

FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA MENSURAÇÃO DA COMPETITIVIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Carmen Brum Rosa – carmenbrosa@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Processamento de Energia Elétrica

Graciele Rediske – gra_rediske@hotmail.com

Paula Donaduzzi Rigo – pauladonaduzzi@gmail.com

Julio Cezar Mairesse Siluk – jsiluk@ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas

Leandro Michels – michels@gepoc.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Processamento de Energia Elétrica

7. Mercado, Economia, Política, Aspectos Sociais

Resumo. *Energia Solar Fotovoltaica é, dentre as diversas fontes, aquela que nos últimos anos vem apresentando maiores índices de crescimento de geração. Porém, para obter sucesso com a produção dessa energia, é necessário manter-se competitivo no mercado. Sendo assim, avaliar o desempenho solar energético de sistemas fotovoltaicos instalados justifica-se pela necessidade de os gestores disporem de ferramentas que lhes retornem o nível de competitividade de suas organizações. Diante desse cenário, o presente artigo tem por objetivo desenvolver uma ferramenta computacional capaz de mensurar o nível de competitividade de unidades geradoras de energia fotovoltaica. A ferramenta foi desenvolvida utilizando Key Performance Indicators (KPIs) que englobam quatro Pontos de Vista Fundamentais (PVFs): Alianças Estratégicas, Monitoramento da Energia Solar, Processos Gerenciais e Estratégicos e Inovações em Geração de Energia. Esses quatro PVFs foram desdobrados em 26 Fatores Críticos de Sucesso (FCS) e 41 KPIs. Os indicadores foram quantificados de acordo com o peso de importância de cada um calculado através de uma modelagem obtida através de uma função de agregação aditiva, que permite calcular o nível global de competitividade das empresas, levando-se em conta o desempenho obtido em cada indicador e sua respectiva taxa de substituição. A ferramenta proposta foi aplicada em uma planta de geração solar que possui 4.680 painéis fotovoltaicos, retornando uma taxa global de competitividade de 74,75%, sendo considerada “potencialmente competitiva”. O instrumento proposto permite que os gestores avaliem o grau de competitividade da organização e, possam aprimorá-la a partir da prospecção de cenários futuros e tomadas de decisão.*

Palavras-chave: *Energia Fotovoltaica, Competitividade, Indicadores de desempenho.*

1. INTRODUÇÃO

Se por um lado a demanda mundial por energia aumenta vertiginosamente, por outro lado os recursos ambientais apontam que não serão suficientes para os próximos anos. Esse esgotamento de energia gerada por fonte não renovável é resultado de um desequilíbrio entre recursos finitos, crescimento populacional e desenvolvimento industrial (KAHIA, AISSA e CHARFEDDINE, 2016). Nesse sentido, está cada vez mais próximo o momento em que as sociedades terão que transferir a sua geração de energia dos combustíveis fósseis para as alternativas energéticas sustentáveis. E, por este motivo, se intensifica a pesquisa e desenvolvimento de novas fontes de energia que atendem a este cenário. Sendo assim, é fundamental a constante inovação e o desenvolvimento de tecnologias de conversão para o aproveitamento de recursos energéticos naturais.

A energia solar fotovoltaica é a eletricidade obtida diretamente da conversão da radiação solar em energia elétrica, que ocorre através do efeito fotovoltaico, observada por Becquerel em 1839. Essa energia é a que mais cresce em todo o mundo. Entre o período de 2010 e 2016, a capacidade instalada global por sistemas fotovoltaicos cresceu cerca de 40% contra 16% da eólica e aproximadamente 3% da hídrica (REN21, 2017). Esse crescimento tem como principais fatores o aumento da viabilidade técnica e econômica, um exemplo disso é a redução dos preços dos painéis solares, tornando os sistemas mais competitivos e impulsionando a implementação (GOTTSCHAMER E ZHANG, 2016).

No Brasil, a localização geográfica – com quase todo o seu território situado entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio – é vantajosa para captura de energia solar, onde o grau de incidência de raios solares nesta região é quase perpendicular, favorecendo os altos níveis de irradiação solar (DIAS et al., 2017). De forma estratégica, o Brasil tem grandes reservas de quartzo de qualidade, o que pode gerar uma vantagem competitiva importante para a produção de silício, células e módulos solares de alta pureza, potencializando a atração dos investidores e o desenvolvimento de um mercado interno (FERREIRA et. al., 2018). Além da disponibilidade técnica, o mesmo autor reflete que o uso da energia solar traz uma série de benefícios para o Brasil, como o desenvolvimento das regiões remotas ao norte do país, nas quais levar a eletricidade convencional tem um custo muito alto em relação ao seu retorno de investimento, e também, no balanceamento do fornecimento de energia nos períodos de seca, onde as hidrelétricas não alcançam a

demanda. No entanto, a capacidade instalada de geração de energia fotovoltaica no país ainda é extremamente baixa quando comparada com outros países, especialmente os Alemanha, Espanha e Itália (LENTZ et al. 2014).

