

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CARARINA**

**ARTHUR DURIGON MELLO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE ENERGIA**

**ARARANGUÁ**

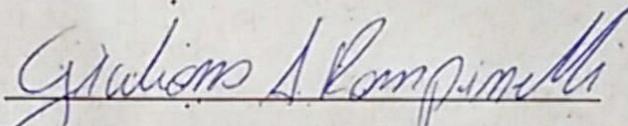
**2016**

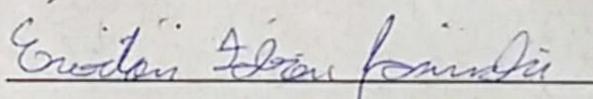
ARTHUR DURIGON MELLO

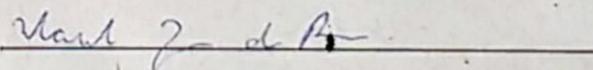
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE ENERGIA

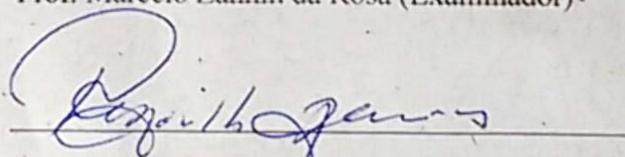
Trabalho de conclusão de curso na  
modalidade de artigo científico para a  
aprovação na disciplina de Trabalho de  
Conclusão de Curso do curso de Engenharia  
de Energia da Universidade Federal de Santa  
Catarina – Campus Araranguá

Aprovado em: 15/06/2016

  
Prof. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)

  
Prof. Éverton Fabian Jasinski (Examinador)

  
Prof. Marcelo Zannin da Rosa (Examinador)

  
Prof. Reginaldo Geremias (Supervisor)

# ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE A PARTIR DA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES DE MÉRITO

Arthur Durigon Mello\*

## RESUMO

A determinação do desempenho de sistemas fotovoltaicos viabiliza o estudo, a experimentação e o monitoramento destes, isto auxilia o desenvolvimento da tecnologia e da operação atribuindo maturidade e confiabilidade à aplicação do sistema como fonte de energia elétrica. Este trabalho apresenta a metodologia para a determinação de índices de mérito de sistemas fotovoltaicos como produtividade de referência, produtividade do sistema, perdas, *performance ratio*, fator de capacidade e eficiência global do sistema, e também os resultados da determinação dos índices para sistemas localizados em sete cidades distintas: Bratislava na Eslováquia, Delft e Amsterdam na Holanda, Stellenbosch e Cidade do Cabo na África do Sul e Florianópolis no Brasil. Os índices foram determinados utilizando duas fontes de dados, plataforma de monitoramento pvSpot versão demo da SolarGIS para quatro cidades e simulações do software System Advisor Model (SAM) da NREL para quatro cidades, sendo a cidade de Bratislava com índices de ambas as fontes. O objetivo do trabalho foi apresentar, comparar e constatar as diferenças de índices de cidades próximas, ou da mesma cidade no caso de Bratislava, que apresentam de fontes distintas de dados. Ao final do trabalho constatam-se diferenças significativas entre os índices de mérito obtidos a partir dos dados de monitoramento pvSpot e os índices de mérito a partir dos dados de simulação SAM.

Palavras-chave: Energia solar, sistemas fotovoltaicos, índices de mérito.

---

\*Graduando do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88906-000.  
E-mail: [arthurmello28@gmail.com](mailto:arthurmello28@gmail.com)

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta melhor recurso natural para a utilização de energia solar que o continente europeu, onde a energia solar fotovoltaica é largamente utilizada (PINHO; GALDINO, 2014). Recentemente o mercado de energia solar fotovoltaica esteve em forte crescimento, com isso, este crescimento incentivou para a realização de um maior número de estudos no Brasil relacionado a esta tecnologia.

O sistema fotovoltaico se destaca pela sua característica de modularidade, apresentando capacidade de ser aplicado tanto em pequena escala quanto em grande escala, possibilitando o dimensionamento de sistemas desde alguns kWp (kilo-Watt-pico) até múltiplos MWp (Mega-Watt-Pico).

O estudo sobre o desempenho do sistema fotovoltaico auxilia no desenvolvimento da tecnologia e da operação aumentando a maturidade e a confiabilidade dos sistemas. Os índices de mérito técnico de um sistema fotovoltaico conectado à rede representam índices que estão relacionados à energia, eficiência, produtividade, desempenho e as perdas do sistema fotovoltaico. (RAMPINELLI, 2010)

Este trabalho apresenta a metodologia para determinação de índices de mérito de desempenho, que podem ser aplicados em sistemas fotovoltaicos de qualquer tecnologia e escala. O trabalho apresenta os resultados e as análises sobre o desempenho de três sistemas fotovoltaicos, cujos dados estão disponíveis gratuitamente na plataforma PVSpot versão demo da SolarGIS. Os três sistemas fotovoltaicos estão localizados em Bratislava na Eslováquia, em Delf na Holanda e em StellenBosch na África do Sul, os sistemas apresentam a potência de 19,1 kWp, 15,24 kWp, e 1 kWp, respectivamente.

Também é apresentado os índices de mérito obtidos a partir dos dados de simulação utilizando o software System Advisor Model – SAM, desenvolvido pelo laboratório americano NREL. Os índices a partir da simulação representam quatro cidades: Amsterdam na Holanda, Cidade do Cabo na África do Sul, Bratislava da Eslováquia e Florianópolis no Brasil. Sistemas fotovoltaicos de 15,3 kWp, 19,1 kWp, 1.0 kWp e 5 kWp foram simulados para as cidades de Amsterdam, Bratislava, Cidade do Cabo e Florianópolis, respectivamente.

Após a apresentação dos dados, realizou-se a comparação entre os índices de diferentes fontes para as cidades de mesmo país que se encontram próximas, no caso das cidades de

Stellenbosch e Cidade do Cabo, e Delft e Amsterdam, e a comparação de índices de diferentes fontes para a mesma cidade, no caso de Bratislava. Os índices de Florianópolis são comparados com as outras três cidades de mesma fonte de dados.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A irradiação solar é uma fonte de energia com potencial devido à utilização de sistemas de conversão. A conversão direta de energia solar em energia elétrica ocorre por meio da utilização do sistema fotovoltaico. (ZOMER, 2014).

De acordo com Macedo (2006), o uso de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR) se justifica quando o custo da energia produzida por estes é comparável com o custo apresentado por fontes convencionais de energia. A aplicação do SFCR em residências e indústrias pode diversificar a produção de energia elétrica no Brasil. Uma das vantagens do SFCR é a possibilidade de integração com a arquitetura da edificação, possibilitando a utilização do recurso solar presente no local de consumo para a geração de energia. (MACEDO, 2006). Outras vantagens do SFCR é a inexistência de partes móveis, o curto prazo de instalação, o alto grau de confiabilidade e a possibilidade de utilização em meio urbano. (ZOMER, 2014). Fabricantes de módulos fotovoltaicos, que utilizam a tecnologia de silício cristalino, garantem a vida útil de seus produtos de 25 anos. (PINHO; GALDINO, 2014).

Algumas desvantagens do sistema fotovoltaico são o alto custo de obtenção, produção intermitente de energia e a presença de sombreamento nos módulos afetam diretamente na produtividade do sistema. A localização, a orientação e as técnicas utilizadas na instalação dos sistemas apresentam forte influência no desempenho dos sistemas fotovoltaicos. (MEMARI, et. al., 2014).

A produção de energia elétrica a partir de um sistema fotovoltaico depende do recurso solar disponível no local da instalação. Os dados referentes a irradiação solar em kWh/m<sup>2</sup> representam o recurso solar e são obtidos a partir das medições de estações meteorológicas e/ou outras técnicas. Alguns fatores influenciam no aproveitamento do recurso solar pelo sistema, como a inclinação, a orientação dos módulos fotovoltaicos, a eficiência dos módulos, a eficiência do inversor utilizado e as perdas devido as conexões. Os fatores citados anteriormente possuem a sua contribuição em relação à performance da conversão da energia solar em energia elétrica. (FUSANO, R. H.; 2013).

O clima local apresenta a sua influência na performance do sistema, uma vez que a temperatura ambiente combinada com a irradiância afetam a temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos. O aumento da temperatura do módulo fotovoltaico implica em uma diminuição da energia convertida considerando a mesma radiação solar disponível. Esta diminuição de produtividade ocorre devido à diminuição da tensão da célula fotovoltaica com o aumento da temperatura da mesma. Em módulos de silício monocristalino, a perda de potência do módulo está entre 0,3 e 0,4% para cada 1<sup>o</sup>C acima de 25<sup>o</sup>C. (FUSANO, R. H.; 2013). A ventilação adequada se torna necessária, evitando o superaquecimento dos módulos que diminui a produtividade do sistema. (ZOMER, 2014).

Os índices de mérito de desempenho de sistemas fotovoltaicos foram propostos pela organização *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programm* (IEA-PVPS). Estes índices padronizam a prática de monitoramento de sistemas fotovoltaicos e são ferramentas de análise que permitem avaliar o desempenho de sistemas fotovoltaicos.

A partir deste monitoramento, utilizando índices de mérito de desempenho, é possível determinar e entender as perdas do sistema fotovoltaico que não podem ser caracterizadas por uma avaliação direta do equipamento. Os métodos propostos pela IEA- PVPS são aplicáveis em todas as tecnologias de sistemas fotovoltaicos. (IEA-PVPS, 2014). Os índices de mérito são parâmetros que caracterizam equipamentos, sistemas ou tecnologias de acordo com a sua performance de conversão de energia. (FUSANO, R. H.; 2013).

A análise do rendimento do sistema por meio de comparação com o rendimento de referência é geralmente o parâmetro de performance para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Esta relação representa a eficiência de todo o sistema de conversão de energia. (IEA-PVPS,2014).

A necessidade de padronização dos métodos de avaliação dos sistemas surgiu pelo aumento da utilização dos sistemas FV e pela necessidade de atribuir maior credibilidade para as tecnologias aplicadas a estes sistemas, contribuindo para o desenvolvimento destas. (FUSANO, R. H.; 2013).

Os parâmetros relacionados à performance podem ser calculados a partir de bancos de dados de monitoramento, somando-os, calculando as médias ou as suas relações em um certo período de tempo como mês ou ano. (IEA-PVPS,2000). Para isso, a coleta de dados sobre a energia disponível na forma de radiação solar e de dados sobre a energia convertida é necessária. (IEA-PVPS,2014).

Os parâmetros que podem ser medidos durante o funcionamento do sistema fotovoltaico são os demonstrados pela Tab. 1. (IEA-PVPS, 2014).

Tabela 1 – Parâmetros que podem ser mensurados enquanto o sistema fotovoltaico opera.

<b>Parâmetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>
Irradiação no Plano Inclinado	$G_I$	$W/m^2$
Temperatura Ambiente	$T_{Amb}$	$^{\circ}C$
Temperatura do Módulo FV	$T_{Mod}$	$^{\circ}C$
Velocidade do Vento	$S_w$	m/s
Tensão do Arranjo FV	$V_{DC}$	V
Corrente do Arranjo FV	$I_{DC}$	A
Potência do Arranjo	$P_{DC}$	kW
Tensão à Rede Elétrica	$V_{AC}$	V
Corrente à Rede Elétrica	$I_{AC}$	A
Potência à Rede Elétrica	$P_{AC}$	kW
Duração do Desligamento do Sistema FV	$t_{outage}$	S

Fonte: Adaptado de IEA-PVPS,2014.

Os estudos e as análises dos desempenhos dos sistemas fotovoltaicos (FV) são necessários para o contínuo desenvolvimento da tecnologia e da indústria fotovoltaica. Os índices de desempenho são referências para diagnosticar a qualidade do sistema FV, identificar necessidades futuras de melhoramento e definir expectativas do retorno financeiro atribuído ao sistema.

Um dos objetivos de monitorar um sistema FV é identificar falhas no sistema. Muitos sistemas utilizam esta análise dos índices para prevenir perdas econômicas por problemas operacionais. Um adequado monitoramento pode rapidamente detectar problemas operacionais, contribuindo para uma produção maior de energia em comparação ao sistema sem monitoramento. (IEA-PVPS, 2014).

Com a aquisição dos índices de mérito, é possível comparar a performance de sistemas de várias localidades distribuídas pelo mundo que apresentam diferentes configurações, design e tecnologias de sistemas. (FUSANO, R. H.; 2013 e IEA-PVPS,2014).

Os índices de mérito possibilitam a otimização, de tal modo que maximize a eficiência de sistemas FV em aplicações futuras. Utilizando os índices é possível determinar e entender o comportamento de novas tecnologias fotovoltaicas em um longo período de operação e aprender a partir de experiências de sistemas que não obtiveram sucesso em sua operação. (IEA-PVPS, 2014).

Um dos parâmetros monitorados é a irradiação solar, a qual está relacionada ao recurso solar disponível para o sistema fotovoltaico. A irradiação média no plano do arranjo fotovoltaico ( $H(\gamma,\beta)$ ), sendo  $\gamma$  o ângulo do desvio azimutal e  $\beta$  a inclinação do arranjo fotovoltaico em relação ao plano horizontal, é definida pela Eq. 1. (IEC, 1998).

$$H(\gamma, \beta) = \frac{1}{\Gamma} \int G(t) \cdot dt \quad (1)$$

Onde  $G$  é a irradiância no plano do arranjo fotovoltaico e  $\Gamma$  é o período de operação do sistema.

A eficiência global do sistema FV é um dos índices de mérito que o caracteriza. Para determinar a eficiência global do sistema, deve-se obter a razão entre a energia elétrica em corrente alternada entregue pelo sistema e a energia solar disponível para o arranjo fotovoltaico efetuar a conversão. A eficiência é dada pela Eq. 2. (IEC, 1998).

$$\eta_S = \frac{E_{CA}}{E_{FV}} = \frac{\int_0^{\Gamma} P_{CA}(t) \cdot dt}{A_{FV} \cdot \int_0^{\Gamma} G(t) \cdot dt} \quad (2)$$

Onde  $\eta_s$  é a eficiência global do sistema FV,  $E_{CA}$  é a energia elétrica entregue à rede,  $E_{FV}$  é a energia solar disponível para conversão no arranjo fotovoltaico,  $P_{CA}$  é a potência elétrica entregue à rede,  $A_{FV}$  é a área do arranjo fotovoltaico.

O fator de capacidade ( $FC$ ) é o índice de mérito que é definido pela razão entre a produção de energia elétrica real e a produção teórica de energia se o sistema operasse todo o período analisado em sua potência nominal na condição padrão (1000W/m<sup>2</sup> e 25<sup>0</sup>C): (IEC, 1998).

$$FC = \frac{E_{CA}}{E_{STD}} = \frac{\int_0^T P_{CA}(t) \cdot dt}{\int_0^T P_{STD}(t) \cdot dt} \quad (3)$$

Onde  $FC$  é o fator de capacidade do sistema,  $E_{CA}$  é a energia elétrica entregue à rede,  $E_{STD}$  é a energia elétrica que seria entregue à rede se o sistema operasse todo o período analisado na potência do sistema em condição padrão,  $P_{CA}$  é a potência elétrica ativa entregue à rede,  $P_{STD}$  é a potência do sistema na condição padrão.

