostatos em serie apresenta uma faixa de variação de corrente e tensão muito pequena, não fornecendo uma curva significativa para analise.



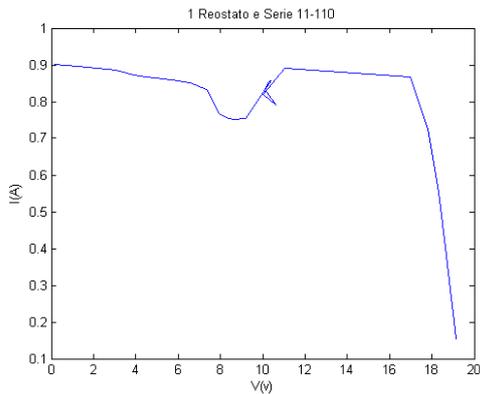
**Figura 14** – gráfico IxV, painel inclinado conectado a dois reostatos, 11 e 110 ohms, em série.



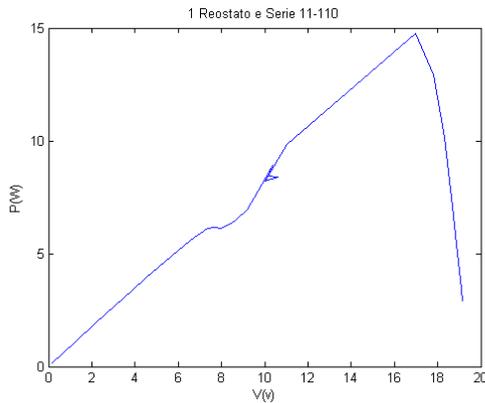
**Figura 15** – gráfico PxV, painel inclinado conectado a dois reostatos, 11 e 110 ohms, em série .

### 2.3 - Análise de gráficos em conjunto

Os gráficos anteriores dos pontos 2.1 e 2.2 foram combinados para análise conjunta. Em um dia com algumas nuvens encontramos os seguintes gráficos.



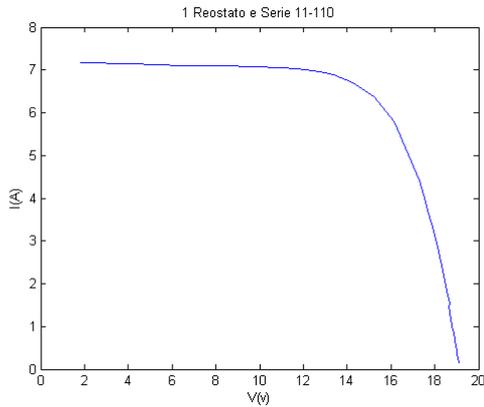
**Figura 16** – gráficos IxV do painel conectado a um reostato e do painel com dois reostatos em serie juntos. Dia parcialmente nublado.



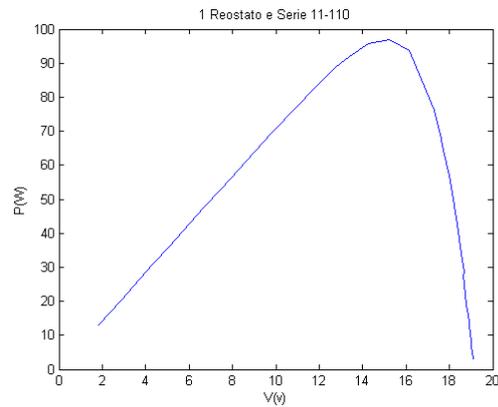
**Figura 17** – gráficos PxV do painel conectado a um reostato e do painel com dois reostatos em serie juntos. Dia parcialmente nublado.

A figura 16 apresenta junção de gráficos IxV em um dia com algumas nuvens. Analisando a figura percebemos que os gráficos se encaixam. Contudo, há uma pequena queda entre eles devido à junção dos gráficos. Ainda assim, a corrente nessa escala se mantém praticamente constante ao redor de 0,9 A e novamente quando a tensão atinge, aproximadamente, 17 V há a queda da corrente.

As figuras 18 e 19, representam um dia quente e sem nuvens.



