

Medição instrumental de energia primária e secundária e sistematização da massa de dados gerada em sistema piloto eólico-solar

Instrumental measurement of primary and secondary energy and systematization of big-data generated in a pilot eolic-solar system

André Luiz Veiga GIMENES [1](#); Angélica Luana LINHARES [1](#); Antônio Celso ABREU Junior [2](#); Jonathas Luiz Oliveira BERNAL [1](#); Luiz Claudio Ribeiro GALVÃO [1](#); Martim Debs GALVÃO [1](#); Miguel Edgar Molares UDAETA [1](#); Paulo Helio KANAYAMA [3](#); Rafael Martinez ACEBRON [2](#); Raul Vaz de PAULA [4](#); Rodrigo Antônio CARNEIRO [1](#); Stefania Gomes RELVA [1](#); Vinícius Oliveira da SILVA [1](#)*

Recebido: 28/08/2017 • Aprovado: 12/10/2017

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Caracterização do ambiente e local das unidades foco](#)
 - [3. Medição, registros e armazenamento de dados de geração primária e secundária](#)
 - [4. Medição de dados primários \(solar e eólico\)](#)
 - [5. Medição de dados secundários](#)
 - [6. Massa de dados e registros](#)
 - [7. Grandezas significativas para medição dentro de uma pesquisa e investigação científica](#)
 - [8. Unidade solarimétrica](#)
 - [9. Unidade anemométrica](#)
 - [10. Unidade de geração fotovoltaica](#)
 - [11. Unidade de geração eólica – aerogeradores](#)
 - [12. Conclusão](#)
- [Agradecimentos](#)
- [Referências bibliográficas](#)

RESUMO:

O objetivo do trabalho é determinar as especificidades das grandezas e variáveis do processo de análise de energia primária e secundária, considerando um sistema de geração de energia por planta eólica e por

ABSTRACT:

The objective of this work is to determine the specificities of the variables of the primary and secondary energy analysis process, considering a system of electrical generation by a wind power plant

planta solar fotovoltaica e a disponibilidade de dados de estações de medições solarimétrica e anemométrica. Nesse sentido metodologicamente são evidenciadas: as principais grandezas de medição necessárias e o registro sistêmico e instrumental de cada unidade física, resultando na definição das variáveis, seus intervalos de gravação e integração, dados em estado bruto e tratado, e o procedimento de acúmulo das massas de dados. Conclui-se que a sistemática para o caso da geração de energia fotovoltaica e eólica atrelada a pesquisa científica deve considerar ao menos intervalos de registros de 1 em 1 minuto para integração, assim, o diagnóstico das sazonalidades dos mensurados é facilmente verificado; as observações importantes dentro de um estudo científico são geradas, e os conjuntos de dados fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa são identificados. Por fim, ressalta-se que, mesmo com tal sistematização, a boa prática engloba a coleção integral das massas de dados.

Palavras-Chave: Energia Eólica, Energia Solar, Massa de dados, Medição, Grandezas, Armazenamento, Energia Primária, Energia Secundária

and by a solar photovoltaic power plant and the availability of data by a solarimetric station and by an anemometric station. In this sense, methodologically, the main measurement variables required, systemic and instrumental record for each physical unit are shown, resulting in the definition of the variables, their recording and integration intervals, raw and treated units, and the accumulation procedure of the mass data. It is concluded that the systematics for the case of photovoltaic and wind energy generation linked to scientific research must consider at least intervals of records every 1 minute for integration, thereby, the diagnosis of the seasonality of the measurements are easily verified; the important observations for the scientific study are produced, and the fundamental datasets for the development of the research are identified. Finally, it is important to highlight even considering this systematization, the good practice involves the complete storage of the data masses.

Keywords: Wind Energy, Solar Energy, Data Mass, Measurement, Quantities, Storage, Primary Energy, Secondary Energy.

1. Introdução

Para uma observação e estudos dentro do âmbito científico, uma das informações imprescindíveis são os dados, que por hora contêm variáveis mensuradas em sua unidade específica. É importante a definição prévia das variáveis necessárias para o progresso da pesquisa, evitando retrabalhos desnecessários.

Esse trabalho tem como foco a determinação das grandezas mais relevantes para uma pesquisa e investigação científica que envolve a análise de variáveis referentes a dados primários e secundários, abrangendo as fontes energéticas eólica, solar e a geração de energia elétrica.