O fator de capacidade é um índice de desempenho utilizado em diferentes tipos de fontes de energia, possibilitando comparações entre diferentes formas de conversão de energia. Devido à natureza do recurso solar com a sua intermitência e às variações climáticas, o fator de capacidade dos sistemas fotovoltaicos é baixo. No Brasil, o fator de capacidade está entre 13% e 18%, variando segundo a disponibilidade de recurso solar, dimensionamento e tecnologia empregada. A Fig. 1 compara os índices de mérito de fatores de capacidade de diferentes fontes de energia. O fator de capacidade dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) são menores que os outros sistemas de geração devido à natureza do recurso solar, movimento da Terra em relação ao sol e às variações climáticas (FUSANO, 2013).

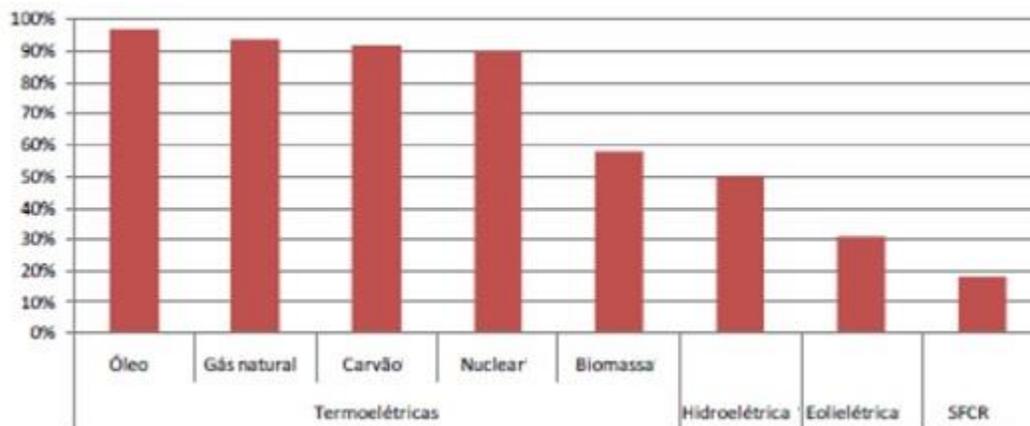


Figura 1 – Fator de Capacidade de diferentes fontes de energia.

Fontes: FUSANO, 2013 *apud* ALMEIDA, 2012

A Fig. 2 apresenta os índices de fator de capacidade de alguns sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no Brasil. Percebe-se que os índices para estes sistemas estão entre 12,3% e 16,8%, ambos localizados na USP.

Instalação	Fator de Capacidade [%]
UFSC - Prédio de Engenharia Mecânica (2,0kWp)	14,0
UFSC - Centro de Cultura e Eventos (10,24kWp)	16,0
UFRGS - Laboratório de Energia Solar (4,8kWp)	13,8
USP - Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (0,750kWp)	16,8
IEE - USP - Prédio da Administração (12,3kWp)	12,5
IEE-USP - Estacionamento 3,0kWp	12,3
UFPA - GEDAE (1,58kWp)	14,8
Fundação Estrela - São Bernardo do Campo - SP (14,7kWp)	12,5
Motor-Z - São Bernardo do Campo - SP (2,5kWp)	15,0

Figura 2 – Índices de fator de capacidade de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) no Brasil.

Fonte: FUSANO,2013

O índice de produtividade do sistema FV é definido como a energia convertida em kWh por kWp instalado do sistema FV em um determinado período. Este índice é dado em horas de sol na condição padrão (1000 W/m<sup>2</sup>) no determinado período de estudo. (RAMPINELLI, 2010).

A produtividade do sistema pode ser calculada a partir da Eq. 4.

$$Y_F = \frac{1}{P_{STD}} \cdot \left[ \frac{1}{\Gamma} \cdot \int_0^{\Gamma} P_{CA}(t) \cdot dt \right] \quad (4)$$

A produtividade de referência é determinada pela Eq. 5. Este parâmetro caracteriza o recurso local onde o sistema estaria instalado. Este índice é dado em horas de sol na condição padrão (1000 W/m<sup>2</sup>) em determinado período de estudo. (IEC, 1998).

$$Y_R = \frac{H(\gamma, \beta)}{G_{STD}} \quad (5)$$

A perda de captura do arranjo ( $L_C$ ) é determinada pela Eq. 6. As perdas do sistema ( $L_S$ ) são determinadas pela Eq. 7. A perda de captura do arranjo junto com a perda do sistema pode ser

definidas como a perda total do sistema fotovoltaico ( $L_T$ ). A Eq. 8 demonstra o cálculo para determinar a perda total do sistema.

$$L_C = Y_R - Y_A \quad (6)$$

$$L_S = Y_A - Y_F \quad (7)$$

$$\begin{aligned} L_t &= L_C + L_S = Y_R - Y_A + Y_A - Y_F \\ L_t &= Y_R - Y_F \end{aligned} \quad (8)$$

A comparação entre a produtividade do sistema e a produtividade de referência é geralmente o parâmetro de performance para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Esta relação representa a eficiência de todo o sistema de conversão de energia. Para isso, os dados sobre a energia produzida e sobre a energia disponível em forma de radiação solar são necessários para a determinação do rendimento do sistema FV. (IEA-PVPS,2014)

A razão de desempenho ( $PR$ ) é definido como a razão entre produtividade do sistema e a produtividade de referência (Eq. 9). Este índice é utilizado para avaliações e comparações de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de diferentes latitudes. (IEC, 1998).

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (9)$$

O monitoramento do índice PR é útil para a identificação de problemas operacionais. A variação significativa do índice PR em intervalos curtos de tempo (dias) está relacionada a falha de algum componente do SFCR como atuações de disjuntores, falhas em soldas, em conexões, de diodos, e/ou em inversor(es). Já a variação gradual do PR está relacionada ao surgimento de novos sombreamentos, neve, sujeira, e/ou degradação do sistema fotovoltaico. Os valores de PR tendem a ser maiores no inverno do que no verão devido a influência da temperatura. (FUSANO, 2013 e IEA-PVPS,2014).

Em uma primeira aproximação, a conversão de energia pelo sistema fotovoltaico pode ser considerada linear, ou seja, a produção de energia pelo sistema é proporcional à energia disponível no mesmo plano de inclinação em que o sistema se encontra. (IEA-PVPS, 2014).

Segundo Benedito (2009), o valor de PR de 0,75, ou seja, um desempenho global de 75%, é um desempenho razoável comparado aos sistemas descritos na literatura anteriormente.

O valor do desempenho global PR não deve ser confundido com a capacidade de energia a ser produzida pelo sistema. Um sistema que apresenta um valor de PR alto não necessariamente produz uma quantidade de energia maior que outro sistema que apresenta um valor de PR menor. O sistema pode produzir uma quantidade maior de energia elétrica apresentando um PR menor, pois o sistema estaria inserido em uma localidade que apresenta um melhor recurso solar. (FUSANO, 2013). O índice PR é influenciado diretamente pela temperatura ambiente. Este trabalho apresentará na seção resultados e análise a correlação do PR com a temperatura ambiente média mensal para os sistemas fotovoltaicos em estudo.

A Fig. 3 apresenta o diagrama que relaciona os índices de mérito com o processo de conversão de energia, desde o recebimento da irradiância solar pelo sistema FV, que está orientado com uma inclinação  $\beta$  e um desvio azimutal  $\gamma$ , até a produção de energia elétrica em corrente alternada. A produtividade de referência ( $Y_R$ ) está relacionada ao recurso solar. O arranjo fotovoltaico apresenta como característica a temperatura dos módulos ( $T_{mod}$ ), a temperatura ambiente em que os módulos se encontra ( $T_{amb}$ ) e a área ocupada pelos módulos ( $A_{FV}$ ). O arranjo fotovoltaico apresenta perda de captura ( $I_C$ ), assim a produtividade do arranjo ( $Y_A$ ) é o recurso solar menos as perdas de captura, apresentando características como potência em corrente contínua ( $P_{DC}$ ), tensão em corrente contínua ( $V_{DC}$ ) e corrente contínua ( $I_{DC}$ ). O inversor apresenta perdas de conversão de corrente contínua em corrente alternada ( $I_S$ ), caracterizando a perda do sistema fotovoltaico. A produtividade do sistema fotovoltaico se caracteriza pela a produtividade do arranjo ( $Y_A$ ) menos as perdas do sistema ( $I_S$ ), ou pela a produtividade de referência ( $Y_R$ ) menos o somatório de perdas de captura e do sistema ( $I_C + I_S$ ).

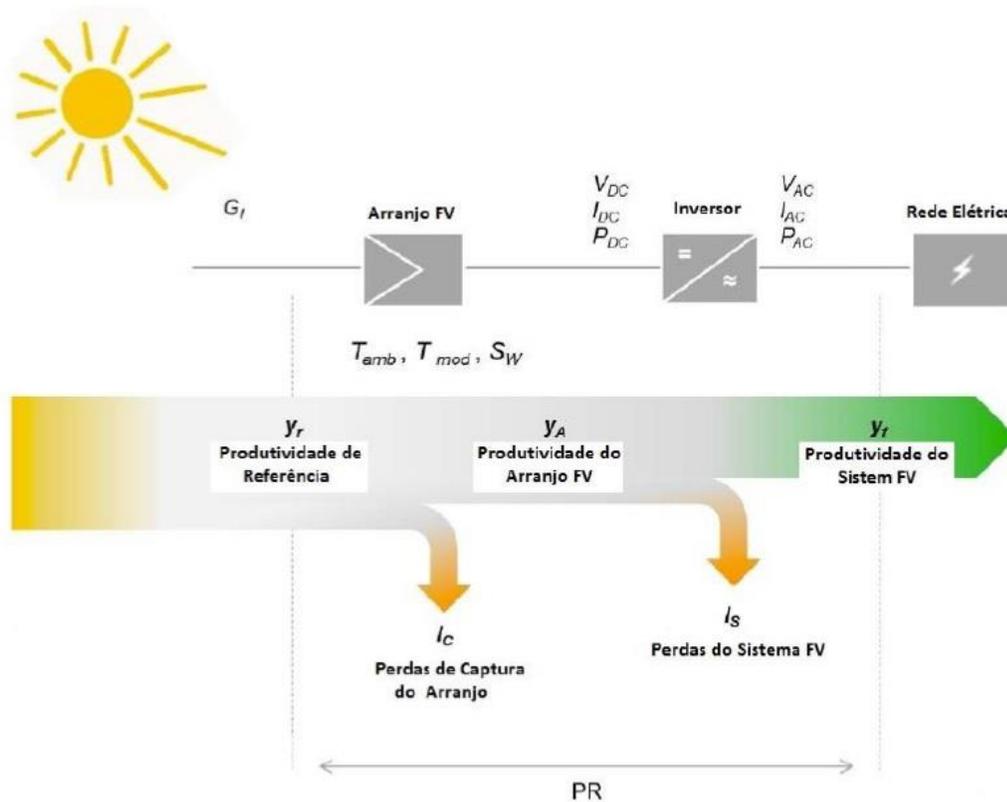


Figura 3 – Diagrama que relaciona os índices de mérito com o processo de conversão de energia.

Fonte: IEA-PVPS,2014, adaptada.

Fenômenos como sombreamento, aumento da temperatura, a degradação dos módulos, defeitos no inversor e o mau dimensionamento do inversor são fatores que influenciam na diminuição do índice PR. (IEA-PVPS,2014)

Três destes índices de mérito podem ser usados para definir a performance de um sistema fotovoltaico conectado à rede, no que diz respeito ao aproveitamento da radiação solar, produção de energia e efeitos das perdas do sistema. Estes parâmetros são respectivamente: fator de capacidade (CF), produtividade anual ( $Y_F$  ou *Final Yield*) e desempenho global (PR ou *Performance Ratio*). (BENEDITO, 2009).

### 3 MATERIAIS E METODOS

O trabalho apresentou três fases. A primeira fase foi a determinação dos índices de mérito dos sistemas fotovoltaicos instalados em Delft na Holanda, Bratislava na Eslováquia e Stellenbosch na África do Sul. A segunda fase foi a determinação de índices de mérito de sistemas fotovoltaicos simulados localizados em Amsterdam na Holanda, Cidade do Cabo na África do Sul, Florianópolis no Brasil e Bratislava, localidades próximas das cidades estudadas na primeira fase do trabalho, exceto Bratislava, a mesma cidade. E a terceira fase foi a comparação dos índices de mérito obtidos nas duas fases anteriores para cidades próximas, para a mesma cidade no caso de Bratislava e uma comparação entre o resultado a partir dos dados de simulação das três cidades, Amsterdam, Cidade do Cabo e Bratislava, e o resultado de Florianópolis.

Na primeira fase, a determinação de índices de mérito foi obtida a partir de dados de monitoramento de sistemas fotovoltaicos reais. O tratamento dos dados e realização dos gráficos se realizou com a utilização do software Microsoft Excel aplicando as equações apresentadas no referencial teórico deste trabalho.

Os dados provenientes do monitoramento dos sistemas fotovoltaicos utilizados neste trabalho são disponíveis pela SolarGIS. A SolarGIS é uma empresa que oferece sistemas de informações geográficas projetados para atender as necessidades da indústria de energia solar. A SolarGIS também oferece dados sobre o recurso solar com ferramentas para o planejamento e monitoramento de desempenho de sistemas de energias solar. Com o SolarGIS é possível caracterizar o recurso solar de qualquer local na superfície terrestre, planejar e monitorar a produtividade de sistemas fotovoltaicos e realizar melhores decisões utilizando dados solarimétricos de alta precisão. (SOLARGIS, 2016).

A SolarGIS apresenta os produtos iMaps, pvPlanner, climData, dataServices, solarMaps e pvSpot. O produto pvSpot oferece o serviço de monitoramento confiável para qualquer usina fotovoltaica, possibilitando a comparação da energia esperada e a energia realmente produzida. Este é uma ferramenta que promove o gerenciamento de um grande portfólio de usinas fotovoltaicas. (SOLARGIS, 2016).

Este trabalho utiliza os dados oferecidos na versão demo do pvSpot como fonte de dados para o cálculo dos índices de mérito dos sistemas monitorados. Os monitoramentos dos dados meteorológicos reais são provenientes de satélites que compõem o banco de dados da SolarGIS,

desta maneira, os sistemas monitorados não apresentam sensores de medição para o recurso solar no local. Segundo a SolarGIS, a precisão dos dados solarimétricos reais utilizados são comparáveis aos adquiridos pela utilização de piranômetros. (SOLARGIS, 2016).

Os dados dos sistemas fotovoltaicos disponíveis ao público pela versão demo do pvSpot são do sistema de 15,4 kWp de potência instalada em Delft, Holanda, do sistema de 19,1 kWp de potência instalada em Bratislava, Eslováquia e do sistema de 1 kWp de potência instalada em Stellenbosch, África do Sul.