Diante desses fatores que viabilizam a implementação da energia solar fotovoltaica, Ding e Xu (2016) destacam que a implementação dessa energia potencializa a atração de investidores, permitindo que se observe um papel importante na matriz energética mundial. Porém, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017b) aponta que a principal barreira enfrentada por tecnologias de geração de energia elétrica sustentáveis é a inserção competitiva em um mercado aberto. Da mesma maneira, Gladysz e Kluczek (2018) afirmam que a preocupação ambiental e a complexidade das tecnologias aumentam na mesma proporção que a necessidade de orientação para avaliação dessas tecnologias para obter vantagem competitiva no mercado de geração de energia.

Nesse sentido, a geração de energia elétrica a partir da tecnologia fotovoltaica demonstra grande importância no contexto nacional, bem como o estudo relativo à competitividade na geração de energia solar, uma vez que suas fragilidades ainda existem e as impeçam de competir satisfatoriamente no contexto internacional. As práticas de gestão desenvolvidas por meio de pesquisas científicas ainda enfrentam dificuldades de implementação nos ambientes empresariais. Este fato, em parte, é decorrente da necessidade de se dispor ferramentas mais intuitivas para este ambiente, através de interfaces de fácil assimilação pelo usuário final. Assim, avaliar o desempenho solar energético de sistemas fotovoltaicos instalados justifica-se pela necessidade de os gestores disporem de ferramentas que lhes retornem o nível de competitividade de suas organizações, apoiando o processo de tomada de decisão. A partir desta motivação, buscou-se modelar um sistema de mensuração da competitividade e a construção de uma ferramenta eletrônica capaz de auxiliar a adoção prática da modelagem. Sendo assim, o presente artigo tem por objetivo apresentar uma ferramenta computacional capaz de mensurar o nível de competitividade de unidades geradoras de energia fotovoltaica.

Essa ferramenta tem como base indicadores de desempenho estruturados em um instrumento de pesquisa. A partir do estudo de artigos publicados nas principais plataformas científicas, verificou-se a inexistência de uma ferramenta gerencial que seja capaz de identificar e avaliar indicadores de desempenho pré-estabelecidos, somado a modelagem que apresenta o nível de competitividade da empresa respondente. Pretende-se preencher essa necessidade de uma ferramenta que apoie os gestores no processo de tomada de decisão a nível empresarial e estrutural, sabendo que é determinante para o avanço das organizações o monitoramento da competitividade sistêmica.

2. MENSURAÇÃO DA COMPETITIVIDADE E A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Dentre as diversas definições de competitividade, a que mais se aproxima deste estudo é a proposta por Jank e Nassar (2000) que a sublinham como “Capacidade sustentável de sobreviver e, de preferência, crescer nos mercados concorrentes ou novos mercados”. Seguindo essa perspectiva, a sobrevivência e o sucesso das plantas de geração de energia solar, deve ter como base a uma série de fatores técnicos, econômicos e gerenciais. Então, a avaliação e mensuração da competitividade deve considerar os custos, a produtividade da planta fotovoltaica na conversão da irradiação solar em energia elétrica, e também aspectos gerenciais de todo o processo produtivo que englobam a qualidade, alianças estratégicas, busca por melhoria contínua, entre outros.

De maneira geral, a competitividade em relação a viabilidade dos sistemas, ou seja, ao custo de investimento em sistemas fotovoltaicos, este pode ser dividido em três itens principais: (1) Painéis fotovoltaicos; (2) Inversor de linha; e (3) “Balance of the System (BoS)”, que engloba as estruturas mecânicas de sustentação, equipamentos elétricos auxiliares, cabos e conexões e a engenharia necessária para a adequação dos componentes do sistema e custos gerais de instalação (EPE, 2012). E em termos técnicos, a produtividade da energia solar depende diretamente do índice de irradiação solar, o que significa que é distinta nos diversos climas do Brasil, além dos fatores que afetam a eficiência do sistema como a temperatura e a intensidade da irradiação solar (EPE, 2012).

A partir dessas características, deve-se desenvolver métricas para a mensuração da competitividade. Essas métricas apresentam como base os Keys Performance Indicators (KPIs). KPIs são um conjunto de indicadores especiais capazes de refletir de forma quantitativa e condensada o desempenho de um setor específico da organização como um todo, atingindo não apenas uma, mas várias perspectivas e Fatores Críticos de Sucesso (FCS) (DRANSFIELD et al., 1999; MEYER, 2003; PARMENTER, 2012; SAMSONOWA, 2012). Desta forma, a utilização de KPIs pressupõe que se estabeleça uma estratégia com um alvo que se deseja atingir (KPI objetivo), e por meio do qual se desdobram os FCS, onde a correta identificação desses corresponde em grande parte ao êxito na implementação da metodologia (PARMENTER, 2012; SAMSONOWA, 2012).

Por fim, a utilização de KPIs como sistema de mensuração de desempenho pode ser considerada como uma ferramenta atualizada, devido à recorrência deste tema em obras científicas. As recentes publicações de Janes e Faganel (2012), Flipse et al. (2013); Dombrowski et al. (2013); May et al. (2014) e Galar et al. (2014) são alguns dos exemplos mais atuais que abordam KPIs e comprovam que este assunto está sendo amplamente explorado pela comunidade científica atualmente.

3. METODOLOGIA

Este trabalho permeou por várias etapas que deram suporte a modelagem da ferramenta, para melhor compreender os principais aspectos abordados e alcançar o objetivo proposto, o procedimento metodológico foi conduzido em cinco etapas, conforme a Fig. 1.