A aquisição de dados permite o desenvolvimento de uma análise comportamental dos sistemas isolados e integrados. Para sistemas de geração deve-se ter a medição, o registro, o armazenamento e a disponibilização de dados para correlacionar as grandezas físicas da fonte primária com o potencial gerador do sistema, comprovando assim a operacionalidade do sistema, assegurando sua confiabilidade e viabilizando uma análise periódica do comportamento. Sistemas de geração integrados, baseados em diferentes tecnologias e recursos energéticos, principalmente por fontes intermitentes, devem ter sistema de medição e aquisição de dados para análise sazonal do comportamento dessas fontes de geração na região.

Projetos de pesquisa demandam dados e registros. A relevância destes dados para conhecer o comportamento de um sistema é essencial para o desenvolvimento de uma pesquisa, correlacionando assim, a teoria evidenciada sobre o sistema analisado, com o mundo real onde o sistema está implementado e as singularidades deste sistema. Nesse sentido, ressalta-se que existem grandezas de medição imprescindíveis para a pesquisa, e mais ainda devem apresentar qualidade nos seus registros gerados, de maneira que as incertezas encontradas sejam observadas e tratadas, de modo a expurgar erros que podem afetar os resultados.

Assim sendo, este artigo evidencia o que se espera minimamente na entrega das grandezas medidas pelos fornecedores vinculados a esses sistemas, e, objetiva: (i) evidenciar os parâmetros fundamentais mensuráveis em sistemas de geração eólico e fotovoltaico, vinculados as caracterização do recurso energético efetivo; (ii) evidenciar os principais pontos de medição das unidades de geração - fotovoltaica e eólica - e das unidades solarimétricas e anemométricas, vinculadas a caracterização do recurso energético primário, solar e do vento; (iii) evidenciar os tipos de medidores necessários, suas normas e padrões; sistemas de monitoramento, armazenamento e aquisição. Outra meta inerente, é orientar como os dados, precisam estar organizados e esquematizados para o bom desenvolvimento da pesquisa; e enfim, demonstrar a relevância destes medidores para sistema de geração com plantas pilotos.

2. Caracterização do ambiente e local das unidades foco

Desde o início do século XX, a humanidade tem passado por um processo de transformação sem precedentes na história. A produção industrial e agrícola cresce continuamente, trazendo como consequência um acúmulo maior nas cidades e esse processo tem impactos significativos no aumento da necessidade por energia.

A demanda por eletricidade cresce exponencialmente em países em desenvolvimento ou emergentes, mesmo considerando os impactos negativos que acompanham algumas formas de geração convencional.

Devido a essa demanda uma das alternativas seria uma complementariedade das fontes energéticas, e ela pode ser dar tanto dentro de uma única localidade como uma usina hidrelétrica com usina solar, ou em localidades distantes para complementariedade da matriz energética envolvendo uma usina solar e uma usina eólica.

A palavra complementariedade (ou complementaridade) pode ser interpretada como capacidade para servir de complemento. A expressão complementariedade energética refere-se então à capacidade de uma ou mais fontes de apresentarem disponibilidades energéticas complementares no tempo, no espaço ou em ambos. A complementariedade no espaço pode existir quando as disponibilidades energéticas de uma ou mais fontes se complementam ao longo de uma região. A complementariedade no tempo pode existir quando as disponibilidades apresentam períodos que se complementam ao longo do tempo em uma mesma região. [1]

Para que seja desenvolvido um estudo de viabilidade de complementariedade energética um processo importante e que deve ser bem planejado e projetado é o sistema de medição. Antes de qualquer medida quantitativa e qualitativa de complementariedade uma modelagem da fonte de energia primária deve ser elaborada através de dados confiáveis da fonte em foco, a fim de gerar uma previsão mais próxima do real para a localidade em estudo.

Dentro deste foco de medição, observação e análise voltadas a fontes primárias e secundárias, as unidades pertencentes a pesquisa desenvolvida na UHE (Usina Hidrelétrica) Engenheiro Sérgio Motta estão voltadas para duas fontes energéticas: solar e eólica, que abrange a medição e geração destas fontes.