O sistema fotovoltaico de 15,4 kWp localizado em Delft se encontra nas coordenadas 51,99° N, 4,37° L. Este é constituído de módulos de silício cristalino, que são montados de maneira fixa com uma inclinação de 26° e azimute de 180°, ou seja, orientados para o sul geográfico. Para o estudo deste sistema, foram utilizados os dados mensais dos períodos entre janeiro de 2010 e dezembro de 2015.

O sistema fotovoltaico de 19,1 kWp localizado na Eslováquia se encontra nas coordenadas 48,19° N, 17,03° L. Este é constituído de módulos de silício cristalino, que são montados de maneira fixa com uma inclinação de 30° e azimute de 180°, ou seja, orientados para o sul geográfico. Para o estudo deste sistema, foram utilizados os dados mensais dos períodos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2015.

O sistema fotovoltaico de 1 kWp localizado na África do Sul se encontra nas coordenadas 33,93° S, 18,86° O. Este é constituído de módulos de silício cristalino, que são montados de maneira fixa com uma inclinação de 20° e azimute de 0°, ou seja, orientados para o norte geográfico. Para o estudo deste sistema, foram utilizados os dados mensais dos períodos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2015.

Os dados para os três sistemas utilizados neste trabalho são os dados na base mensal, os dados utilizados foram a irradiação solar global no plano inclinado do sistema, a produção de energia do sistema, a área ocupada pelo sistema fotovoltaico e a média da temperatura mensal. Os dados mensais representam o monitoramento do período entre 2010 e 2015 para o sistema na Bratislava e o período entre 2011 a 2015 para os outros dois sistemas.

Na segunda fase, realizou-se a determinação de índices de mérito de sistemas fotovoltaicos simulados no software System Advisor Model (SAM) desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL). Os dados obtidos a partir da simulação para o cálculo dos índices são

dados mensais da irradiação solar no plano inclinado do sistema e da produção de energia e a área total do sistema.

O NREL desenvolve tecnologias relacionadas à energia limpa e eficiência energética, com desenvolvimento em ciência e engenharia fornecendo conhecimento e inovação para a integração de sistemas de conversão de energia em todas as escalas. O NREL apresenta pesquisa no campo de transporte sustentável, hidrogênio, biocombustível, integração de fontes alternativas na rede, geração distribuída de energia, baterias, estocagem térmica de energia, análise energética, e no campo de energia renovável: energia geotérmica, eólica e solar. Os estudos relacionados à energia solar realizados pela NREL são focados em duas principais áreas, a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica. A área de pesquisa em sistema fotovoltaico é direcionada para o melhoramento da eficiência de conversão da célula fotovoltaica, para o desenvolvimento de técnicas que diminuem o custo final do sistema fotovoltaico e para o aumento da confiabilidade do sistema. (NREL, 2016).

O SAM é um software gratuito desenvolvido pela NREL em parceria com Sandia National Laboratories com o objetivo de fomentar a implementação e estudo de sistemas fotovoltaicos, simulando o retorno em energia elétrica, o retorno financeiro de acordo com o dimensionamento e dados econômicos utilizados. Este software calcula a performance técnica e econômica de projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede baseado no design, no dimensionamento do sistema e o modelo financeiro que o sistema está inserido. (SAM, 2016).

Os três sistemas simulados pelo SAM localizados em Amsterdam, Cidade do Cabo e Bratislava apresentam características semelhantes e se encontram próximos aos sistemas monitorados pelo pvSpot em Delft, Stellenbosch e Bratislava, respectivamente. O quarto sistema simulado se encontra em Florianópolis, Brasil com o objetivo de comparação e contextualização com os outros três sistemas simulados pelo SAM e pelos monitorados pelo pvSpot.

O primeiro sistema simulado apresenta a potência de 15,3 kWp e está localizado em Amsterdam, Holanda, a 63 km de Delft. Este é constituído por 60 módulos de 255 W Yingli YL255P-29b, inversor Fronius SYMO 15.0-3 de 15 kW de potência. Os módulos são agrupados em três strings e apresentam a inclinação de 26° e azimute de 180° (direcionado ao sul geográfico).

O segundo sistema simulado apresenta a potência de 19,1 kWp e está localizado em Bratislava, Eslováquia. Este é constituído por 72 módulos de 265 W Yingli YL265P-29b, inversor

Fronius SYMO 20.0-3 de 20 kW de potência. Os módulos são agrupados em quatro strings e apresentam a inclinação de 30° e azimute de 180° (direcionado ao sul geográfico).

O terceiro sistema simulado apresenta a potência de 1,0 kWp e está localizado na Cidade do Cabo, África do Sul, a 50 km de Stellevosch. Este é constituído por 4 módulos de 250 W Yingli YL250P-29b, inversor SMA SB1110U de 1,1 kW de potência. Os módulos são agrupados em uma strings e apresentam a inclinação de 20° e azimute de 0° (direcionado ao norte geográfico).

O quarto sistema simulado apresenta a potência de 5,1 kWp e está localizado em Florianópolis, Brasil. Este é constituído por 20 módulos de 255 W Yingli YL255P-29b, inversor SMA SB5000U de 5 kW de potência. Os módulos são agrupados em duas strings e apresentam a inclinação de 25° e azimute de 0° (direcionado ao norte geográfico). Esta orientação foi estabelecida com o objetivo de simular um sistema que apresente uma melhor produtividade em Florianópolis, segundo o estudo de Kormann et al. (2014).

Na terceira fase é realizada a comparação dos índices de mérito obtidos para as cidades, exceto Florianópolis, apresentando as diferenças entre os valores encontrados para sistemas reais e simulados localizados em uma região próxima.

#### **4 RESULTADOS E ANÁLISE**

Os resultados e as análises são divididos em três secções. A primeira secção apresentará os resultados e as análises referentes aos índices de mérito obtidos utilizando os dados a partir do monitoramento dos três sistemas fotovoltaicos pela plataforma pvSpot do SolarGIS. A segunda secção apresentará os resultados e as análises referentes aos índices de mérito obtidos a partir dos resultados da simulação utilizando o software SAM para quatro cidades. A terceira secção apresentará a comparação entre os índices de mérito obtidos a partir dos dados de monitoramento e de simulação. Os índices de mérito não são influenciados pela potência do sistema e a sua área total ocupada, ou seja, os índices normalizam sistemas de diferentes potências e design instalados em diferentes locais, viabilizando a análise e a comparação de performance do sistema fotovoltaico.

#### 4.1 Índices de mérito a partir dados de monitoramento pvSpot

Os índices de mérito obtidos a partir do tratamento de dados de monitoramento da plataforma demo da pvSpot são apresentados nas Fig. 4-23.

A Fig. 4 apresenta os índices de mérito como produtividade de referência (YR), produtividade do sistema (YF) e as perdas totais de conversão de energia pelo sistema para cada mês para a cidade de Bratislava, Eslováquia, estes índices representam a energia disponível, a energia convertida pelo sistema e as perdas devido a conversão, respectivamente. A unidade destes índices de mérito é horas de sol nominal, que é a quantidade de energia equivalente ao número de horas de sol com uma irradiância de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Outra interpretação para a unidade “horas de solar” é a produção de energia por potência instalada, ou seja, kWh/kW. Observa-se na Fig. 4 que o mês que apresenta o melhor recurso solar é o mês de julho, verão no hemisfério norte, apresentando, em média, 184,7 horas de sol nominal, este mesmo mês apresenta a maior perda, 24% ou 44,5 horas de sol nominal. O mês que apresenta o menor recurso é dezembro com 44,6 horas de sol nominal disponível em média, praticamente o mesmo montante de energia perdida no mês de julho.

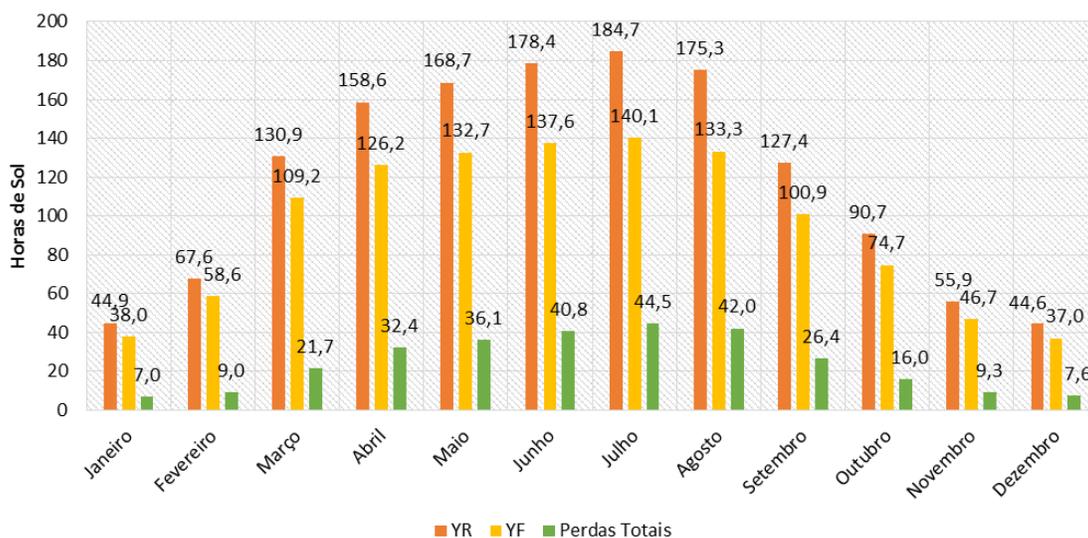


Figura 4 – Produtividade de Referência (YR), Produtividade do Sistema (YF) e Perdas Totais para Bratislava, Eslováquia.

A Fig. 5 apresenta a dispersão de dados de produtividade do sistema (YF) a partir do *box plot* para a cidade de Bratislava, Eslováquia. A Fig. 5 demonstra que existe uma maior dispersão de dados nos meses de fevereiro e maio. As menores distribuições de dados se encontram nos meses de outubro, novembro e dezembro.

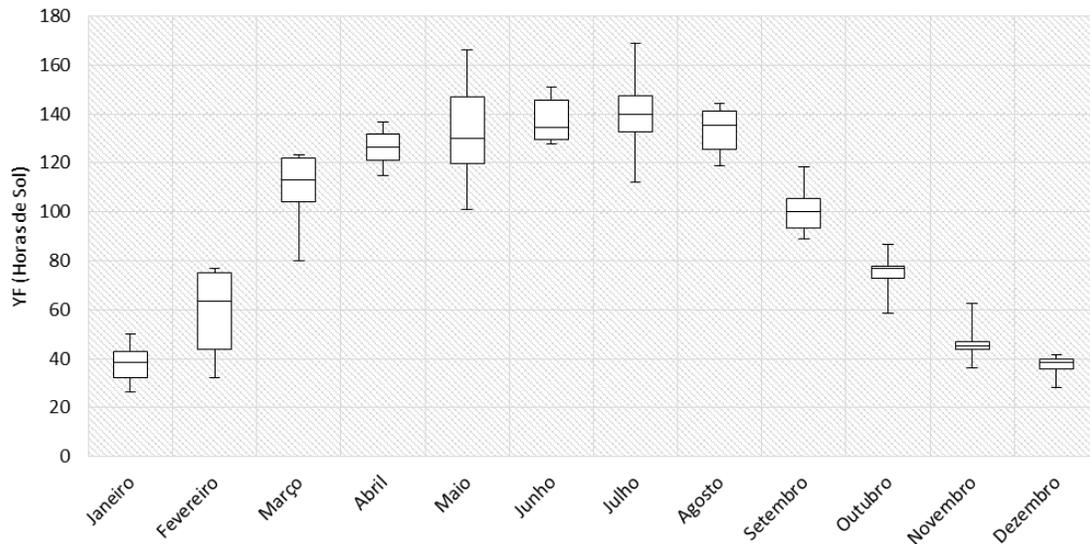


Figura 5 – *Box Plot* de Produtividade do Sistema para Bratislava, Eslováquia.

A Fig. 6 apresenta os índices de mérito como o *performance ratio* (PR), o fator de capacidade (FC) e a eficiência global do sistema para a cidade de Bratislava, Eslováquia. O fator de capacidade apresenta o seu valor máximo no mês de junho de 19,1 % e o seu valor mínimo no mês de dezembro de 5 %, este índice está diretamente relacionado à disponibilidade de recurso solar. A eficiência global do sistema e o *performance ratio* se apresentaram menores nos meses quentes e maiores nos meses frios. O menor índice de PR se encontra nos meses de julho e agosto, 0,76, e o maior índice ocorreu em fevereiro, 0,86. A eficiência se apresentou máxima em fevereiro, 13,4% e mínima em julho, 11,8%.

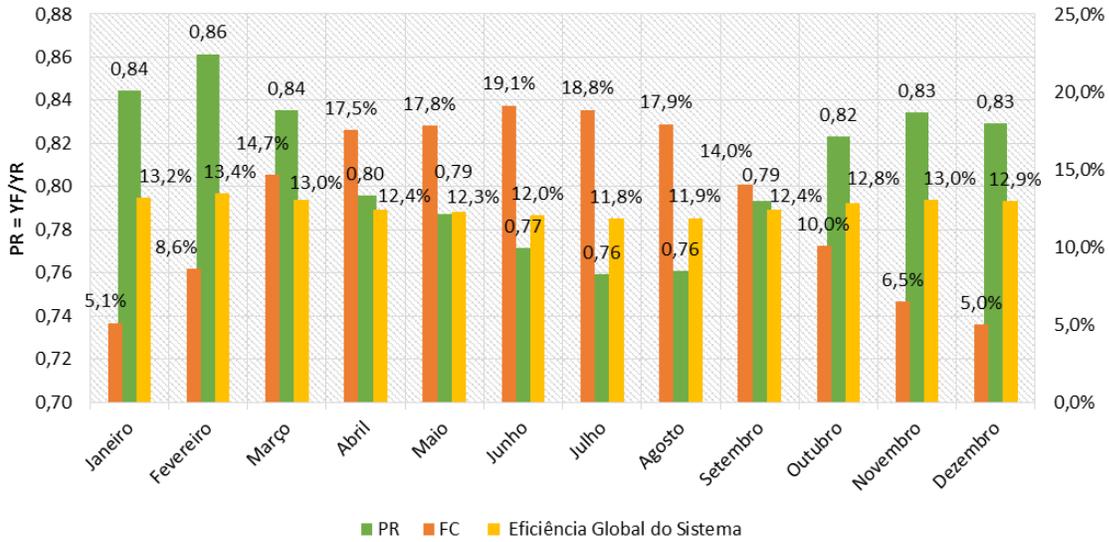


Figura 6 – Performance Ratio (PR), Fator de Capacidade (FC) e Eficiência Global para Bratislava, Eslováquia.