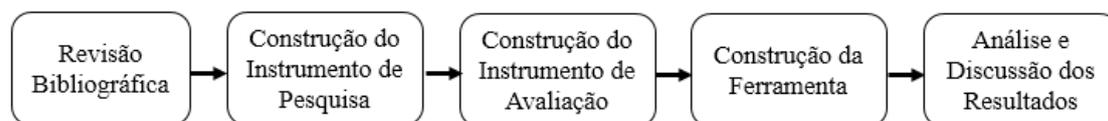


Figura 1 – Representação Esquemática da Metodologia.

Iniciou-se com um estudo bibliográfico em artigos e livros publicados na área, que deram suporte ao levantamento dos indicadores de competitividade a partir do desdobramento do objetivo central em Pontos de Vista Fundamentais (PVFs) e Fatores Críticos de Sucesso (FCS). A estruturação dos indicadores deu-se com a construção da árvore de decisão, na qual os PVFs fazem parte da principal estrutura da árvore e são indicadores relevantes para identificar o grau de competitividade das organizações que serão avaliadas. Onde foram levantados quatro PVFs, vinte e seis FCSs, e quarenta e um KPIs para avaliar a competitividade (Tab. 1). A partir do levantamento dos indicadores e da construção da árvore de decisão foi realizado a validação destes indicadores juntamente com especialistas da área.

	FSC		KPI		
Alianças Estratégicas	1.1	Fornecedores	1.1.1 Relação com os fornecedores do Sistema do Solar		
	1.2	Usinas semelhantes	1.2.1 Relação com Usinas Solares semelhantes		
	1.3	Instituições de ensino/pesquisa	1.3.1 Relações com universidades, institutos de pesquisa, escolas técnicas e/ou serviços de normatização		
	1.4	Órgãos Ambientais	1.4.1 Relação com Órgãos Ambientais		
	1.5	Poder Público	1.5.1 Relação com o Poder Público		
	1.6	Política	1.6.1 Relações Políticas		
	1.7	Entidades Setoriais	1.7.1 Relação com entidades setoriais		
	1.8	Mercado	1.8.1 Relação com o mercado fotovoltaico nacional 1.8.2 Relação com o mercado fotovoltaico internacional		
Monitoramento da Energia Solar	2.1	Grandezas Elétricas	2.1.1 Monitoramento das Grandezas elétricas geradas 2.1.2 Monitoramento das Grandezas Elétricas Consumidas		
	2.2	Econômico-Financeiro	2.2.1 Monitoramento Econômico-financeiro nacional 2.2.2 Monitoramento econômico-financeiro internacional		
	2.3	Características da Instalação	2.3.1 Monitoramento da localização do Sistema Fotovoltaico 2.3.2 Monitoramento da orientação/inclinação do Sistema Fotovoltaico 2.3.3 Monitoramento das condições climáticas locais		
	2.4	Qualidade dos equipamentos	2.4.2 Monitoramento da qualidade da estrutura de suporte e fixação do Sistema Fotovoltaico 2.4.3 Monitoramento da qualidade dos dispositivos elétricos do Sistema Fotovoltaico		
	2.5	Manutenção dos equipamentos	2.5.1 Monitoramento das manutenções no Sistema Fotovoltaico		
	2.6	Registro de Monitoramentos	2.6.1 Armazenamento e controle dos registros de todos os monitoramentos		
	Processos Gerenciais e Estratégicos	3.1	Aprendizado Tecnológico	3.1.1 Treinamento tecnológico em energias renováveis (Energia Fotovoltaica)	
		3.2	Aprendizado Gerencial	3.2.1 Treinamento gerencial em energia renovável e eficiência energética	
3.3		Marketing Ambiental	3.3.1 Divulgação da eficiência do Sistema Fotovoltaico na internet 3.3.2 Divulgação do Sistema Fotovoltaico em Feiras/Eventos		
3.4		Técnicas de Gestão	3.4.1 Técnicas Avançadas de gestão da Energia Fotovoltaica		
3.5		Capital e Acesso ao Crédito	3.5.1 Projeto sólido de viabilidade econômica		
3.6		Assistência Técnica	3.6.1 Acessibilidade à assistência técnica		
3.7		Mão-de-obra	3.7.1 Acessibilidade à mão-de-obra qualificada		
3.8		Envolvimento da diretoria	3.8.1 Nível de confiança no Sistema Fotovoltaico 3.8.2 Nível de flexibilidade perante as necessidades		

Inovações em Geração de Energia	4.1	Tecnologias Sustentáveis	4.1.1 Inovação em Tecnologia Sustentável
			4.1.2 Acompanhamento de novas tendências em energias renováveis
	4.2	Resultados	4.2.1 Reconhecimento pelos resultados inovadores
			4.2.2 Satisfação da empresa com os resultados
			4.2.3 Resultado dos investimentos no último ano
	4.3	Gestão da Inovação	4.3.1 Indicadores para avaliação das inovações
			4.3.2 Ampliação do Sistema Fotovoltaico
			4.3.3 Investimento em eficiência energética
	4.4	Proatividade	4.4.1 Postura proativa