O sistema de medição contempla diversos tipos de sensores específicos para registro de variáveis meteorológicas, solarimétricas, anemométricas, além de equipamentos para medição da geração elétrica, como tensão AC, tensão DC, corrente AC, corrente DC, potência, dentre outras variáveis elétricas.

As fontes primárias de energia são os produtos providos pela natureza na sua forma direta antes de serem convertidas ou transformadas, como o petróleo, gás natural, carvão mineral, energia hidráulica, resíduos vegetais e animais, solar, eólica etc. As unidades de medição de energia primária são uma estação anemométrica e uma estação solarimétrica.

A estação solarimétrica tem disponível diversos sensores específicos para medições de radiação solar, sendo sensor de irradiância solar global, irradiância solar direta e irradiância solar difusa, e os sensores climatológicos como temperatura do ar, umidade de ar, precipitação, pressão atmosférica e velocidade e direção do vento.

A estação anemométrica possui sensores de medição de velocidade do vento e direção em 3 alturas diferentes (55, 82 e 102 metros de altura) sendo implementado por 2 sensores de direção dos ventos, de igual forma da estação anemométrica possui sensores climatológicos como sensor de temperatura e umidade do ar, pressão atmosférica.

A figura 1 ilustra a localização onde estão instaladas as unidades de medição dentro da Usina Hidrelétrica.

Figura 1

Local de instalação das Unidades de medição. Fonte: Google Maps (adaptado), 2016.



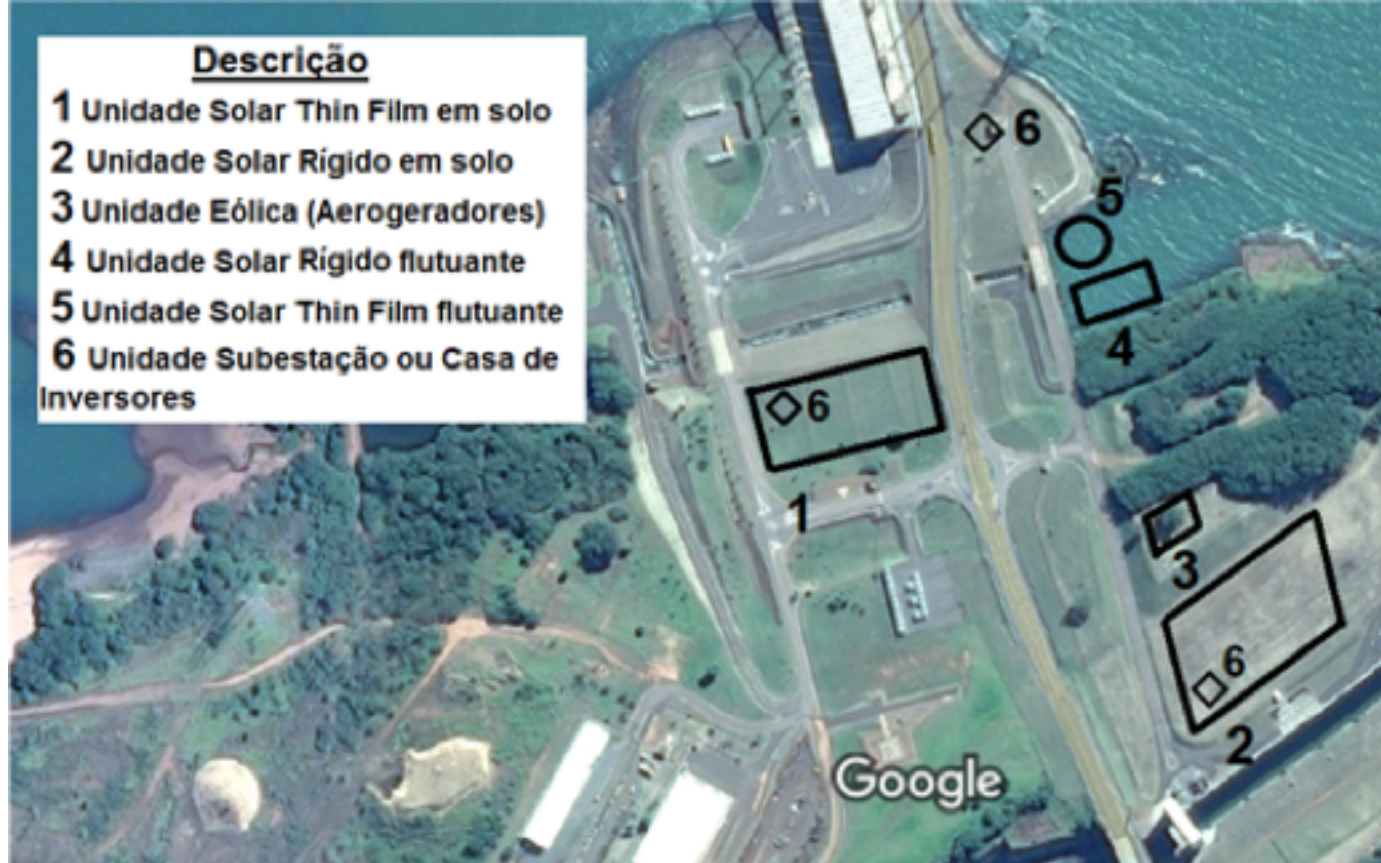
A etapa da transformação compreende os fluxos em que fontes primárias de energia são convertidas em fontes secundárias de energia. A transformação agrupa os centros de transformação onde toda a energia que entra (primária e/ou secundária) se transforma em uma ou mais formas de energia secundária, com suas correspondentes perdas de transformação e variações de estoques. Os centros de transformação são refinarias de petróleo, plantas de gás natural, usinas de gaseificação, coquearias, ciclo de combustível nuclear, centrais elétricas de serviço público e autoprodutoras, carvoarias e destilarias, usina solares e eólicas, entre outras.