A Fig. 7 apresenta a dispersão de dados de fator de capacidade (FC) a partir do *box plot* para a cidade de Bratislava, Eslováquia. A Figura 7 demonstra que existe uma maior dispersão de dados nos meses de fevereiro e maio. As menores distribuições de dados se encontram nos meses de abril, novembro e dezembro.

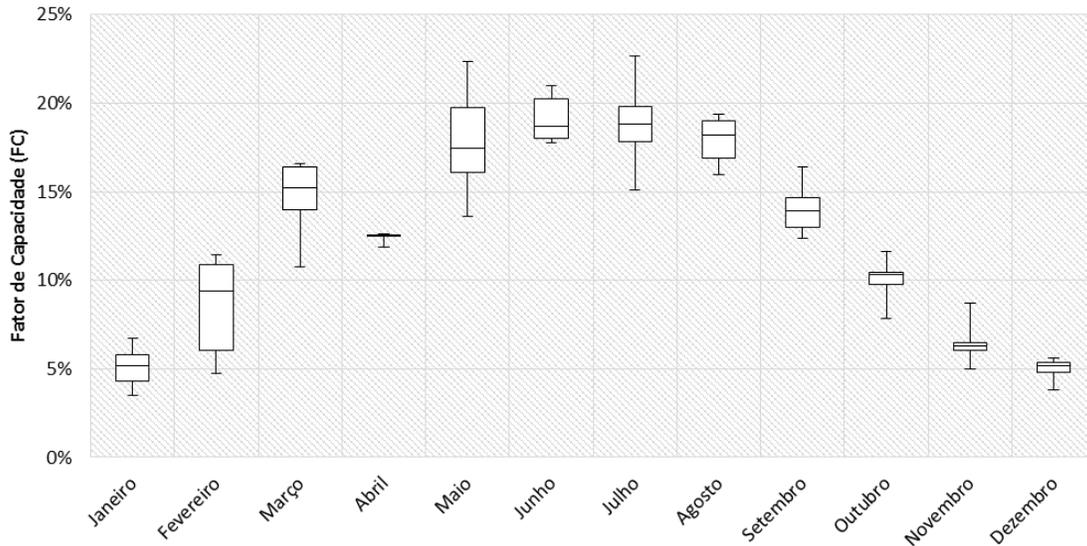


Figura 7 – Box Plot de Fator de Capacidade (FC) para Bratislava, Eslováquia.

A Fig. 8 apresenta a regressão linear entre PR e a temperatura ambiente média mensal para a cidade de Bratislava, Eslováquia, com coeficiente de determinação de 0,9223. A redução do PR com o aumento da temperatura está provavelmente relacionada com a diminuição da produtividade da célula fotovoltaica com o aumento da temperatura.

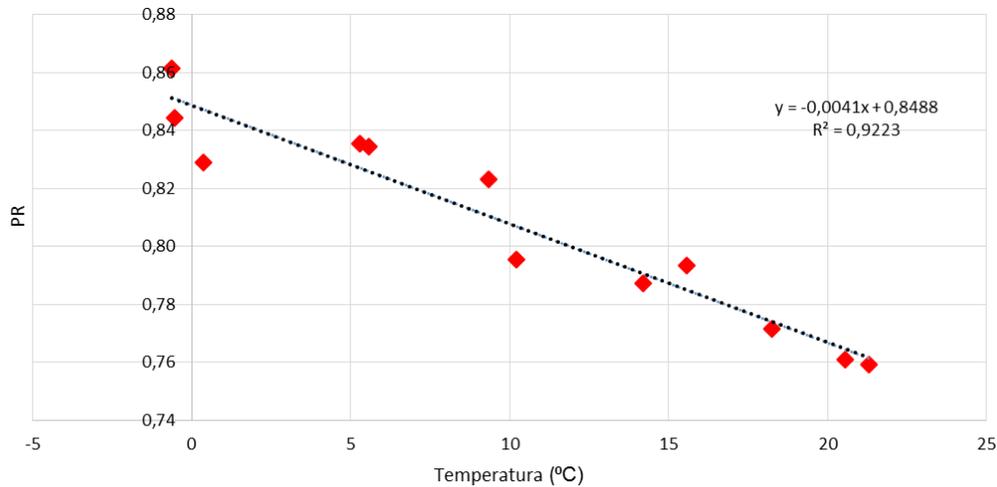


Figura 8 – Dispersão do índice *Performance Ratio* (PR) com a temperatura ambiente média mensal para Bratislava, Eslováquia.

A Fig. 9 apresenta os índices de mérito mensais como produtividade de referência (YR), produtividade do sistema (YF) e as perdas totais de conversão para a cidade de Delft, Holanda. O mês que apresenta o melhor recurso solar e produtividade de sistema é o mês de maio, apresentando 166,7 horas de sol nominal disponível e 133,5 horas de sol nominal convertida pelo sistema. O mês de julho apresenta a maior perda, 21,7% ou 35,3 horas de sol nominal. O mês que apresenta o menor recurso é dezembro com 29,4 horas de sol nominal disponível em média.

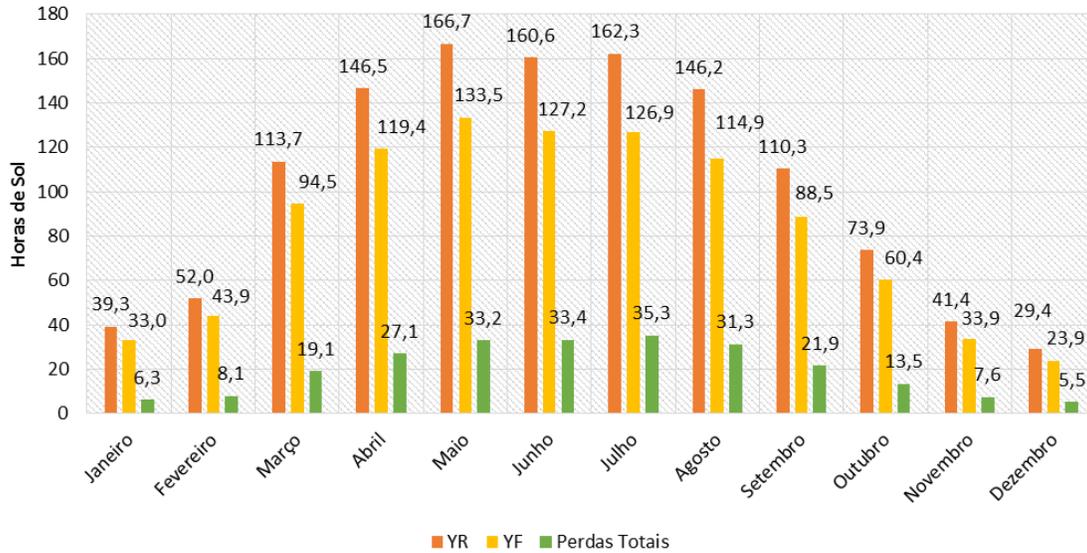


Figura 9 – Produtividade de Referência (YR), Produtividade do Sistema (YF) e Perdas Totais para Delft, Holanda.

A Fig. 10 apresenta a dispersão de dados de produtividade do sistema (YF) a partir do *box plot* para a cidade de Delft, Holanda. A Figura 10 demonstra que existe uma maior dispersão de dados nos meses de fevereiro, abril e maio. As menores distribuições de dados se encontram nos meses de janeiro, novembro e dezembro.

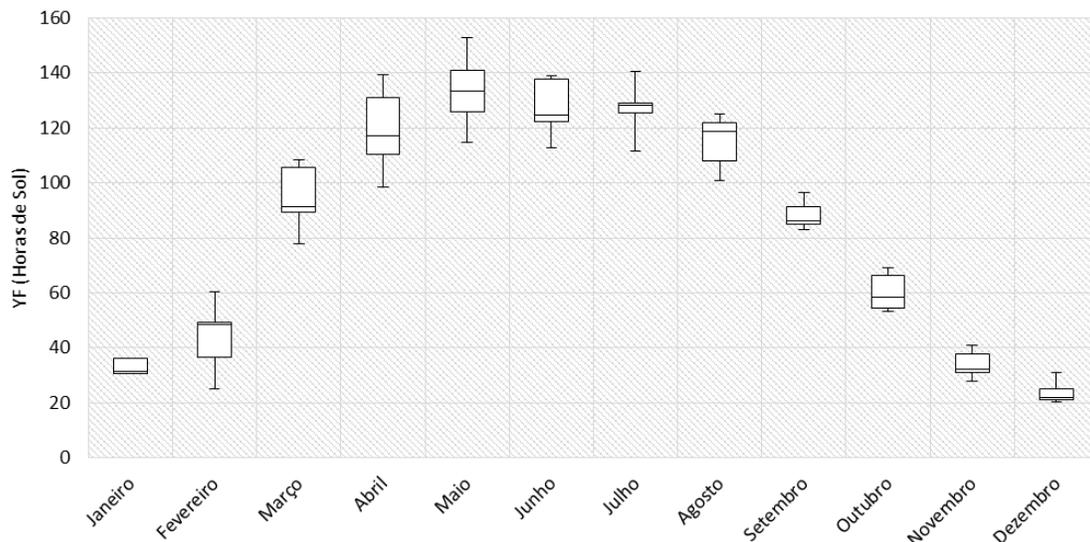


Figura 10 – Box Plot de Produtividade do Sistema para Delft, Holanda.

A Fig. 11 apresenta os índices de mérito como o *performance ratio* (PR), o fator de capacidade (FC) e a eficiência global do sistema para a cidade de Delft, Holanda. O fator de capacidade apresenta o seu valor máximo no mês de maio de 17,9 % e o seu valor mínimo no mês de dezembro de 3,2 %. O menor índice de PR se encontra nos meses de julho, 0,78, e o maior índice ocorreu em janeiro e fevereiro, 0,84. A eficiência se apresentou máxima em fevereiro, 13,1 % e mínima em julho e agosto, 12,2 %.

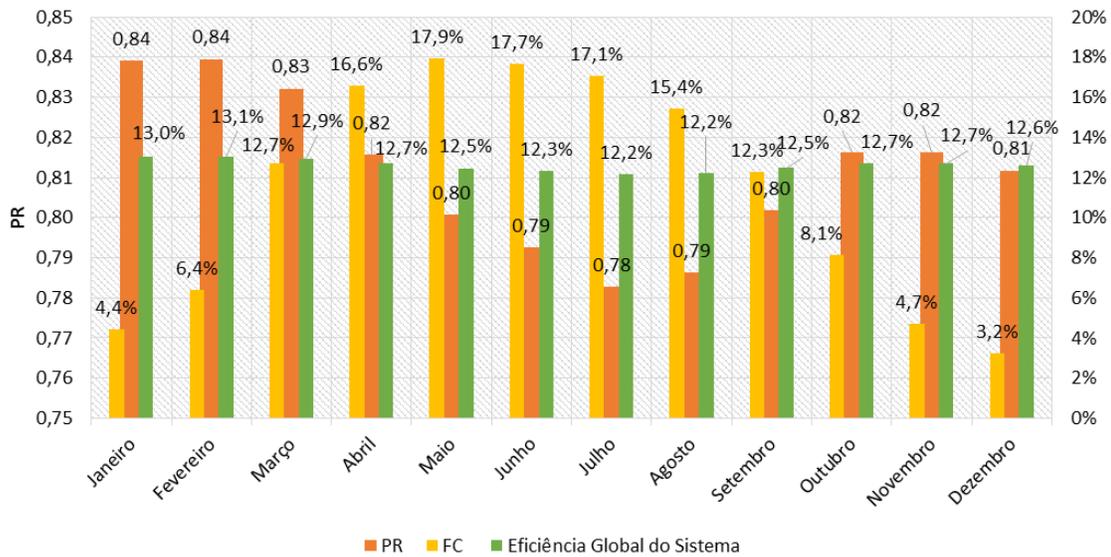


Figura 11 – *Performance Ratio* (PR), Fator de Capacidade (FC) e Eficiência Global para Delft, Holanda.

A Fig. 12 apresenta a dispersão de dados de fator de capacidade (FC) a partir do *box plot* para a cidade de Delft, Holanda. A Figura 12 demonstra que existe uma maior dispersão de dados nos meses de fevereiro e maio. As menores distribuições de dados se encontram nos meses de janeiro, abril e dezembro.

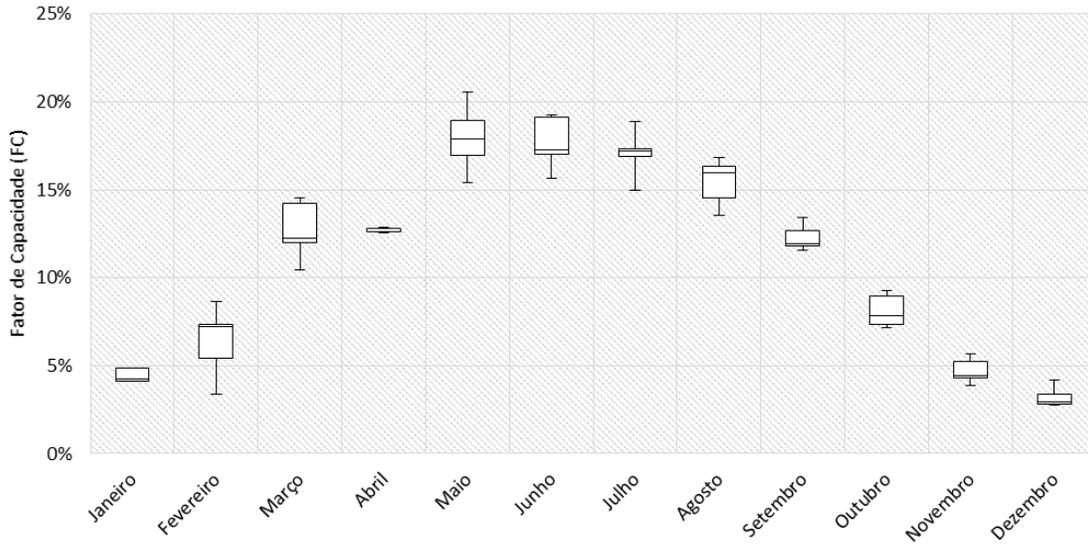


Figura 12 – Box Plot de Fator de Capacidade (FC) para Delft, Holanda.

A Figura 13 apresenta a regressão linear entre PR e a temperatura ambiente média mensal para a cidade de Delft, Holanda, com coeficiente de determinação de 0,8873, ou seja, 88,73% dos dados de PR podem ser explicadas pelo aumento de temperatura ambiente.