Tabela 1 – Indicadores relacionados aos Pontos de Vistas Fundamentais

A partir desses indicadores, foi construído o instrumento de pesquisa. Esse instrumento é composto por questionamentos que devem mensurar cada um dos indicadores. Para cada pergunta existem cinco níveis de resposta distribuídos em alternativas (N1, N2, N3, N4, e N5), onde em cada caso o nível “N1” corresponde à situação considerada como a mais favorável possível para a competitividade, enquanto o nível “N5” corresponde a pior situação possível. O ponto médio “N3”, por sua vez, refere-se ao desempenho médio geral das indústrias do setor. Desta forma, nota-se que quando uma Usina Solar atingir o N1 de um indicador, a mesma estará em um patamar elevado de competitividade, superando de forma considerável a média do setor. No outro extremo, ao atingir N5, a competitividade da usina estará comprometida sob a ótica daquele FCS. Com o objetivo de se construir indicadores normalizados para a mesma escala, o que permite a rápida comparação e a agregação dos mesmos, foram propostos para todos os indicadores funções lineares com pontuação entre 0 e 100. Assim, o nível mais alto de competitividade (N1) em cada indicador recebeu a pontuação máxima (100 pontos), enquanto para o nível mais baixo (N5) foi atribuído a pontuação mínima (0 pontos), e para os níveis intermediários, foram atribuídas pontuações proporcionais, conforme Tab. 2.

PVF 1	FCS 1.1 - ESTRATÉGIAS E OBJETIVOS DE INOVAÇÃO	
Nível	1.1.1 Como é relação comercial com os fornecedores do Sistema Solar instalado na Usina Solar?	Peso
N1	Muito Eficaz	100
N2	Eficaz	75
N3	Intermediária	50
N4	Pouco Eficaz	25
N5	Inexistente	0

Tabela 2 – Indicador referente ao FCS Estratégias e Objetivos de Inovação

O instrumento de avaliação utilizado nesta pesquisa foi construído contendo uma questão fechada de múltipla escolha para cada indicador da modelagem, onde as alternativas de resposta estão relacionadas com os níveis de avaliação e as escalas construídas conforme a Tab. 1. Desta forma, torna-se possível avaliar e comparar o desempenho da Usina Solar participante da pesquisa, uma vez que o instrumento permite a coleta padronizada dos dados. Para a atribuição dos pesos aos critérios foi realizado uma pesquisa com quatro usinas solares questionando os respondentes quanto ao nível de importância que os mesmos atribuem a cada um dos indicadores levantados. Assim, aproxima-se com maior acurácia ao contexto por não tratar todos os indicadores com a mesma importância, mas permitindo uma estratificação destes em mais relevantes e menos relevantes, conforme Fig. 2.

1.7 Relação com o entidades setoriais: A Usina Solar é ativa em entidades setoriais relacionadas a energia solar (ABSOLAR, ABENS, ANEEL Solar) com qual abrangência?

Nível de importância para "Relação com o entidades setoriais"

1 2 3 4 5 6 7 8 9

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Figura 2 – Exemplo de questão utilizada no instrumento de coleta

O processamento dos dados é modelado em uma aba da planilha denominada “interface”, na qual estão inseridas todas as fórmulas matemáticas e lógicas necessárias para a quantificação das taxas de substituição de cada indicador. O cálculo das taxas de substituição foi realizado a partir dos dados coletados no instrumento de pesquisa, onde primeiramente foi computada a média dos valores obtidos para a importância atribuída em cada critério (indicador) pelos gestores. Posteriormente, propôs-se que as taxas de substituição fossem definidas através do método Swing

Weights (GOMES; GOMES, 2012), onde cada nível da estrutura hierárquica apresenta sua soma normalizada em 100%, iniciando pela base e seguindo até último nível que antecede o objetivo principal. Para tanto, os resultados quantitativos foram obtidos por meio de uma função de agregação aditiva, a qual permite calcular o nível global de competitividade das empresas, levando-se em conta o desempenho obtido em cada indicador e sua respectiva taxa de substituição.

A aplicação do modelo da Ferramenta NIC Plásticos, desenvolvida por Soliman (2015), é aqui focalizada e adaptada para a mensuração de competitividade na geração de energia fotovoltaica, juntamente com o uso do aplicativo *Microsoft Excel*® adotando-se o nome NIC – Geração de Energia Fotovoltaica. A necessidade do desenvolvimento da ferramenta computacional teve como principal propósito simplificar a entrada e o tratamento dos dados e proporcionar a obtenção rápida das respostas em forma de relatórios.

4. RESULTADOS

Neste item é apresentado o funcionamento da ferramenta com sua aplicação juntamente com a discussão dos resultados. A tela inicial desta ferramenta, mostrada na Fig. 3, possui quatro blocos: (1) Entrada de dados; (2) Resultados; (3) Anexos; e (4) Diagnóstico da competitividade.

Na primeira caixa da ferramenta chamada “Entrada de Dados” encontram-se quatro botões que dão acesso aos formulários construídos no instrumento de pesquisa para a coleta de dados que alimentam a modelagem, sendo uma tela para cada PVF (Ponto de Vista Fundamental).