As unidades de geração estudadas são as seguintes: Unidade Solar Thin Film/Flexível em solo; Unidade Solar Thin Film/Flexível flutuante; Unidade Solar Rígido em solo; Unidade Solar Rígido flutuante; Unidade Eólica e Unidades Subestação ou Casa de Inversores. A pesquisa conta com uma unidade subestação (casa de inversores), esta unidade está dividida em 3 locais específicos, e contempla os inversores para conversão de energia elétrica de DC (Corrente contínua) para AC (Corrente alternada) vindos das diversas unidades geradoras.

A figura 2 ilustra a localização de todas as unidades de geração e subestação dentro da UHE.

Figura 2

Descrição do local de instalação das Unidades de geração. Fonte: Google Maps (adaptado), 2016.



Para a investigação e estudo é indispensável à medição individual de cada unidade geradora, tanto em solo como em água, para assim um posterior uso dos dados no qual poderão ser comparados em sua eficiência, e deve conter medição em corrente contínua e corrente alternada. A necessidade de medição em AC e DC se dão, por exemplo, devido à geração das unidades de geração solar, que geram energia elétrica em corrente contínua e são transformadas para corrente alternada após passagem pelo inversor.

3. Medição, registros e armazenamento de dados de geração primária e secundária.

O tempo ou período entre duas medições sucessivas é de extrema importância. Medir, registrar, analisar e validar uma determinada grandeza é fundamental para a elaboração e tomadas de decisões dentro do escopo de uma pesquisa e investigação científica.

Assim, o registro e armazenagem de todas as medições, e de todos os equipamentos que constituem as unidades anemométricas e solarimétricas, dos sistemas de geração fotovoltaicos (rígido em terra, rígido flutuante, flexível em terra e flexível flutuante) e eólicos (dois aerogeradores a 31,5 m em relação ao solo) devem estar sincronizados em referência horária UTC-3, com frequência de aquisição de 1Hz (01 registros por segundo de cada equipamento) com intervalo de integração de registro de 01 minuto.

As medições das unidades anemométrica e solarimétrica devem compreender, sem exceção (pelo menos), todas as grandezas descritas nas Tabelas I e II. O mesmo deve ocorrer com as medições das unidades de geração fotovoltaica e eólicas, as quais devem ser confiáveis e terem como requisitos mínimos a medição de tensão, corrente e potência elétrica do lado CC e do lado CA, de cada array, inversor e aerogerador, tais grandezas a serem medidas estão contidas nas Tabelas III, IV, V e VI.