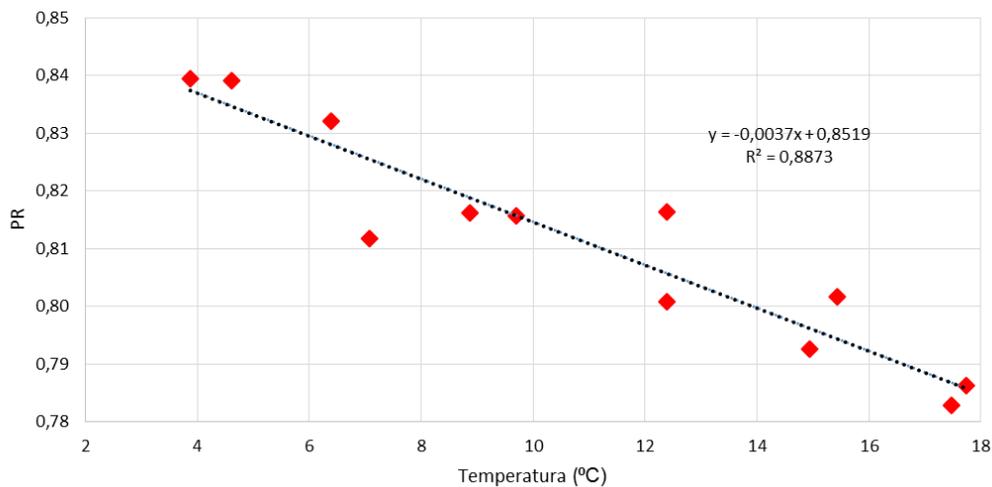


Figura 13 – Dispersão do índice *Performance Ratio* (PR) com a temperatura ambiente média mensal para Delft, Holanda.

A Fig. 14 apresenta os índices de mérito mensais como produtividade de referência (YR), produtividade do sistema (YF) e as perdas totais de conversão para a cidade de Stellenboch, Africa

do Sul. O mês que apresenta o melhor recurso solar e produtividade de sistema é o mês de janeiro e dezembro, apresentando 248,2 e 248,6 horas de sol nominal disponível e 178,9 e 180,1 horas de sol nominal convertida pelo sistema, respectivamente. O mês que apresenta o menor recurso é junho com 100,1 horas de sol nominal disponível em média e 80,2 horas de produtividade do sistema. A maior perda ocorre em janeiro, 27,9% ou 69,3 horas, e a menor perda ocorre em junho, 19,9% ou 19,9 horas.



Figura 14 – Produtividade de Referência (YR), Produtividade do Sistema (YF) e Perdas Totais para Stellenbosch, África do Sul.

A Fig. 15 apresenta a dispersão de dados de produtividade do sistema (YF) a partir do *box plot* para a cidade de Stellenboch, África do Sul. A Figura 15 demonstra que existe uma maior dispersão de dados nos meses de março e maio. As menores distribuições de dados se encontram nos meses de setembro e dezembro.

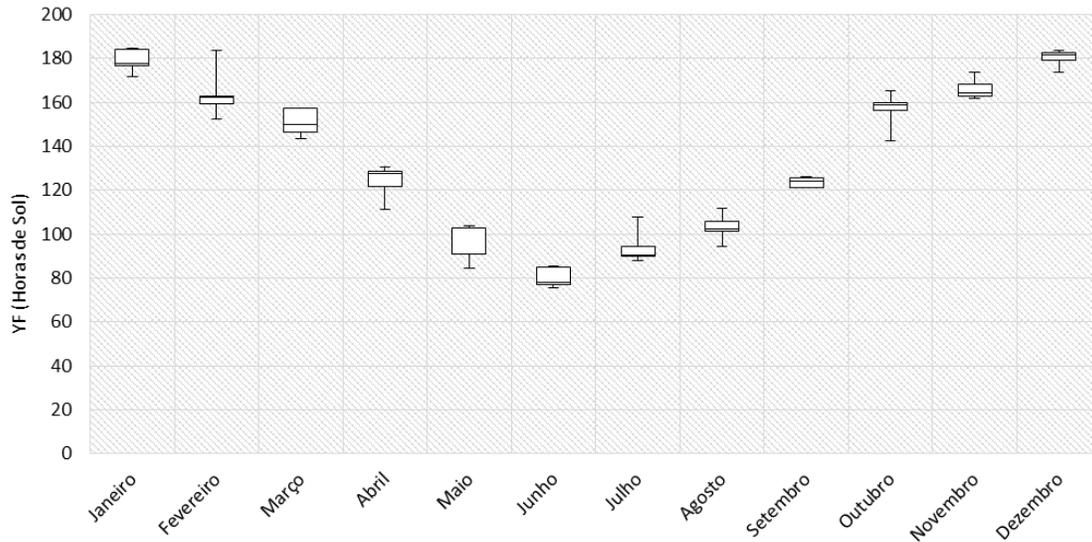


Figura 15 – Box Plot de Produtividade do Sistema para Stellenbosch, África do Sul.

A Fig. 16 apresenta os índices de mérito como o *performance ratio* (PR), o fator de capacidade (FC) e a eficiência global do sistema para a cidade de Stellenbosch, África do Sul. O fator de capacidade apresenta o seu valor máximo no mês de dezembro de 24,2 % e o seu valor mínimo no mês de junho de 11,1 %. O menor índice de PR se encontra nos meses de dezembro a fevereiro, 0,72, e o maior índice ocorreu em junho e julho, 0,80. A eficiência se apresentou máxima em junho e julho, 12,3 % e mínima em dezembro e janeiro, 11,1 %.

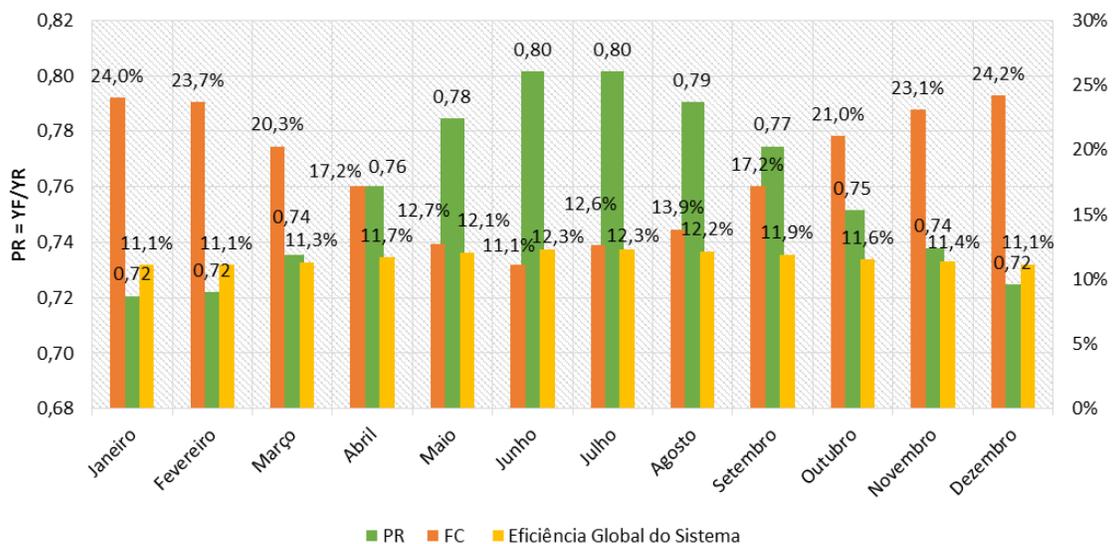


Figura 16 – Performance Ratio (PR), Fator de Capacidade (FC) e Eficiência Global para Delft, Holanda.

A Fig. 17 apresenta a dispersão de dados de fator de capacidade (FC) a partir do *box plot* para a cidade de Stellenbosch, África do Sul. A Figura demonstra que existe uma maior dispersão de dados nos meses de maio. As menores distribuições de dados se encontram nos meses de abril e dezembro.

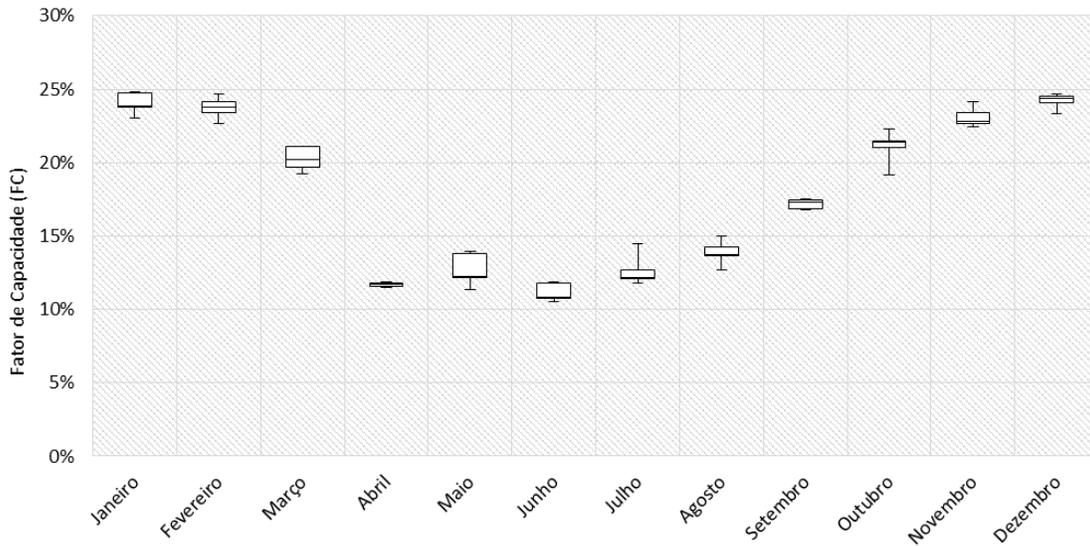


Figura 17– Box Plot de Fator de Capacidade (FC) para Stellenbosch, África do Sul.

A Fig. 18 apresenta a regressão linear entre PR e a temperatura ambiente média mensal para a cidade de Stellenbosch, África do Sul, com coeficiente de determinação de 0,9383. Ou seja, 93,83% dos dados de PR podem ser explicados pelo o aumento da temperatura ambiente.

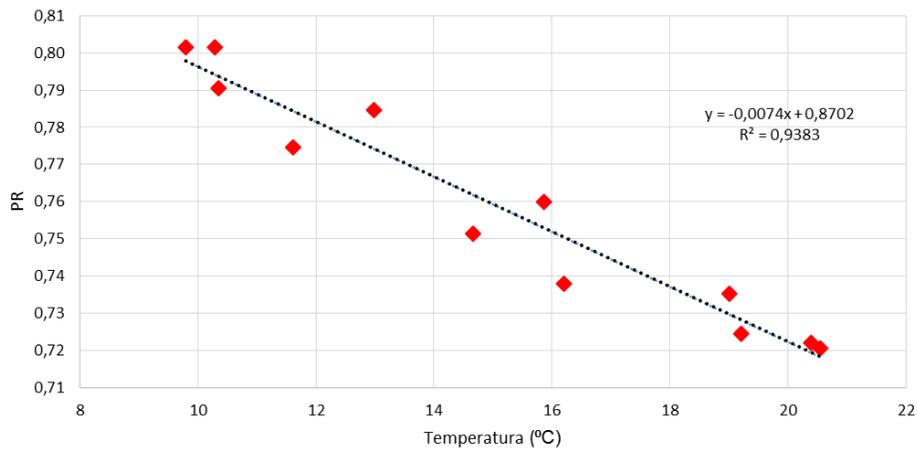


Figura 18 – Dispersão do índice *Performance Ratio* (PR) com a temperatura ambiente média mensal para Stellenbosch, África do Sul.

A Fig. 19 apresenta uma comparação da variação de PR ao longo do ano entre as três cidades, Bratislava, Delft e Stellenbosch. Observa-se que as cidades localizadas no hemisfério norte apresentam uma variação oposta à cidade localizada no hemisfério sul devido a inversão de estações. As cidades Bratislava e Delft apresentam os maiores índices de PR para cada estação do ano. Os índices de Stellenbosch se apresentam inferiores devido a apresentação de temperaturas mais elevadas que as outras cidades. Os maiores índices PR são 0,86 para Bratislava em fevereiro, 0,84 para Delft em janeiro e fevereiro e 0,80 para Stellenbosch em junho e julho, meses de baixas temperaturas para cada cidade.

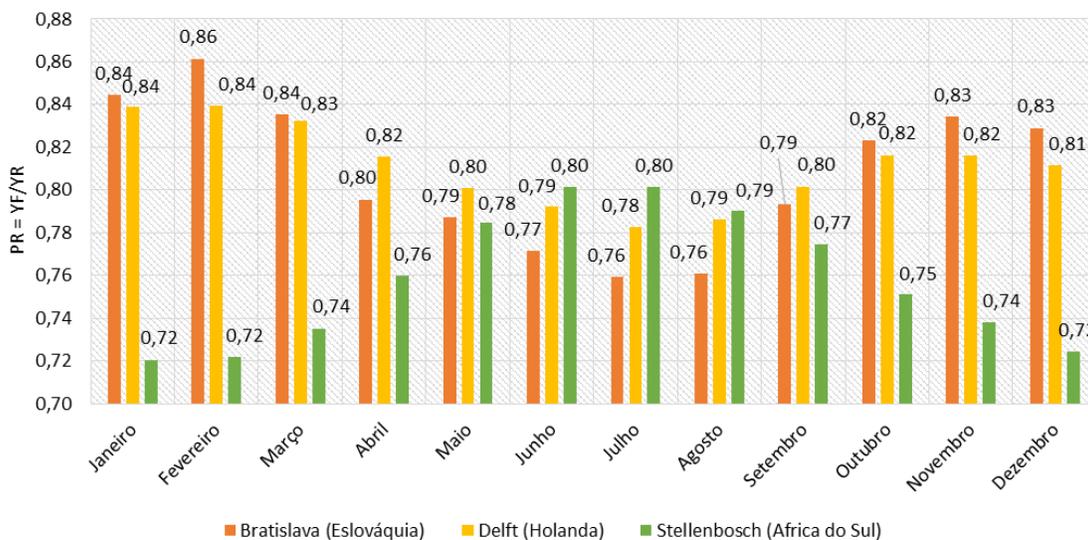


Figura 19 – Comparação do índice *Performance Ratio* (PR) entre Bratislava (Eslováquia), Delft (Holanda) e Stellenbosch (África do Sul).

A Fig. 20 apresenta a comparação do fator de capacidade (FC) para as três cidades em estudo. Stellenbosch apresenta os maiores índices de FC para cada estação, justificados por se encontrar em um recurso solar superior que compensa as perdas devido a temperatura e converte uma maior quantidade de energia. Entre as cidades de Bratislava e Delft, a primeira apresenta índices FC maiores que a segunda em todos os meses, exceto no mês de maio. Os maiores índices de FC são 19,1% para Bratislava em junho, 17,9% para Delft em maio e 24,2% para Stellenbosch em dezembro.