Figura 3 – Tela inicial da ferramenta NIC – Energia Fotovoltaica

Assim, o usuário, ao clicar em um destes botões, será direcionado para outra aba da planilha na qual terão os questionamentos e os cinco níveis de resposta distribuídos em alternativas. A Fig. 4 demonstra o recorte da tela para ilustrar o caso dos PVFs, segue como exemplo o PVF 1 – Alianças Estratégicas.

Na sequência da ferramenta, o usuário deve assinalar uma resposta para cada questão. Para tornar a aplicação visualmente menos poluída com a descrição de cada indicador, a mesma foi inserida em formato de comentário, para que o usuário possa visualizá-la, se necessário. O processamento dos dados é modelado em uma aba da planilha denominada “interface”, na qual estão inseridas todas as fórmulas matemáticas e lógicas necessárias para a quantificação das taxas de substituição de cada indicador.

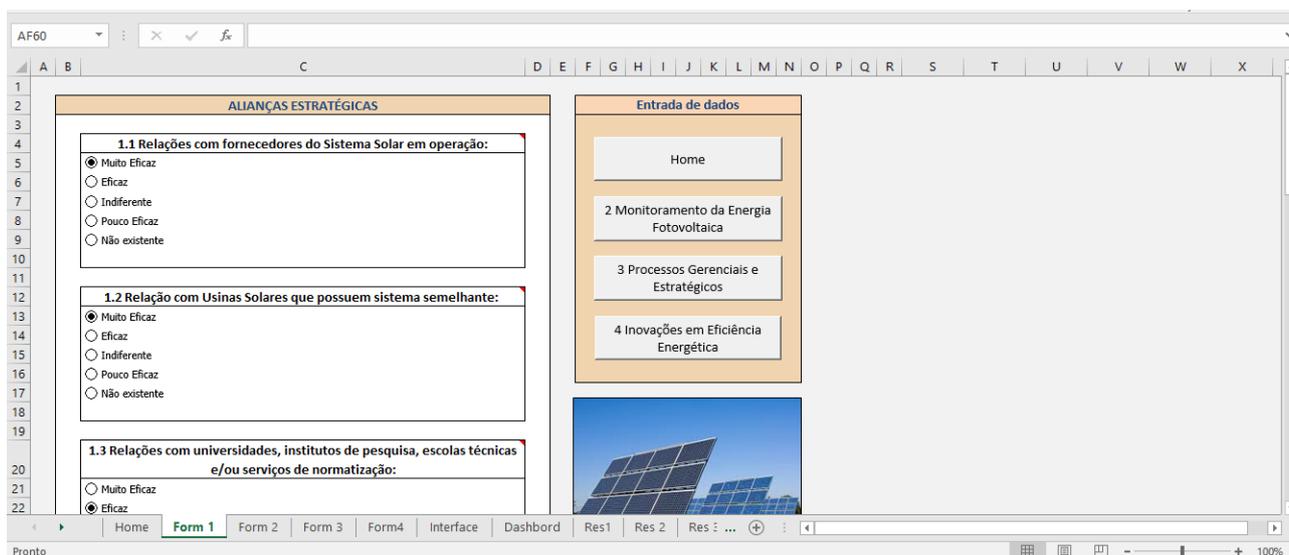


Figura 4 – Tela da Ferramenta NIC – Energia Fotovoltaica, instrumento de pesquisa do PVF 1 – Alianças Estratégicas

No quadro de funções “Resultados” está desenhado para gerar relatórios gráficos do desempenho competitivo da geração fotovoltaica, utilizando os dados inseridos previamente, bem como as taxas de substituição e a árvore de decisão elaborada. O primeiro relatório gerado é um dashboard, conforme apresentado na Fig. 5, que permite uma rápida inspeção da situação competitiva da geração da energia fotovoltaica na empresa através de gráficos de velocímetros, onde no topo é apresentado o resultado de desempenho global e logo abaixo a competitividade estratificada para cada PVF.



Figura 5 – Tela da Ferramenta NIC – Energia Fotovoltaica, dashboard

A forma de apresentação de resultados por meio do dashboard contribui com a gestão visual do Sistema Solar da empresa, permitindo que os gestores o exponham em murais ou outros canais de divulgação, facilitando a comunicação, divulgação e avaliação dos indicadores. Os outros botões que compõem o bloco de resultados apresentam os valores obtidos pela empresa em cada um dos PVFs e em cada indicador. Na Fig. 6 mostra-se como exemplo a tela do relatório gerado nesta aba através do exemplo dos indicadores relacionados ao PVF 1 – Alianças Estratégicas.