Portanto, segundo tais informações, quanto maior a aquisição de dados das tecnologias analisadas, e quanto maior a qualidade dos dados obtidos e mais preciso o período de medição, melhor é a caracterização entre o recurso energético primário (solar e do vento) disponível e a energia secundária, eletricidade, convertida em cada sistema. Nesse sentido, deve-se ressaltar a importância dos procedimentos de análise de qualidade e tratamento de dados, visando a confiabilidade dos dados, é inerentemente a confiabilidade dos resultados buscados.

4. Medição de dados primários (solar e eólico)

Para quantificar e qualificar a energia primária é necessário o uso de sensores e instrumentos de medição específicos para cada tipo de fonte primária.

Usa-se classificar os instrumentos de medição de radiação solar de acordo com os critérios empregados: o tipo de variável que se pretende medir, o campo de visão, a resposta espectral, o emprego principal a que se destina. Neste trabalho será feita uma síntese dos principais equipamentos utilizados na medição de radiação solar como: piranômetro, pirgeômetro, pireliômetro, radiômetro. A unidade de medida para radiação solar é W/m^2 , J/m^2s .

Piranômetro: são sensores que medem a radiação solar global (W/m^2) na faixa de 335 a 2200 nanômetros. Este tipo de instrumento pode ser utilizado para medir tanto a radiação global (radiação direta + radiação difusa) e como também unicamente à radiação difusa, onde o piranômetro é acoplado a um dispositivo de sombreamento na base do rastreador solar, impedindo incidência direta de radiação. [2]

Pirgeômetro: também denominado radiômetro infravermelho de precisão sendo um instrumento utilizado para medir a radiação de onda longa (ROL), na faixa de 4,2 a 45 micrometros, e é constituído por uma termopilha enegrecida com uma junção em contato com a base de metal do instrumento e outra junção exposta à atmosfera.

O Pireliômetro: mede a radiação direta, é necessário estar apontando em direção ao sol, seguindo o movimento solar. Possui uma estrutura que minimiza a influência da temperatura do ambiente, na abertura dianteira existe uma janela de quartzo para proteger o sensor e para atuar como filtro na radiação que passa.

Radiômetro: é a denominação genérica para instrumentos que medem a irradiação horizontal global (GHI), ou irradiação difusa horizontal (DHI) ou a irradiação normal direta (DNI).

Existem vários tipos de instrumentos que atuam na medição primária de velocidade dos ventos, que é a movimentação da massa de ar na terra, como, por exemplo, anemômetros de copos, anemômetros de hélice, hélice combinado com direção do vento e os sistemas que medem a velocidade do vento baseados em propriedades físicas do meio, como o anemômetro sônico, SODAR (Sound Detection And Ranging), RASS (Radio Acoustic Sounding System) ou LIDAR (Light Detecting And Ranging). A unidade de medição em geral é m/s , nós e km/h .

Vários fatores devem ser considerados na escolha dos sensores de medição. Os mais importantes são a linearidade do sinal de saída com a velocidade do vento, e a pouca sensibilidade em relação à componente vertical do vento e à turbulência causada pelos braços de suporte e torre. As características de construção, como a geometria, o tamanho dos rotores e a altura do eixo, influenciam, por exemplo, a sensibilidade de medição da componente vertical do vento, a resposta dinâmica e a linearidade dos sensores. Anemômetros com rotores maiores tendem a apresentar maior linearidade, por outro lado, têm maior inércia e menor resposta dinâmica. [3]

A utilização de anemômetros de copos em diversas aplicações ocorre pelas seguintes razões: eles têm em geral uma precisão adequada, são robustos e têm preços relativamente baixos em comparação a outros tipos de instrumentos. As desvantagens como, por exemplo, a inércia dos rotores e o efeito de overspeeding (Fenômeno de sobrevelocidade que ocorre nos anemômetros após uma rajada de vento, indicando velocidades maiores do que realmente é) são bem conhecidos. [4]

Os anemômetros sônicos são recomendados para medições de turbulência, ou mesmo para pesquisas, e comparação com anemômetros de copos. Isso ocorre pelo fato de que a exatidão dos dados obtidos é inferior à dos anemômetros de copos, e o preço é bem mais elevado. Os anemômetros sônicos medem também a direção do vento, e precisam de um ajuste de direção durante sua instalação. O uso desse tipo de sensor é o nível de turbulência sejam maiores. [4]

Um sensor de hélice acoplado é um equipamento que combina um anemômetro de hélice e um

sensor de direção, e não é recomendável utilizá-los para prognóstico de energia eólica, pois o anemômetro nem sempre está posicionado diretamente para o vento incidente, e em ventos turbulentos o sensor pode oscilar.