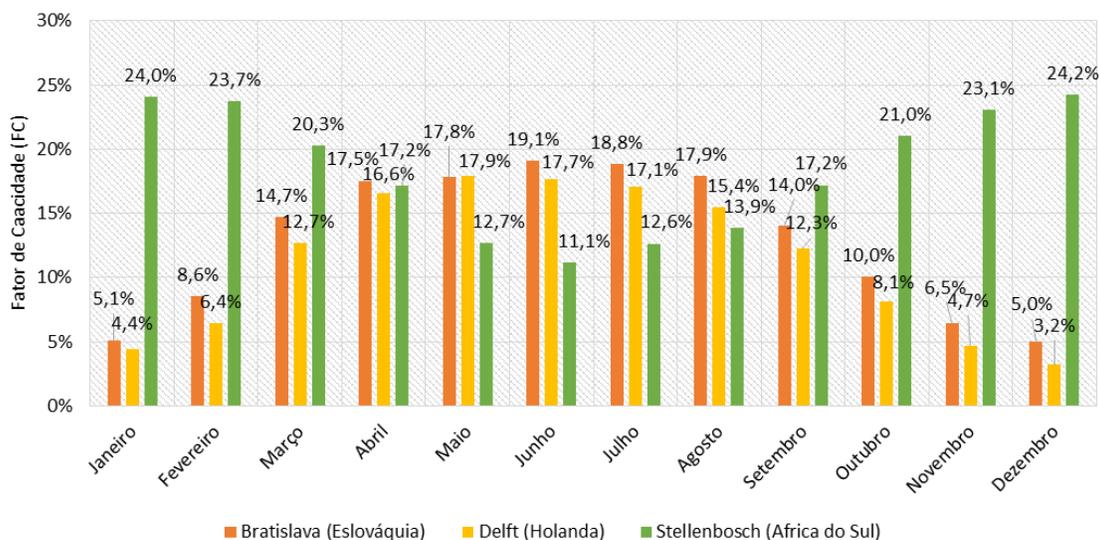


Figura 20 – Comparação do Fator de Capacidade entre Bratislava (Eslováquia), Delft (Holanda) e Stellenbosch (África do Sul).

A Fig. 21 apresenta a comparação da eficiência global do sistema para as três cidades em estudo. Stellenbosch apresenta os menores índices de eficiência comparando para cada estação, ou seja, o aproveitamento do recurso é inferior. Entre as cidades de Bratislava e Delft, a primeira apresenta índices de eficiência maiores que a segunda entre outubro a março.

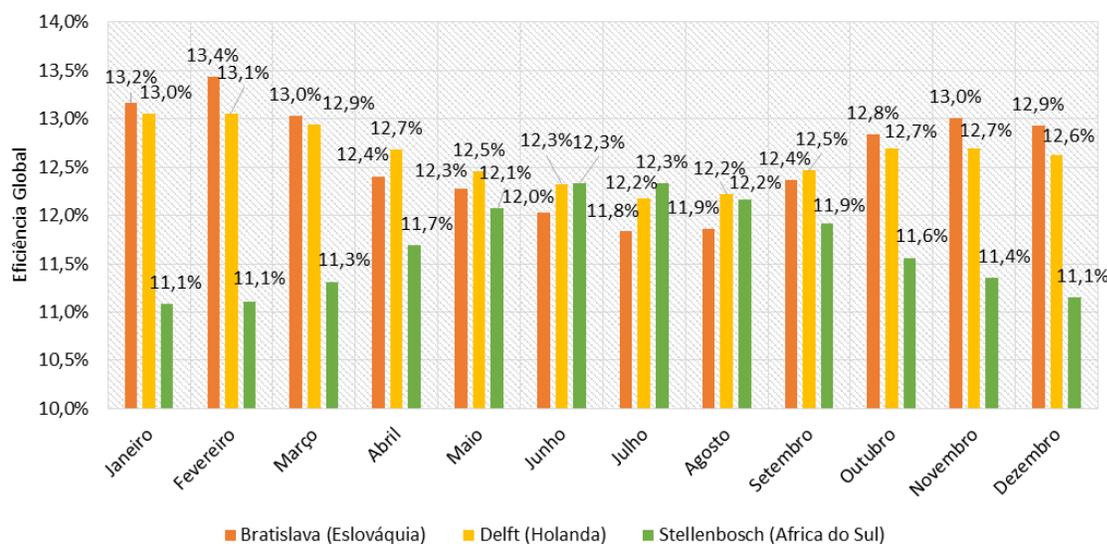


Figura 21 – Comparação da Eficiência Global do Sistema Fotovoltaico entre Bratislava (Eslováquia), Delft (Holanda) e Stellenbosch (África do Sul).

A Fig. 22 apresenta os índices de méritos anuais para cada sistema. A Figura 22a apresenta o fator de capacidade (FC) e a eficiência global do sistema para o período de um ano. Stellenbosch apresenta o maior fator de capacidade anual de 18,4 % e a menor eficiência global anual de 11,7 %. Bratislava apresenta 12,9 % e Delft 11,4 % para o fator de capacidade anual. Ambas as cidades apresentaram uma eficiência global anual de 12,6 %. A Figura 22b apresenta os índices anuais de produtividade de referência (YR), produtividades do sistema (YF) e as perdas totais. Stellenbosch apresentou os maiores índices, 2154 horas de sol nominal para YR, 1616 horas de sol nominal para YF e 538 horas de sol nominal ou 24,9% para perdas. Delft apresentou os menores valores anuais para os três índices de mérito.

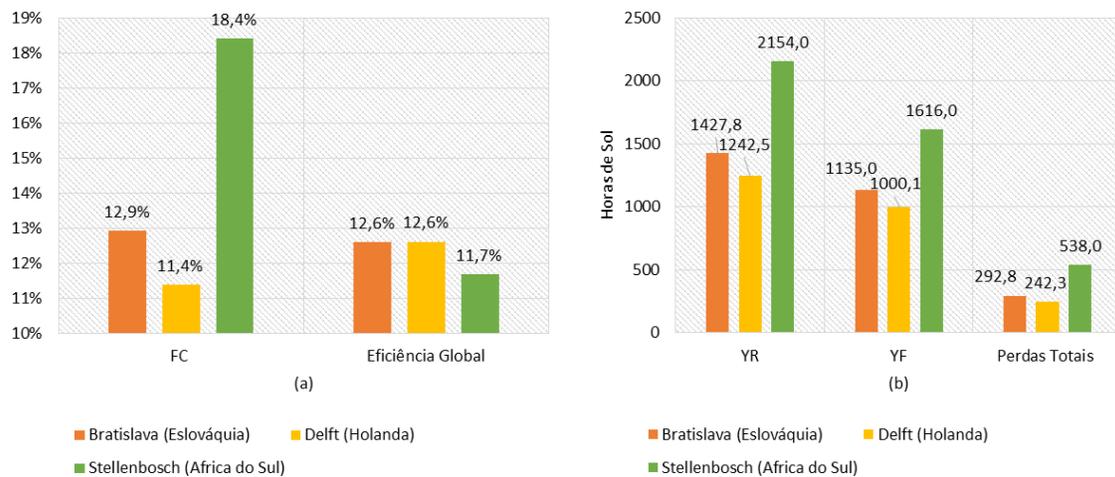


Figura 22 – Comparação dos índices de mérito anuais entre Bratislava (Eslováquia), Delft (Holanda) e Stellenbosch (África do Sul).

A Fig. 23 apresenta a dispersão dos índices mensais a partir dos gráficos *box plot*. A Fig. 23a apresenta a distribuição de índices mensais de produtividade do sistema (YF) para as cidades. A Fig. 23b apresenta a distribuição de índices mensais de fator de capacidade (FC). Bratislava apresentou a maior distribuição e Stellenbosch a menor distribuição de índices mensais tanto para a produtividade do sistema quanto para o fator de capacidade.

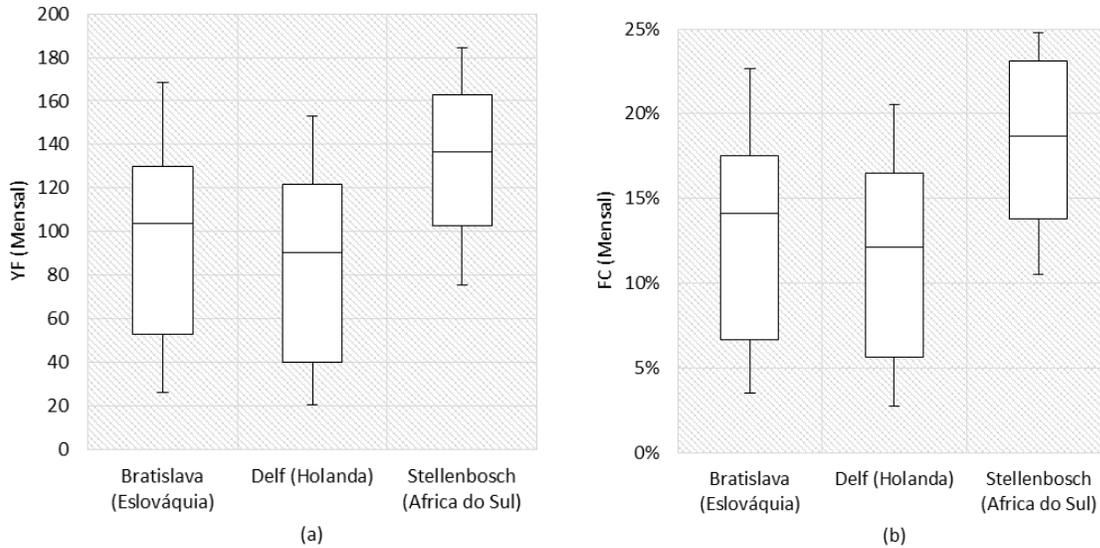


Figura 23 – *Box Plot* de Fator de Capacidade (FC) e Produtividade do Sistema mensais para Bratislava (Eslováquia), Delft (Holanda) e Stellenbosch (África do Sul).

#### 4.2 Índices de mérito a partir dados de Simulação SAM

Nesta secção são apresentados os resultados da determinação dos índices de mérito a partir de dados obtidos pela simulação utilizando o software Systema Advisor Model (SAM). Devido à não existência de dados meteorológicos para os mesmos locais dos sistemas fotovoltaicos localizados nas cidades de Stellenbosch e de Delft e monitorados pelo pvSpot, locais próximos foram escolhidos para representar estas regiões, Amsterdam para representar Delft e Cidade do Cabo para representar Stellenbosch. Para o sistema fotovoltaico localizado em Bratislava foi possível realizar a simulação para esta mesma cidade devido a existência dos dados meteorológico para esta cidade. A cidade de Amsterdam foi escolhida para representar Delft, visto que existe uma distância de 63 km entre cada uma. A Cidade de Cabo foi escolhida para representar Stellenbosch, pois estas se encontram a uma distância de 50 km.

Para a realização da simulação utilizando o software SAM foi necessário definir parâmetros como localização, dados sobre o recurso solar, módulos e inversor utilizados e o dimensionamento do sistema. Os dados dos resultados da simulação utilizados para o cálculo dos índices de mérito foram a energia elétrica mensal produzida, a irradiação disponível no plano do sistema, a área e a potência do sistema simulado.

Os dados obtidos pela simulação estão na base mensal para o sistema fotovoltaico em seu primeiro ano de operação. Desta maneira, não existirá nesta secção a análise de distribuição a partir de gráficos box plot, pois os dados da simulação são únicos para cada mês representativo.

A Tabela 2 apresenta os índices de mérito como produtividade de referência (YR), produtividade do sistema (YF), perdas, todos na unidade horas de sol nominal e também os índices como *performance ratio* (PR), fator de capacidade (FC) e eficiência global para o sistema fotovoltaico simulado em Bratislava, Eslováquia.

Tabela 2 – Índices de mérito para o sistema simulado FV em Bratislava, Eslováquia.

Mês	YR	YF	Perdas	PR	FC	Eficiência Global
Jan	31,3	28,2	3,1	0,90	3,8%	14,7%
Fev	66,7	61,0	5,7	0,91	9,1%	14,9%
Mar	113,6	99,5	14,1	0,88	13,4%	14,3%
Abr	140,3	119,5	20,8	0,85	16,6%	13,9%
Mai	181,9	149,8	32,1	0,82	20,1%	13,5%
Jun	170,8	139,0	31,8	0,81	19,3%	13,3%
Jul	195,5	154,9	40,6	0,79	20,8%	12,9%
Ago	181,0	145,9	35,1	0,81	19,6%	13,2%
Set	119,7	99,5	20,1	0,83	13,8%	13,6%
Out	95,4	83,3	12,1	0,87	11,2%	14,3%
Nov	41,7	37,1	4,6	0,89	5,2%	14,5%
Dez	31,5	28,5	3,0	0,90	3,8%	14,8%

Observa-se na Tab. 2 que os índices como YR, YF, perdas e FC são superiores nos meses de verão, enquanto os índices como PR e eficiência global são superiores no inverno. O índice YR apresenta o seu máximo em julho com 195,5 horas de sol nominal e seu mínimo em janeiro com 31,3 horas de sol nominal. O índice YF apresenta o seu máximo em julho com 154,9 horas de sol e seu mínimo em janeiro com 28,2 horas de sol. O índice de perdas apresenta o seu máximo em julho com 40,6 horas de sol e o seu mínimo em dezembro com 3,0 horas de sol. O índice PR apresenta o seu máximo em janeiro e dezembro com o valor de 0,90 e o seu mínimo em julho com 0,79. O fator de capacidade apresenta o seu máximo em julho, 20,8%, e o seu mínimo em dezembro e janeiro com 3,8%. A eficiência global apresenta o seu máximo em dezembro 14,8% e o seu mínimo em julho 12,9%.

A Tab. 3 apresenta os índices de mérito como produtividade de referência (YR), produtividade do sistema (YF), perdas, todos na unidade horas de sol nominal e também os índices

como *performance ratio* (PR), fator de capacidade (FC) e eficiência global para o sistema fotovoltaico simulado em Amsterdam, Holanda. Devido à proximidade entre as cidades de Amsterdam e Delft, 63 km, os dados podem ser atribuídos para a cidade de Delft para a futura comparação entre índices obtidos do sistema monitorado pelo pvSpot e do sistema simulado pelo SAM.

Observa-se na Tab. 3 que os maiores índices de produtividade de referência, de produtividade do sistema, de perdas e de fator de capacidade estão presentes nos meses de verão e os maiores índices de *performance ratio* e eficiência global estão presentes nos meses de inverno. Os maiores índices de YR, YF, Perdas e FC ocorreram no mês de julho com 160,9, 133,9, 27,0 horas e 18%, respectivamente. Os maiores índices de PR, 0,91, e eficiência global, 14,2%, ocorreram em fevereiro. Os menores índices de YR, YF, Perdas e FC ocorreram no mês de dezembro com 21,9, 18,7, 3,1 horas e 2,5%, respectivamente. O menor índice de PR, 0,83, ocorre em junho e julho. O índice de eficiência global foi mínimo no mês de julho, 12,9%.

Tabela 3 – Índices de mérito para o sistema FV simulado em Amsterdam, Holanda.