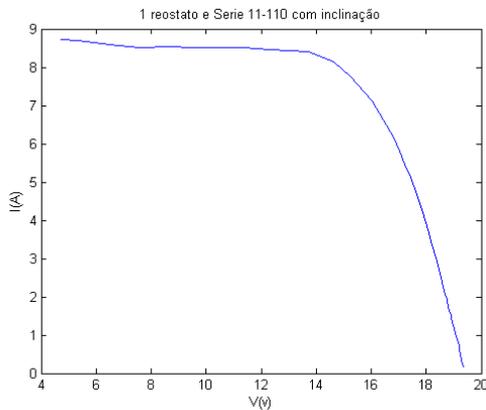
**Figura 18** – gráficos IxV do painel conectado a um reostato e do painel com dois reostatos em serie juntos. Dia ensolarado.



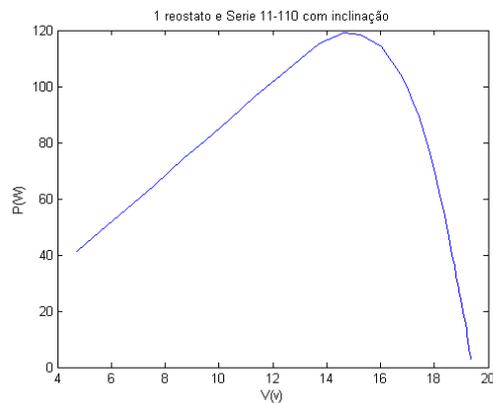
**Figura 19** – gráficos PxV do painel conectado a um reostato e do painel com dois reostatos em serie juntos. Dia ensolarado.

Ao analisar a figura 18 percebemos que as curvas se encaixam perfeitamente por serem gráficos complementares. Ao decorrer da maior parte do experimento a corrente se mantém constante em 7 A e em aproximadamente 14V a corrente cai ate chegar a 0 A. Na figura 19, o pico de potência chega a 98W.

As figuras 20 e 21 apresentam o gráfico feito com o painel inclinado. Percebemos que a maior parte da curva vem do experimento com apenas o reostato no circuito, o qual foi capaz de elevar a tensão significativamente.



**Figura 20** – gráficos IxV do painel inclinado conectado a um reostato e do painel inclinado com dois reostatos em serie juntos. Dia ensolarado.



**Figura 21** – gráficos PxV do painel inclinado conectado a um reostato e do painel inclinado com dois reostatos em serie juntos. Dia ensolarado.

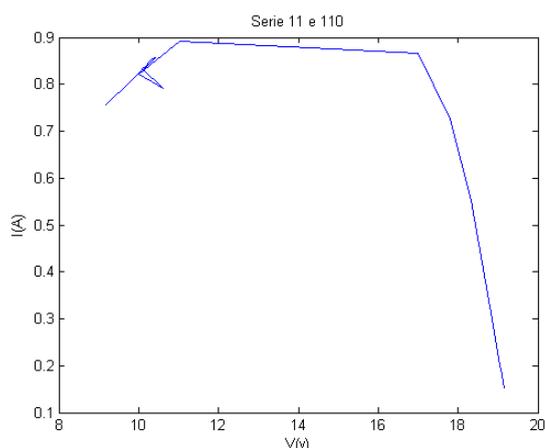
A Potência, corrente e tensão máximas chegam a 120 W, 8 A e 19 V. No manual da KD 140 F, SX Series podemos verificar que a potencia máxima pode chegar a 140W, 7,91 A e 17,7 V. Logo, os valores do experimento nos gráficos são aceitáveis.

A comparação desses valores é vital para se poder realizar estimativas da quantidade de energia gerada, bem como verificar a compatibilidade de ligação com outros componentes do sistema fotovoltaico.

## 2.4 - Interferência da incidência do sol na eficiência do painel

Em tempo nublado, o painel solar continua em funcionamento, embora produzam menos eletricidade que em um dia ensolarado. Quando em tempo nublado, os testes muitas vezes não foram eficientes pelo fato de que a passagem de nuvens afeta a radiação no painel, ocorrendo grandes variações de energia produzida. Ao analisarmos a figura 16, percebemos que a corrente é bem pequena ao compararmos com o gráfico da figura 18. Essa diferença é encontrada porque o dia em que as medições do gráfico da figura 16 foram feitos o céu se encontrava com nuvens, o que atrapalhou a radiação solar no painel. Assim, no gráfico do dia com nuvens a corrente máxima só chega a 0,9 A, enquanto no dia ensolarado se chega a 8 A. Há uma grande alteração na potência também, enquanto no dia com nuvens a máxima potencia é 15 W, no dia ensolarado a potencia se aproxima de 100 W.