Em localidades onde há grandes influências térmicas e os efeitos da turbulência é recomendado o uso de sistemas SODAR, RASS ou LIDAR, eles são capazes de medir o perfil vertical do vento e da temperatura pelo Efeito Doppler através da reflexão das ondas sonoras/microondas (SODAR/RASS) ou da luz (LIDAR). Como esses tipos de equipamentos são de fácil mobilidade, é possível analisar vários pontos do terreno e em várias alturas. Países caracterizados por terrenos complexos como, por exemplo, a Áustria e a Suíça, oferecem programas de medição com SODAR/RASS por três meses. No Brasil ainda não existem muitos destes tipos de sensores na energia eólica. [4]

As principais variáveis físicas que influenciam no comportamento termodinâmico da atmosfera, também chamadas de variáveis meteorológicas, são: temperatura, umidade do ar, radiação, pressão, evaporação e precipitação.

5. Medição de dados secundários

Na Resolução Normativa nº 482/2012 o sistema de medição deve atender a especificações idênticas às exigidas das demais unidades consumidoras conectadas no mesmo nível de tensão da central geradora, dotada adicionalmente de funcionalidade que permita medição bidirecional de energia elétrica (medição de consumo e de geração).

Para a investigação e estudo é indispensável à medição individual de cada unidade geradora, tanto em solo como em água, para um posterior uso dos dados na comparação e análise de eficiência e rendimento, e devem conter medição em corrente contínua e corrente alternada.

Alguns inversores já possuem um sistema de medição acoplado a eles, e automaticamente geram arquivos compatíveis para software de planilhas. O que modifica e possui grande importância é o sistema de armazenamento embutido no inversor, que podem ser entrada USB, entrada para memória flash (CompactFlash, SmartMedia, MultiMedia Card – MMC, Secure Digital –SD) ou serem transmitidas em tempo real para um servidor que armazenam os dados.

Um medidor de energia elétrica é um dispositivo ou um equipamento eletromecânico ou eletrônico capaz de medir (mensurar) a energia. Todavia, com o advento das redes inteligentes e das tecnologias de smart grid, os medidores eletrônicos vêm ganhando representatividade no setor elétrico brasileiro.

Segundo anexo elaborado pela IBM na Nota Técnica 0013/2009 - Medição Eletrônica na Baixa Tensão, os medidores eletrônicos tem a capacidade de permitir a medição de diversas grandezas elétricas sem a necessidade de volumes significativos de espaço para tal. Além das grandezas elétricas, a tecnologia atual permite que os medidores eletrônicos também registrem indicadores de outras naturezas, como comerciais e da qualidade de serviço.

Segundo IBM, em função da existência de duas categorias de consumidores quando há uma geração distribuída, o que é necessário uma especificação para cada um deles, os que são puramente consumidores e os cogeneradores: medidores de dois quadrantes (destinados aos puramente consumidores) e medidores de quatro quadrantes (destinados aos consumidores cogeneradores).

Existe no mercado módulos que são analisadores e medidores de energia, do modo que já possuem uma pequena memória e entrada geralmente RS485/ModBus, alguns trazendo a possibilidade de fibra ótica, gerando assim uma comunicação em tempo real da medição de energia. O Módulo Mestre atribui o endereço da unidade local (String fotovoltaica) adequado automaticamente para até 15 unidades do Módulo Medidor Energia, e recolhe todas as medições locais vindos tanto do Módulo Medidor de Energia de todas as unidades de medição. Está é uma opção utilizada em grandes usinas solares.