Mês	YR	YF	Perdas	PR	FC	Eficiência Global
Jan	31,0	27,5	3,5	0,89	3,7%	13,8%
Fev	55,7	50,8	4,9	0,91	7,6%	14,2%
Mar	99,3	89,1	10,2	0,90	12,0%	14,0%
Abr	115,4	101,9	13,6	0,88	14,2%	13,7%
Mai	158,3	133,9	24,4	0,85	18,0%	13,2%
Jun	151,9	126,7	25,2	0,83	17,6%	13,0%
Jul	160,9	133,9	27,0	0,83	18,0%	12,9%
Ago	138,8	116,5	22,3	0,84	15,7%	13,1%
Set	96,9	82,8	14,1	0,85	11,5%	13,3%
Out	61,7	54,4	7,3	0,88	7,3%	13,7%
Nov	36,3	32,0	4,2	0,88	4,4%	13,7%
Dez	21,9	18,7	3,1	0,86	2,5%	13,3%

A Tab. 4 apresenta os índices de mérito como produtividade de referência (YR), produtividade do sistema (YF), perdas, todos na unidade horas de sol e também os índices como *performance ratio* (PR), fator de capacidade (FC) e eficiência global para o sistema FV em Cidade do Cabo, África do Sul. Devido a proximidade entre as cidades de Stellenbosch e Cidade do - Cabo, 50 km, estes dados podem ser atribuídos para a cidade de Stellenbosch para a futura

comparação entre índices obtidos pelo sistema monitorado pelo pvSpot e pelo sistema simulado pelo SAM.

Observa-se na Tab. 4 a mesma tendência apresentada pelas cidades anteriores, maiores índices YR, YF, perdas e FC presentes nos meses de verão e os maiores índices de PR e eficiência global presentes nos meses de inverno, indiferente do hemisfério que o sistema se encontra. Os maiores índices de YR, YF e FC ocorreram no mês de janeiro com 246,6, 178,8 horas e 24%, respectivamente. O maior índice de perdas ocorreu em dezembro, 73,2 horas. Os maiores índices de PR, 0,81, e eficiência global, 12,4%, ocorreram em junho. Os menores índices de YR, YF, perdas ocorreram em junho, 99,0, 79,9, 19,0 horas, respectivamente. O menor índice de Fator de Capacidade ocorreu em julho, 11,0%. O menor índice de PR, 0,69, e eficiência global, 10,7%, ocorreram em dezembro.

Tabela 4 – Índices de mérito para o sistema FV simulado em Cidade do Cabo, África do Sul.

Mês	YR	YF	Perdas	PR	FC	Eficiência Global
Jan	246,6	178,8	67,8	0,73	24,0%	11,2%
Fev	212,0	149,6	62,4	0,71	22,3%	10,9%
Mar	202,2	151,6	50,6	0,75	20,4%	11,5%
Abr	153,1	116,5	36,7	0,76	16,2%	11,7%
Mai	128,3	99,2	29,1	0,77	13,3%	11,9%
Jun	99,0	79,9	19,0	0,81	11,1%	12,4%
Jul	103,8	81,6	22,2	0,79	11,0%	12,1%
Ago	140,0	112,0	28,0	0,80	15,1%	12,3%
Set	164,4	128,2	36,2	0,78	17,8%	12,0%
Out	204,8	153,5	51,3	0,75	20,6%	11,5%
Nov	228,2	171,8	56,4	0,75	23,9%	11,6%
Dez	238,6	165,4	73,2	0,69	22,2%	10,7%

A Tab. 5 apresenta os índices de mérito como produtividade de referência (YR), produtividade do sistema (YF), perdas, todos na unidade horas de sol nominal e também os índices como *performance ratio* (PR), fator de capacidade (FC) e eficiência global para o sistema FV em Florianópolis, Brasil. A mesma tendência das outras cidades aparece para a cidade brasileira, YR, YF, perdas e FC maiores para os meses de verão e PR e eficiência global maiores para os meses de inverno. Os maiores índices YR, YF, perdas e FC estão presentes no mês de janeiro e são 178,2, 140,1, 38,1 horas de sol e 18,8%, respectivamente. Os maiores índices PR e eficiência global ocorreram no mês de junho. Os menores índices YR, YF, perdas e fator de capacidade ocorreram

no mês de julho, 113,4, 93,5, 19,9 horas e 12,6%, respectivamente. O menor índice de PR, 0,78, ocorre em fevereiro e o menor índice de eficiência global, 12,2%, ocorre nos meses de janeiro e fevereiro.

Tabela 5 – Índices de mérito para o sistema FV simulado em Florianópolis, Brasil.

Mês	YR	YF	Perdas	PR	FC	Eficiência Global
Jan	178,2	140,1	38,1	0,79	18,8%	12,2%
Fev	155,2	121,2	34,0	0,78	18,0%	12,2%
Mar	178,8	141,2	37,6	0,79	19,0%	12,3%
Abr	148,4	119,2	29,2	0,80	16,6%	12,5%
Mai	136,0	111,4	24,6	0,82	15,0%	12,8%
Jun	117,9	97,9	20,0	0,83	13,6%	12,9%
Jul	113,4	93,5	19,9	0,82	12,6%	12,8%
Ago	138,9	114,6	24,4	0,82	15,4%	12,8%
Set	134,7	110,3	24,4	0,82	15,3%	12,8%
Out	157,5	126,7	30,8	0,80	17,0%	12,5%
Nov	163,8	129,8	34,0	0,79	18,0%	12,3%
Dez	170,3	134,1	36,2	0,79	18,0%	12,3%

A Tab. 6 apresenta os índices de méritos anuais para todos os sistemas FV simulados. Para os índices YR, YF e perdas, é apresentado o somatório dos índices mensais. Para os índices PR, FC e eficiência global é apresentado a média dos índices mensais. Cidade do Cabo apresenta os maiores índices de YR, YF, perdas e FC, enquanto Amsterdam apresenta os menores. Bratislava apresenta o maior índice de eficiência global, enquanto Cidade do Cabo o menor. O índice PR superior entre as cidades é apresentado por Amsterdam, o inferior é por Cidade do Cabo.

Tabela 6 – Índices de mérito anuais para os sistemas simulados.

Índice	Bratislava	Amsterdam	Cidade do Cabo	Florianópolis
YR	1369,5	1128,1	2120,9	1793,0
YF	1146,3	968,3	1588,1	1439,8
Perdas	223,2	159,7	532,8	353,2
PR	0,86	0,87	0,76	0,81
FC	13,1%	11,0%	18,2%	16,4%
Eficiência Global	14,0%	13,5%	11,6%	12,5%

### 4.3 Comparação dos índices de mérito obtidos a partir do monitoramento e da simulação

Esta secção realiza a comparação entre os índices obtidos baseados nos dados de monitoramento da plataforma pvSpot em sua versão demo, da SolarGIS, e os índices baseados nos dados de simulação utilizando o software SAM, desenvolvido pela NREL com parceria de Sandia National Laboratories. As tabelas desta secção demonstram os índices mensais e as variações percentuais dos índices provenientes de dados experimentais dos sistemas monitorados pelo pvSpot. Para estas comparações, os índices de mérito de simulação em Amsterdam são considerados índices de mérito de simulação em Delft pela proximidade dos dois locais, o mesmo para os índices de mérito da Cidade de Cabo que são considerados índices de mérito de simulação em Stellenbosch devido à proximidade dos locais.

A comparação é realizada entre índices de diferentes fontes de dados, o monitoramento e a simulação. Os monitoramentos dos três sistemas possuem seus dados meteorológicos provenientes da plataforma Solargis, que de acordo com esta plataforma, estes dados são representativos para os períodos de monitoramento. As simulações utilizam outra fonte de dados meteorológicos para executar a simulação, banco de dados de períodos anteriores aos dados de monitoramento, para as cidade de Bratislava e Amsterdam a fonte de dados é o *International Weather for Energy Calculations (IWECC)*, para as cidades de Cidade do Cabo e Florianópolis a fonte de dados é o *SWERA*. (ENERGY PLUS, 2016 e SYSTEM ADVISOR MODEL, 2016). Esta diferença entre as fontes de dados meteorológicos é, provavelmente, o principal fator que justifica as diferenças encontradas entre os índices.

A Tab. 7 apresenta a comparação entre os índices de produtividade de referência (YR) obtidos a partir da medição e a simulação para as três cidades, Bratislava, Delft e Stellenbosch. Para Bratislava, a maior variação ocorreu nos meses de inverno, nesses meses o valor obtido de YR a partir da simulação foram 25,4%, 29,4% e 30,2%, menor que o valor obtido a partir da medição, respectivamente. Para Delft, as maiores variações ocorreram nos meses de dezembro e janeiro, nesses meses o índice YR a partir dos dados simulados foram 25,8% e 21,3% menores que os índices a partir de dados experimentais. Para Stellenbosch, as variações não foram representativas, apenas a variação que ocorreu no mês de julho, o índice YR para os dados de simulação é 11,5% menor que o YR para os dados de medição.

Tabela 7 – Comparação dos índices de produtividade de referência (YR) obtidos a partir de dados experimentais (EXP) e de simulação (SIM).

Cidade	Bratislava			Delft			Stellenbosch		
	EXP	SIM	Δ %	EXP	SIM	Δ %	EXP	SIM	Δ %
Jan	44,9	31,3	-30,2%	39,3	31,0	-21,3%	248,2	246,6	-0,7%
Fev	67,6	66,7	-1,4%	52,0	55,7	7,0%	227,3	212,0	-6,8%
Mar	130,9	113,6	-13,2%	113,7	99,3	-12,7%	205,1	202,2	-1,4%
Abr	158,6	140,3	-11,5%	146,5	115,4	-21,2%	162,9	153,1	-6,0%
Mai	168,7	181,9	7,8%	166,7	158,3	-5,1%	120,5	128,3	6,5%
Jun	178,4	170,8	-4,2%	160,6	151,9	-5,4%	100,1	99,0	-1,1%
Jul	184,7	195,5	5,9%	162,3	160,9	-0,8%	117,2	103,8	-11,5%
Ago	175,3	181,0	3,3%	146,2	138,8	-5,1%	130,4	140,0	7,3%
Set	127,4	119,7	-6,1%	110,3	96,9	-12,1%	159,7	164,4	2,9%
Out	90,7	95,4	5,2%	73,9	61,7	-16,5%	208,5	204,8	-1,8%
Nov	55,9	41,7	-25,4%	41,4	36,3	-12,5%	225,2	228,2	1,3%
Dez	44,6	31,5	-29,4%	29,4	21,9	-25,8%	248,6	238,6	-4,0%

A Tab. 8 apresenta a comparação entre os índices de produtividade do sistema (YF) obtidos a partir da medição e da simulação para as cidades de Bratislava, Delft e Stellenbosch. Para Bratislava, a maior variação ocorreu nos meses de novembro, dezembro e janeiro, nesses meses o valor obtido de YF a partir da simulação foram 20,4%, 23,0% e 25,6% menor que o valor obtido a partir da medição, respectivamente. Para Delft, as maiores variações ocorreram nos meses de dezembro e janeiro, nesses meses o índice YF a partir dos dados simulados foram 21,7% e 16,8% menores que os índices a partir de dados experimentais. Para Stellenbosch, as variações representativas ocorreram nos meses de fevereiro, julho e dezembro, os índices YF para os dados de simulação são 8,8%, 13,2% e 8,2% menores que o YF para os dados de medição. No mês de Agosto, o índice YF a partir da simulação foi 8,6% maior que o índice a partir de dados experimentais.

Tabela 8 – Comparação dos índices de produtividade do sistema (YF) obtidos a partir de dados experimentais (EXP) e de simulação (SIM).

Cidade	Bratislava			Delft			Stellenbosch		
	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %
Jan	38,0	28,2	-25,6%	33,0	27,5	-16,8%	178,9	178,8	-0,1%
Fev	58,6	61,0	4,1%	43,9	50,8	15,6%	164,1	149,6	-8,8%
Mar	109,2	99,5	-8,9%	94,5	89,1	-5,8%	150,8	151,6	0,5%
Abr	126,2	119,5	-5,3%	119,4	101,9	-14,7%	123,8	116,5	-5,9%
Mai	132,7	149,8	12,9%	133,5	133,9	0,3%	94,5	99,2	5,0%
Jun	137,6	139,0	1,1%	127,2	126,7	-0,4%	80,2	79,9	-0,4%
Jul	140,1	154,9	10,6%	126,9	133,9	5,5%	94,0	81,6	-13,2%
Ago	133,3	145,9	9,5%	114,9	116,5	1,4%	103,1	112,0	8,6%
Set	100,9	99,5	-1,4%	88,5	82,8	-6,3%	123,7	128,2	3,6%
Out	74,7	83,3	11,5%	60,4	54,4	-9,9%	156,6	153,5	-2,0%
Nov	46,7	37,1	-20,4%	33,9	32,0	-5,4%	166,2	171,8	3,4%
Dez	37,0	28,5	-23,0%	23,9	18,7	-21,7%	180,1	165,4	-8,2%

A Tab. 9 apresenta a comparação entre os índices *performance ratio* (PR) obtidos a partir da medição e da simulação para as cidades de Bratislava, Delft e Stellenbosch. Para Bratislava, todos os índices PR a partir da simulação foram superiores que os índices obtidos a partir dos dados experimentais do sistema monitorado, a maior variação ocorreu no mês de dezembro, nesse mês o valor obtido de PR a partir da simulação foi 9,1 % maior que o valor obtido a partir do monitoramento. Para Delft, todos os índices PR a partir da simulação foram superiores que os índices obtidos a partir dos dados experimentais do sistema monitorado, a maior variação ocorreu no mês de fevereiro, nesse mês o valor obtido de PR a partir da simulação foi 8,7 % maior que o valor obtido a partir da medição. Para Stellenbosch, as variações não foram representativas, a maior variação ocorreu no mês de dezembro, o índice PR para o dado de simulação é 4,3 % menor que o índice para o dado de monitoramento.

Tabela 9 – Comparação dos índices de *performance ratio* (PR) obtidos a partir de dados experimentais (EXP) e de simulação (SIM).

Cidade	Bratislava			Delft			Stellenbosch		
	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %
Jan	0,84	0,90	6,7%	0,84	0,89	5,8%	0,72	0,73	0,6%
Fev	0,86	0,91	6,2%	0,84	0,91	8,7%	0,72	0,71	-2,3%
Mar	0,84	0,88	4,8%	0,83	0,90	7,8%	0,74	0,75	2,0%
Abr	0,80	0,85	7,0%	0,82	0,88	8,2%	0,76	0,76	0,1%
Mai	0,79	0,82	4,6%	0,80	0,85	5,6%	0,78	0,77	-1,5%
Jun	0,77	0,81	5,5%	0,79	0,83	5,2%	0,80	0,81	0,8%
Jul	0,76	0,79	4,3%	0,78	0,83	6,3%	0,80	0,79	-1,9%
Ago	0,76	0,81	6,0%	0,79	0,84	6,8%	0,79	0,80	1,2%
Set	0,79	0,83	4,9%	0,80	0,85	6,6%	0,77	0,78	0,7%
Out	0,82	0,87	6,0%	0,82	0,88	8,0%	0,75	0,75	-0,3%
Nov	0,83	0,89	6,7%	0,82	0,88	8,2%	0,74	0,75	2,0%
Dez	0,83	0,90	9,1%	0,81	0,86	5,7%	0,72	0,69	-4,3%

A Tab. 10 apresenta a comparação do índice de fator de capacidade (FC) obtidos entre a medição e a simulação para as cidades de Bratislava, Delft e Stellenbosch. Para Bratislava, a maior variação ocorreu nos meses de novembro, dezembro e janeiro, nesses meses o fator de capacidade a partir da simulação foram 20,4%, 23,0% e 25,6% menor que o valor obtido a partir da medição, respectivamente. Para Delft, as maiores variações ocorreram nos meses de dezembro e fevereiro. No mês de dezembro o FC a partir dos dados experimentais foi 21,7% maior que o FC a partir de dados simulados, no mês de fevereiro o FC a partir dos dados simulados foi 18% maior que o FC a partir de dados experimentais. Para Stellenbosch, as variações foram menos representativas, as maiores variações ocorreram nos meses de julho e agosto. No mês de julho o FC a partir dos dados simulados foi 13,2% menor que o FC a partir de dados experimentais, no mês de agosto o FC a partir dos dados simulados foi 8,6% maior que o FC a partir de dados experimentais.