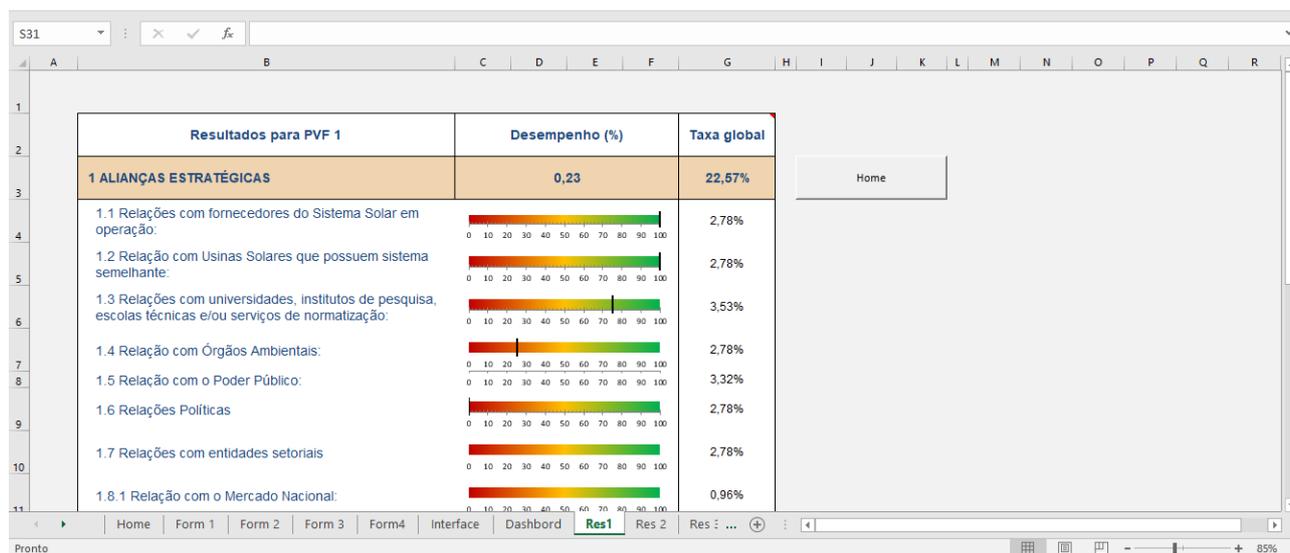


Figura 6 – Tela da Ferramenta NIC – Energia Fotovoltaica, relatório para os indicadores do PVF 1

O bloco “Anexo” apresenta informações relevantes para a construção da modelagem e da ferramenta. O botão “Estrutura Hierárquica” é composto pela árvore de decisão, o botão “NIC-UFSM” e “Desenvolvedores” compõem uma breve descrição do trabalho realizado no Núcleo de Inovação e Competitividade e o histórico acadêmico dos autores da pesquisa.

O item “Diagnóstico da Competitividade” possui a funcionalidade de mostrar na tela inicial o desempenho global da organização em avaliação, que representa a sinergia entre os processos que compõem a organização. Este item conta também, com um alerta de erro caso algum dos indicadores não tenha sido preenchido, evitando que respostas deixadas em branco comprometam a avaliação final dos resultados. Para a avaliação dos resultados quantitativos e sua consequente conversão em parâmetros qualitativos, foram propostas quatro faixas para classificar o nível de competitividade global, conforme mostrado na Tab. 3.

Nível de Competitividade	Descrição
0% ----- 25%	Não Competitiva
25% ----- 50%	Pouco Competitiva
50% ----- 75%	Potencialmente Competitiva
75% ----- 100%	Plenamente Competitiva

Tabela 3 – Faixas de Avaliação da Competitividade.

Dessa forma um desempenho competitivo de 50% demonstra que a empresa atingiu a média de desempenho competitivo nos indicadores avaliados, podendo, a partir do resultado, identificar oportunidades para aumentar a competitividade nos indicadores que apresentam um maior peso. Assim, um desempenho acima deste percentual coloca a empresa em uma situação potencialmente competitiva, na qual afirma que a mesma atende aos requerimentos mínimos do setor, porém ainda se encontra em uma situação de alta rivalidade.

4.1 Aplicação da Ferramenta NIC- Geração de Energia Fotovoltaica

Ao término da etapa de desenvolvimento da ferramenta computacional, a mesma foi submetida a uma etapa de avaliação para verificar sua usabilidade e suas funcionalidade, o teste foi realizado com a Usina Solar de Tauá, do grupo MPX, localizada na cidade de Tauá, no Sertão dos Inhamuns do Ceará. Em operação comercial desde agosto de 2011, a usina solar Tauá conta com 4.680 painéis fotovoltaicos para converter a energia solar em elétrica, numa área de aproximadamente 12 mil metros quadrados. Cerca de R\$ 10 milhões foram investidos na unidade, cuja capacidade inicial é de 1MW. Com o auxílio da ferramenta foi possível identificar os níveis de Competitividade nos quatro Pontos de Vistas Fundamentais, conforme Fig. 7.