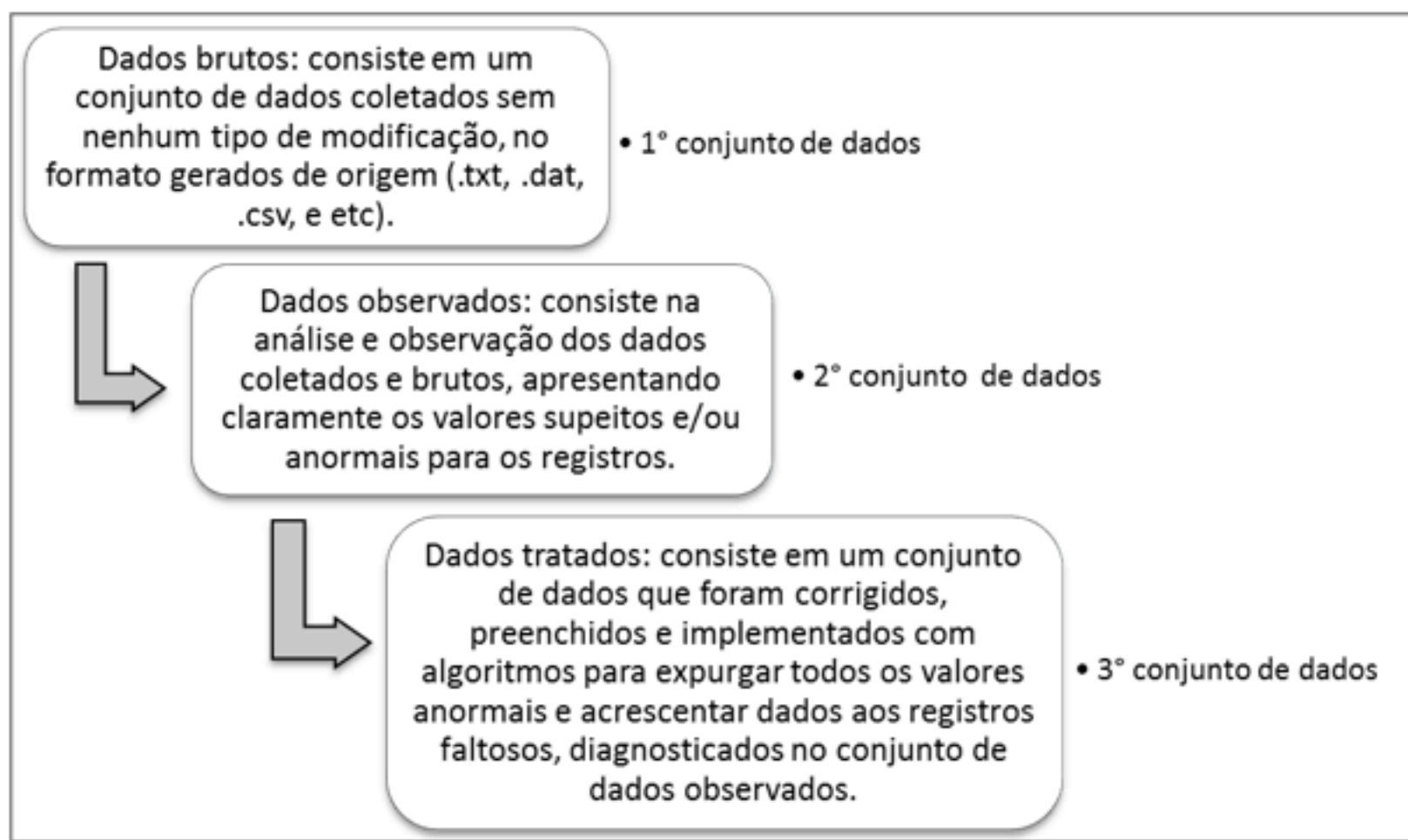
6. Massa de dados e registros

A massa de dados ou conjuntos de dados é o principal elemento para a correlação efetiva do teórico ao real observado na pesquisa e investigação científica. Para que esse conjunto de dados se aproxime o máximo possível do real, eles devem passar por um processo de análise.

A figura 3 mostra os três tipos de conjuntos de dados fundamentais para o desenvolvimento de uma pesquisa, que vai dos dados brutos, (coletados e sem nenhum tipo de tratamento), para os dados observados (as anormalidades são sinalizadas) até o desenvolvimento dos dados tratados, que expurga, preenche e corrige erros apresentados pelos dados observados.

Figura 3

Conjunto de dados para pesquisas. Fonte: Elaboração própria, 2016.