Tabela 10 – Comparação dos índices de fator de capacidade (FC) obtidos a partir de dados experimentais (EXP) e de simulação (SIM).

Cidade	Bratislava			Delft			Stellenbosch		
	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %
Jan	5,1%	3,8%	-25,6%	4,4%	3,7%	-16,8%	24,0%	24,0%	-0,1%
Fev	8,6%	9,1%	6,1%	6,4%	7,6%	18,0%	23,7%	22,3%	-6,1%
Mar	14,7%	13,4%	-8,9%	12,7%	12,0%	-5,8%	20,3%	20,4%	0,5%
Abr	17,5%	16,6%	-5,3%	16,6%	14,2%	-14,7%	17,2%	16,2%	-5,9%
Mai	17,8%	20,1%	12,9%	17,9%	18,0%	0,3%	12,7%	13,3%	5,0%
Jun	19,1%	19,3%	1,1%	17,7%	17,6%	-0,4%	11,1%	11,1%	-0,4%
Jul	18,8%	20,8%	10,6%	17,1%	18,0%	5,5%	12,6%	11,0%	-13,2%
Ago	17,9%	19,6%	9,5%	15,4%	15,7%	1,4%	13,9%	15,1%	8,6%
Set	14,0%	13,8%	-1,4%	12,3%	11,5%	-6,3%	17,2%	17,8%	3,6%
Out	10,0%	11,2%	11,5%	8,1%	7,3%	-9,9%	21,0%	20,6%	-2,0%
Nov	6,5%	5,2%	-20,4%	4,7%	4,4%	-5,4%	23,1%	23,9%	3,4%
Dez	5,0%	3,8%	-23,0%	3,2%	2,5%	-21,7%	24,2%	22,2%	-8,2%

A Tab. 11 apresenta a comparação do índice de eficiência global do sistema FV obtidos entre a medição e a simulação para as cidades de Bratislava, Delft e Stellenbosch. Para Bratislava e Delft os índices obtidos a partir da simulação foram todos superiores que os índices obtidos a partir da medição e monitoramento. Para Bratislava, a maior variação ocorreu no mês de dezembro, neste mês o índice de eficiência global calculado a partir dos dados de simulação foi 14,8% maior que o índice de eficiência obtido a partir da medição. Para Delft, a maior variação ocorreu no mês de fevereiro, nesse mês o índice de eficiência global calculado a partir dos dados de simulação foi 8,7% maior que o índice de eficiência obtido a partir da medição. Para Stellenbosch, as variações foram menos representativas, a maior variação ocorreu no mês de dezembro, nesse mês o índice de eficiência global calculado a partir dos dados de simulação foi 4,3% menor que o índice de eficiência obtido a partir de monitoramento.

Tabela 11 – Comparação dos índices de eficiência global do sistema FV obtidos a partir de dados experimentais (EXP) e de simulação (SIM).

Cidade	Bratislava			Delft			Stellenbosch		
	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %	EXP	SIM	$\Delta$ %
Jan	13,2%	14,7%	11,8%	13,0%	13,8%	5,8%	11,1%	11,2%	0,6%
Fev	13,4%	14,9%	11,3%	13,1%	14,2%	8,7%	11,1%	10,9%	-2,3%
Mar	13,0%	14,3%	9,8%	12,9%	14,0%	7,8%	11,3%	11,5%	2,0%
Abr	12,4%	13,9%	12,2%	12,7%	13,7%	8,2%	11,7%	11,7%	0,1%
Mai	12,3%	13,5%	9,6%	12,5%	13,2%	5,6%	12,1%	11,9%	-1,5%
Jun	12,0%	13,3%	10,5%	12,3%	13,0%	5,2%	12,3%	12,4%	0,8%
Jul	11,8%	12,9%	9,3%	12,2%	12,9%	6,3%	12,3%	12,1%	-1,9%
Ago	11,9%	13,2%	11,0%	12,2%	13,1%	6,8%	12,2%	12,3%	1,2%
Set	12,4%	13,6%	9,9%	12,5%	13,3%	6,6%	11,9%	12,0%	0,7%
Out	12,8%	14,3%	11,1%	12,7%	13,7%	8,0%	11,6%	11,5%	-0,3%
Nov	13,0%	14,5%	11,8%	12,7%	13,7%	8,2%	11,4%	11,6%	2,0%
Dez	12,9%	14,8%	14,3%	12,6%	13,3%	5,7%	11,1%	10,7%	-4,3%

Observou-se para alguns meses diferenças significativas entre os índices de mérito obtidos a partir dos dados de monitoramento e a partir dos dados de simulação, as prováveis causas das diferenças significativas são as diferentes fontes de dados meteorológicos e os dados meteorológico representar diferentes períodos, os dados meteorológicos do monitoramento representam o recurso presente durante os anos em que o monitoramento ocorreu, enquanto a simulação utiliza dados sobre o recurso da região de períodos diferentes que aquele de monitoramento, como no caso de Bratislava e Amsterdam, representando Delft, que possui a sua fonte de dados meteorológicos IWEC, dados obtidos entre os anos de 1982 e 1999. Enquanto Stellenbosch possui a sua fonte de dados meteorológico o programa SWERA. Para as cidades com fonte de dados IWEC para a simulação apresentaram uma tendência de apresentar grandes diferença para os índices de mérito nos meses de inverno em comparação com os índices a partir de monitoramento.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os índices de mérito de sistemas fotovoltaicos para sistemas localizados em seis regiões distintas, Bratislava na Eslováquia, Amsterdam e Delft na Holanda, Cidade do Cabo e Stellenbosch na África do Sul e Florianópolis no Brasil. Estes índices possuem o principal objetivo de monitorar e de avaliar sistemas fotovoltaicos independentemente de sua potência instalada. Apresentou-se a metodologia aplicada para a obtenção dos índices de mérito, aplicando-a nos dados fornecidos pela versão demo da plataforma de monitoramento pvSpot da empresa SolarGIS e nos dados obtidos a partir dos resultados de simulações realizadas pelo software System Advisor Model (SAM). Os índices obtidos caracterizaram os desempenhos dos sistemas fotovoltaicos e o recurso disponíveis nos locais que estão instalados. Existe diferenças, e significativas para alguns meses, entre os índices de mérito obtidos a partir dos dados de monitoramento e a partir dos dados de simulação.

Os índices mensais médios, para os dados experimentais (EXP) e para os dados de simulação (SIM) são: para Bratislava YR EXP 119,0 horas de sol e YR SIM 114,1 horas de sol, YF EXP 94,6 horas de sol e YF SIM 95,5 horas de sol, FC EXP 12,9% e FC SIM 13,1%, PR EXP 0,81 e PR SIM 0,86, Eficiência Global do Sistema EXP 12,6% e Eficiência Global do Sistema SIM 14,0%, Perdas EXP 24,4 horas de sol e Perdas SIM 18,6 horas de sol; para Delft YR EXP 103,5 horas de sol e YR SIM 94,0 horas de sol, YF EXP 83,3 horas de sol e YF SIM 80,3 horas de sol, FC EXP 11,4% e FC SIM 11,0%, PR EXP 0,81 e PR SIM 0,87, Eficiência Global do Sistema EXP 12,6% e Eficiência Global do Sistema SIM 13,5%, Perdas EXP 20,2 horas de sol e Perdas SIM 13,3 horas de sol; para Stellenboch YR EXP 179,5 horas de sol e YR SIM 176,7 horas de sol, YF EXP 134,7 horas de sol e YF SIM 132,3 horas de sol, FC EXP 18,4% e FC SIM 18,2%, PR EXP 0,76 e PR SIM 0,76, Eficiência Global do Sistema EXP 11,7% e Eficiência Global do Sistema SIM 11,6%, Perdas EXP 44,8 horas de sol e Perdas SIM 44,4 horas de sol; e para Florianópolis YR SIM 149,4 horas de sol, YF SIM 120,0 horas de sol, FC SIM 16,4%, PR SIM 0,81, Eficiência Global do Sistema SIM 12,5% e Perdas SIM 29,4 horas de sol;

Comparando os índices obtidos pelos dados de monitoramento e pelos dados de simulações, constatou-se algumas diferenças significativas. Para o índice YR e YF a maioria dos índices mensais a partir de simulações são menores que os índices a partir de monitoramentos. Para o índice PR os índices mensais a partir de simulação foram maiores que os índices a partir de

monitoramento para as cidades de Bratislava e Delft, o mesmo não pode ser inferido para Stellembosch.

Para as cidades de Bratislava e Delft os índices como o fator de capacidade e a eficiência global dos sistemas apresentam variações semelhantes, os fatores de capacidades calculados a partir dos dados de monitoramento se apresentam maiores nos meses de inverno e menores para os meses de verão que os índices a partir de simulações. Os índices de eficiência global do sistema calculado pela simulação se apresentaram maiores para todos os meses que os índices calculados pelos dados de monitoramento para ambas as cidades. Para a cidade de Stellenbosch, os índices de fator de capacidade e eficiência global dos sistemas a partir dos dados de monitoramento apresentam variações tanto positivas quanto negativas durante o ano em relação aos índices a partir de simulações, assim não consegue inferir alguma tendência de variação a partir das comparações entre os índices de monitoramento e simulação para esta cidade.

Os prováveis fatores que contribuem para as diferenças entre os índices de mérito a partir dos dados de monitoramento e a partir dos dados de simulação são que cada um apresenta fonte diferente de dados meteorológicos e cada fonte de dados meteorológicos é representativo de um período diferente de anos. Os dados de monitoramento possuem como fonte de dados meteorológicos os dados de satélite da plataforma Solargis, enquanto os dados de simulação possuem como fonte de dados meteorológicos IWEC para as cidades europeias e SWERA para as demais.

Além dos índices de méritos, para os sistemas monitorados constatou-se uma provável relação entre a temperatura ambiente média mensal com o índice *performance ratio* a partir dos dados de monitoramento, menor a temperatura maior o índice PR. Para o sistema FV localizado em Bratislava o coeficiente de determinação foi de 0,9223. Para o sistema FV localizado em Delft o coeficiente de determinação foi de 0,8873. E para o sistema FV localizado em Stellenbosch o coeficiente de determinação foi de 0,9383. Os coeficientes de determinação representativos demonstram a forte influência da temperatura na produtividade do sistema FV, contudo, o sistema também pode apresentar perdas devido a outros fatores como a sujeira, neve e sombreamento.

## REFERÊNCIAS

BENEDITO, Ricardo da Silva. **Caracterização Da Geração Distribuída De Eletricidade Por Meio De Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede, No Brasil, Sob Os Aspectos Técnicos, Econômico E Regulatório.** 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ENERGY PLUS. **Weather Data Sources.** Disponível em: <<https://energyplus.net/weather/sources#SWERA>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

FUSANO, Renato Hideo. **Análise Dos Índices De Mérito Do Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede Do Escritório Verde Da Utfpr.** 2013. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

IEA-PVPS. **Analysis Of Photovoltaic Systems.** St. Ursen: Report Iea-pvps T2-01: 2000, 2000. 233 p.

IEA-PVPS. **Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems.** St. Ursen: Report Iea-pvps T13-03:2014, 2014. 90 p.

KORMANN, Lizbeth et al. Desenvolvimento de mapas de avaliação do desempenho de sistemas fotovoltaicos em diferentes ângulos de inclinação e de azimute. **Avances En Energias Renovables y Medio Ambiente**, Argentina, v. 18, n. 04, p.1-8, abr. 2014. Semanal.

MACEDÔ, Wilson Negrão. **Análise Do Fator De Dimensionamento Do Inversor Aplicando A Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede.** 2006. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MEMARI, A. M. *et. al.* Building Integrated Photovoltaic Systems for Single Family Dwellings: Innovation Concepts. **Open Journal of Civil Engineering**, v. 4, p. 102-119, 2014

NREL (Estados Unidos). National Renewable Energy Laboratory. **Research.** Disponível em: <<http://www.nrel.gov/>>. Acesso em: 01 maio 2016.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB , 2014. 530 p.

SAM (Estados Unidos). System Advisor Model. **Welcome to SAM.** Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/>>. Acesso em: 01 maio 2016.

STANDARDS COMMITTEE. **IEC 61724: 1998:** Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis. London: British Standard, 1998. 20 p.

SOLARGIS (Eslováquia). **About SolarGIS**. Disponível em: <<http://solargis.info/>>. Acesso em: 01 maio 2016.

SYSTEM ADVISOR MODEL. **Weater Data**. Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/weather>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Estudo De Características Elétricas E Térmicas De Inversores Para Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede**. 2010. 285 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ZOMER, Clarissa Debiazi. **Método De Estimativa Da Influência Do Sombreamento Parcial Na Geração Energética De Sistemas Solares Fotovoltaicos Integrados Em Edificações**. 2014. 258 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

## ABSTRACT

Determining the performance of photovoltaic systems enables the study, the experimentation and the monitoring of these, it helps the development of technology and the operation assigning maturity and reliability to the application of the system as a source of electricity. This work presents the methodology of the determination of the photovoltaic system performance parameters as the reference yield, the final yield, the losses, the performance ratio, the capacity factor and the overall system efficiency. It also presents the results of the determination of parameters of seven photovoltaic systems localized in different cities: Bratislava in Slovakia, Delft and Amsterdam in the Netherlands, Stellenbosch and Cape Town in South Africa and Florianopolis in Brazil. These parameters were determined using two data sources, the demo version of pvSpot monitoring platform of SOLARGIS and simulations System Advisor Model (SAM) software of NREL. At the end of the paper, it presents comparisons of the results and notes the significant differences in some cases between the parameters from the monitoring data and these from the simulation data. These parameters were determined using two sources of data, monitoring platform pvSpot demo version of SOLARGIS to four cities and simulations System Advisor Model software (SAM) NREL to four cities, and the city of Bratislava with rates of both sources. The objective was to present, compare and find the differences in nearby cities parameters, or the same city in the case of Bratislava, which have distinct data sources. At the end of the work, it realizes significant differences between performance parameters obtained from pvSpot monitoring data and performance parameters from SAM simulation data.

Keywords: Solar energy, photovoltaic systems, performance parameters.