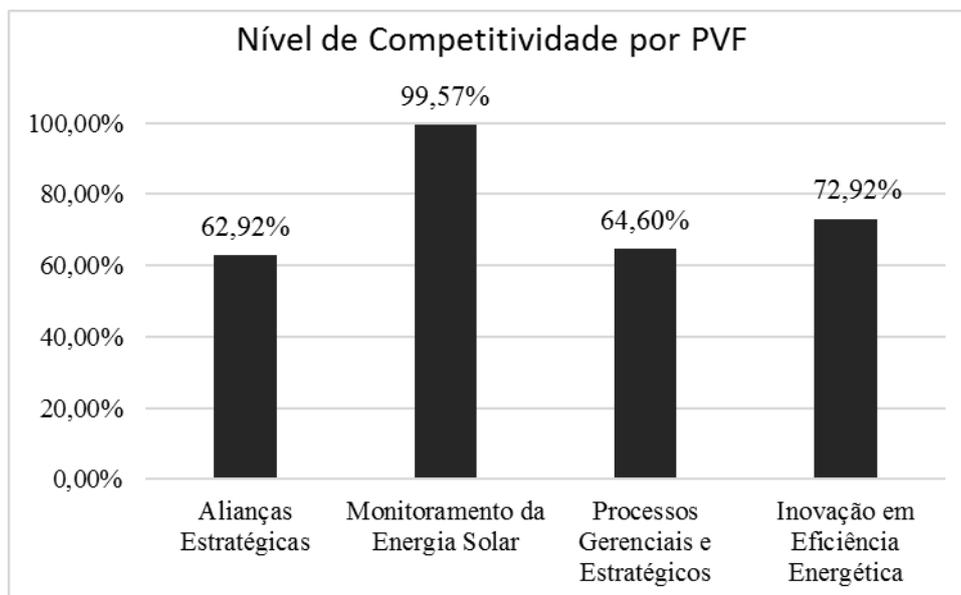


Figura 7 - Resultados de avaliação da competitividade para os quatro Pontos de Vistas Fundamentais

Na aplicação da ferramenta também foi possível verificar que a Usina Solar de Tauá apresentou 74,75% de índice global de competitividade, sendo considerada “potencialmente competitiva”, pois apresentou um alto nível de competitividade, ficando com 0,25% abaixo da faixa percentual que a consideraria como “plenamente competitiva”. Esse alto grau de competitividade se deve ao fato do sistema solar em operação ser a primeira usina fotovoltaica em escala comercial do país conectada ao Sistema Interligado Nacional. Ao analisar cada ponto de vista fundamental, o Monitoramento da Energia Solar apresentou um desempenho de 99,57% (PVF2). Este foi o resultado mais discrepante entre os 4 PVFs, pois apresentou um monitoramento diário de grande parte dos indicadores levantados, sendo considerada plenamente competitiva dentro deste ponto de vista fundamental de monitoramento da energia solar, o que classifica o PVF2 como o ponto de vista fundamental com resultados mais satisfatórios dentre os quatro pontos.

5. CONCLUSÃO

A energia fotovoltaica é a energia sustentável que mais cresce em todo o mundo, mas para continuar se consolidando no mercado, é necessário dar atenção constante a sua competitividade. O que sugere a utilização de ferramentas gerenciais capazes de identificar a situação competitiva desta geração de energia. Nesse sentido, o presente artigo teve como objetivo apresentar uma ferramenta computacional que mensura o nível de competitividade de unidades geradoras de energia fotovoltaica. Essa ferramenta tem como base indicadores de desempenho estruturados em um instrumento de pesquisa.

A partir da pesquisa bibliográfica foi realizada a estruturação dos indicadores, que se constituiu através da construção da árvore de decisão. Essa árvore inicia por quatro PVFs, que fazem parte da principal estrutura da árvore, são eles: Alianças Estratégicas, Monitoramento da Energia Solar, Processos Gerenciais e Estratégicos e Inovações em Geração de Energia. Esses quatro PVFs foram desdobrados em vinte e seis FCSs e quarenta e um KPIs. Então, os KPIs foram associados a questões fechadas de múltipla escolha do instrumento de pesquisa, e aplicado em quatro geradoras de energia solar fotovoltaica, que apontaram a importância que cada fator chave possui, em sua perspectiva. Sendo assim, foi realizada a normalização dos dados e o cálculo das taxas de substituição, que resultaram no sistema de medição de competitividade.

Com base no procedimento metodológico e nos resultados encontrados, considera-se que o objetivo da pesquisa foi atingido, sendo que a ferramenta computacional proposta mensura o nível de competitividade em organizações que possuem um sistema fotovoltaico instalado e em operação. A ferramenta proposta permite que os gestores avaliem o nível de competitividade da organização e, possam aprimorá-la a partir dos indicadores levantados, os quais auxiliarão na prospecção de cenários futuros e tomadas de decisão. Para demonstração da ferramenta, esta foi aplicada na usina de Tauá, localizada no Sertão dos Inhamuns do Ceará, onde apresentou 74,75% de índice global de competitividade, sendo considerada “potencialmente competitiva”.

Devido ao setor de energia fotovoltaica ainda ser novo no Brasil, a pesquisa teve como limitação o número de respondentes para o cálculo dos índices dos KPIs. Diante disso, como estudos futuros, é interessante a aplicação do primeiro instrumento de pesquisa em mais geradoras de energia, para ter ainda mais confiabilidade nos índices obtidos nesta pesquisa. Bem como, a aplicação da ferramenta no cálculo da competitividade de um maior número de geradoras, para auxiliar essas na formulação de planos de ação para maximizar a sua competitividade.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do INCTGD e dos órgãos financiadores (CNPq processo 465640/2014-1, CAPES processo no. 23038.000776/2017-54 e FAPERGS 17/2551-0000517-1)