Outro exemplo da interferência do da ação do sol está na figura 22, abaixo. O experimento foi feito durante um dia com nuvens.



**Figura 22** – Gráfico IxV. Painel conectado a dois resistores em serie. Dia com nuvens.

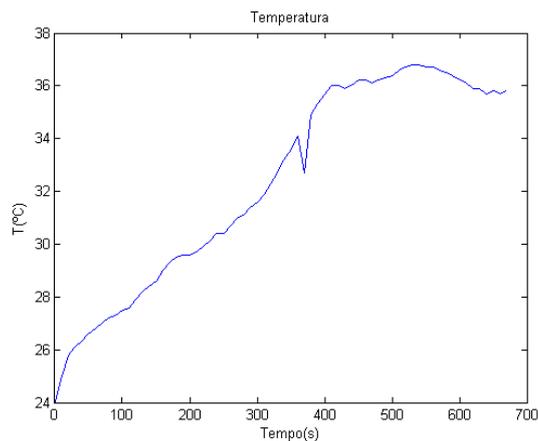
Quando a curva esta na altura da voltagem de 10 V, podemos perceber uma leve alteração na forma da curva. Essas alterações se devem a alterações na quantidade de sol que irradia no painel.

A quantidade de energia elétrica produzida é proporcional à intensidade da luz que incide no painel solar. Desse modo, em um dia com céu claro e ensolarado, a energia gerada será muito maior do que outro com céu nublado. Sempre há geração de eletricidade sob a luz, porém a sua intensidade será menor em razão do grau de insolação. A claridade, apesar da neblina existente, irá produzir energia (SUNLAB POWER, 2014).

## 2.5 – Variação de Temperatura do painel solar

O modelo de painel fotovoltaico que foi utilizado não funciona através da temperatura, apenas pela radiação solar (Manual Kyoscera KD140SX). Contudo a variação de temperatura pode nos ajudar a estudar e analisar o painel com mais detalhes. A variação de temperatura do painel foi medida de 10 em 10 segundos, sendo que o início da contagem foi imediatamente após o painel ser colocado ao sol. Na figura 23 abaixo, a curva se inicia com uma temperatura de 24°C e a temperatura vai gradativamente aumentando até atingir uma temperatura ao redor de 37°C. Logo, após 10 minutos de exposição ao sol a temperatura do painel converge para o seu valor final. A pequena variação de temperatura do painel no tempo de 400 s se deve a uma nuvem que cobriu o painel por algum período de tempo.

Medir o coeficiente de temperatura é importante porque o valor de radiação pode ser elevado, assim a temperatura nas células aumenta, podendo chegar aos 70°C, causando uma redução do rendimento. Por outro lado em baixas temperaturas, o valor de tensão em circuito aberto aumenta, colocando em risco o estado da célula fotovoltaica. (LANDIN, 2010. p.24).



**Figura 23** – Gráfico TxTemp. Apresenta aumento de temperatura no painel em 10 min.

## 3 - Conclusão

Os testes experimentais foram realizados com sucesso e os valores experimentais encontrados são corretos comparados aos valores teóricos esperados. Com essa análise do painel podemos assim seguir para o projeto final de construir um circuito que conecte o painel a uma bateria e posteriormente esse sistema ser adaptado a um barco teleoperado.

### **Referências Bibliográficas**

KD 140 F, SX Series. Disponível em:

<<http://www.kyocerasolar.com/assets/001/5340.pdf>>. Acesso em: 10 dez 2014.

DIENSTMANN, Gustavo. Energia Solar. Porto Alegre. 2009.

SUNLAB POWER. Energia solar e suas aplicações sem segredos. Disponível em: <[http://www.sunlab.com.br/Energia\\_solar\\_Sunlab.htm](http://www.sunlab.com.br/Energia_solar_Sunlab.htm)>. Acesso em: 20 dez 2014.

LANDIN, Edslei. Energia solar fotovoltaica. 2010.

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Manual do engenheiro para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: 1999.