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: Junho, 2017a.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Temas para investimentos em P&D. Disponível em: <<https://goo.gl/g4wDFK>>. Acesso em 1 de novembro de 2017b.
- Dias, C. L. A., Branco, D. A. C., Arouca, M. C., Legey, L. F. L., 2017. Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil, *Renewable Energy*, vol. 114, n. 2, pp. 367-375.
- Ding, M., Xu, Z., 2016. An empirical model for capacity credit evaluation of utility-scale PV plant, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 8, n. 1, pp. 94-103.
- Dombrowski, U., Schmidtchen, K., Ebentreich, D., 2013. Balanced Key Performance indicators in product development, *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, vol. 1, n. 1, pp. 27-31.
- Dransfield, S. B., Fischer, N. I., Vogel, N. J., 1999. Using statistics and statistical thinking to improve organizational performance, *International Statistical Review*, vol. 67, n. 2, pp. 99-150.
- EPE, Empresa de Pesquisas Energéticas, Análise da Inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. Rio de Janeiro, 2012. 58 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em 1 de novembro de 2017.
- Ferreira, A., Kunh, S. S., Fagnani, K. C., Souza, T. A., Tonezer, C., Santos, G. R., Araújo, C. B. C., 2018. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, n. 1, pp. 181-191.
- Flipse, S. M., Sanden, M. C. A., Velden, T., Fortuin, F. T. J. M., Omta, S. W. F., Osseweijer, P., 2013. Identifying key performance indicators in food technology contract R&D, *Journal of Engineering and Technology Management*, vol.30, pp. 72-94.
- Galar, D., Berges, L., Sandborn, P., Kumar, U., 2014. The need for aggregated indicators in performance asset management, *Maintenance and Reliability*, vol. 16, n. 1, pp. 120-127.
- Gładysz, B., Kluczek, A., 2018. A framework for strategic assessment of far-reaching technologies: A case study of Combined Heat and Power technology, *Journal of Cleaner Production*, vol. 197, n. 1, pp. 242-252.
- Gomes, C.F.; Gomes, L.F.A.M., 2012. Tomada de decisão gerencial: Enfoque Multicritério. 4 ed. São Paulo: Atlas.
- Gottschamer, L., Zhang, Q., 2016. Interactions of factors impacting implementation and sustainability of renewable energy sourced electricity, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 65, n. 1, pp. 164-174.
- Janes, A., Faganel, A., 2013. Instruments and methods for the integration of company's strategic goals and key performance indicators, *Kybernetes*, vol. 42, n. 6, pp. 928-942.
- Jank, M. S., Nassar, A. M., 2000. Competitividade e Globalização. In: ZYLBERSZTAJN, Décio; NEVES, Marcos (org.). Economia e gestão dos negócios agroalimentares. São Paulo: Pioneira.
- Kahia M., Aïssa, M. S. B., Charfeddine L., 2016. Impact of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth: New evidence from the MENA Net Oil Exporting Countries (NOECs), *Energy*, vol. 116, n. 1, pp. 102-115.
- Lentz, A., Renné, D., Tiepolo, G. M., Junior, J. U., Junior, O. C., Viana, T., 2014. Photovoltaic generation potential of Paraná state, Brazil – a comparative analysis with European countries, *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 725-734.
- May, A., Anslow, A., Wu, Y., Ojiako, U., Chipulu, M., Marshall, A., 2014. Prioritization of performance indicators in air cargo demand management: an insight from industry, *Supply Chain Management*, vol. 19, n. 1, pp. 108-113.
- Meyer, M. W., 2003. Rethinking performance measurement: beyond the balanced scorecard. Cambridge: Cambridge University Press, 220 p.
- Parmenter, D., 2012. Key performance indicators for government and non profit agencies. New Jersey: Wiley, 309 p.
- REN21 - Renewables 2016 - Global Status Report. Disponível em <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>. Acesso em 6 de novembro de 2017.
- Samsonowa, T., 2012. Industrial research performance management: key performance indicators in the ICT industry. Heidelberg: Physica-Verlag, 460 p.
- Soliman, M., 2014. Avaliação da competitividade em indústrias de transformação de plástico. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

COMPUTATIONAL TOOL FOR COMPETITIVENESS MEASUREMENT IN THE GENERATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY

Abstract. Photovoltaic Solar Energy is, among the various sources, the one that in recent years has been presenting higher growth rates of generation. However, to succeed in the production of this energy, it is necessary to remain competitive in the market. Therefore, to evaluate the solar energy performance of installed photovoltaic systems is justified by the need for the managers to have tools that will return the level of competitiveness of their organizations. Regarding this scenario, this article aims to develop a computational tool capable of measuring the level of competitiveness of photovoltaic generating units. The tool was developed using Key Performance Indicators (KPIs) that encompass four Fundamental Viewpoints (PVFs): Strategic Alliances, Solar Energy Monitoring, Strategic and Management Processes and Energy Generation Innovations. These four PVFs were dismembered on 26 Critical Success Factors (FCS) and 41 KPIs. The indicators were quantified according to the importance weight of each one calculated through a modeling obtained through an additive aggregation function, which allows calculating the global level of competitiveness of the companies, taking into account the performance obtained in each indicator and their respective replacement rate. The proposed tool was applied in a solar generation plant that has 4,680 photovoltaic panels, returning a global competitiveness rate of 74.75%, is considered "potentially competitive". The proposed tool allows managers to assess the degree of competitiveness of the organization and can improve it from the prospecting of future scenarios and decision making.

Key words: Photovoltaic Energy, Competitiveness, Performance Indicators.