É importante que os três conjuntos de dados estejam disponíveis de forma remota para os todos os envolvidos, possibilitando mais agilidade de acesso e domínio dos dados. Tendo em vista a consistência das análises dos dados é de igual importância, ter a disponibilização da documentação que define os testes e critérios realizados para a determinação da massa de dados observados, bem como a documentação que define os procedimentos de substituição de dados errôneos ou faltantes (sistemáticas e procedimentos de computo e/ou algoritmos estabelecidos e suas fontes de referência técnico-científica consolidada).

Os conjuntos de dados devem ser registrados de 1 em 1 minuto (especialmente quando se trata de pesquisa), para assim, por exemplo, ter uma melhor identificação das modificações de sazonalidade e de respostas as alterações instantâneas.

7. Grandezas significativas para medição dentro de uma pesquisa e investigação científica

As grandezas medidas e entregues na hora da coleta são parte do conjunto de dados gerais de cada unidade, e que possuem peculiaridades e características diferentes. A seguir são relatadas quais as grandezas mais significativas de cada unidade, sendo elas: anemométrica e solarimétrica, sistemas de geração fotovoltaicos (rígido em terra, rígido flutuante, flexível em

8. Unidade solarimétrica

A tabela I mostra as grandezas mais significativas para o desenvolvimento das pesquisas que envolvem a unidade de medição solarimétrica, que devem ser medidas com frequência de medição de 1 Hz (uma medição por segundo) integrados em um minuto. Os três conjuntos de dados (brutos, observados e tratados) fazem parte do grupo de grandezas que devem ser entregues.

Tabela I
Grandezas e Variáveis solarimétricas.

Variável	Unidade
Data	Ano Mês Dia (AAAA MM DD)
Horário	Hora Minuto Segundo (HH:MM:SS)
Bateria	Tensão (V)
Irradiância global horizontal (IGH) – média	Watts metro quadrado (W/m ²)
Desvio padrão da Irradiância global horizontal (IGH)	Adimensional
Irradiância global horizontal (IGH) – mínima	Watts metro quadrado (W/m ²)
Irradiância global horizontal (IGH) – máxima	Watts metro quadrado (W/m ²)
Irradiância difusa horizontal (IDH) – média	Watts metro quadrado (W/m ²)
Desvio padrão da Irradiância difusa horizontal (IDH)	Adimensional
Irradiância difusa horizontal (IDH) – mínima	Watts metro quadrado (W/m ²)
Irradiância difusa horizontal (IDH) – máxima	Watts metro quadrado (W/m ²)
Irradiância direta normal (IDN) – média	Watts metro quadrado (W/m ²)
Desvio padrão da Irradiância direta normal (IDN)	Adimensional
Irradiância direta normal (IDN) – mínima	Watts metro quadrado (W/m ²)
Irradiância direta normal (IDN) – máxima	Watts metro quadrado (W/m ²)
Velocidade do vento – média	Metros por segundo (m/s)
Desvio padrão da velocidade do vento	Adimensional
Velocidade do vento – mínima	Metros por segundo (m/s)

Velocidade do vento – máxima	Metros por segundo (m/s)
Windvane - Direção do vento média	Graus (°)
Desvio padrão da direção do vento	Adimensional
Temperatura do ar	Graus celsius (°C)
Desvio padrão da Temperatura do ar	Adimensional
Temperatura do ar mínima	Graus celsius (°C)
Temperatura do ar máxima	Graus celsius (°C)
Pressão atmosférica	Milibar (mBar)
Desvio padrão da Pressão atmosférica	Adimensional
Pressão atmosférica mínima	Milibar (mBar)
Pressão atmosférica máxima	Milibar (mBar)
Umidade do ar	Porcentagem (%)
Desvio padrão da Umidade do ar	Adimensional
Umidade do ar mínima	Porcentagem (%)
Umidade do ar máxima	Porcentagem (%)
Acumulado de precipitação	Milímetros (mm)

Fonte: Elaboração própria, 2016.

9. Unidade anemométrica

A unidade anemométrica possui diversas grandezas medidas quais envolvem a caracterização do vento e suas peculiaridades. A tabela II traz a principais grandezas que auxiliam no estudo da modelagem da energia primária visando a exploração da fonte energética para o aproveitamento elétrico. Os três conjuntos de dados (brutos, observados e tratados) fazem parte do grupo de grandezas que devem ser entregues, em uma frequência de medição de 1 Hz integrados em um minuto.

Tabela II
Grandezas e Variáveis anemométricas.

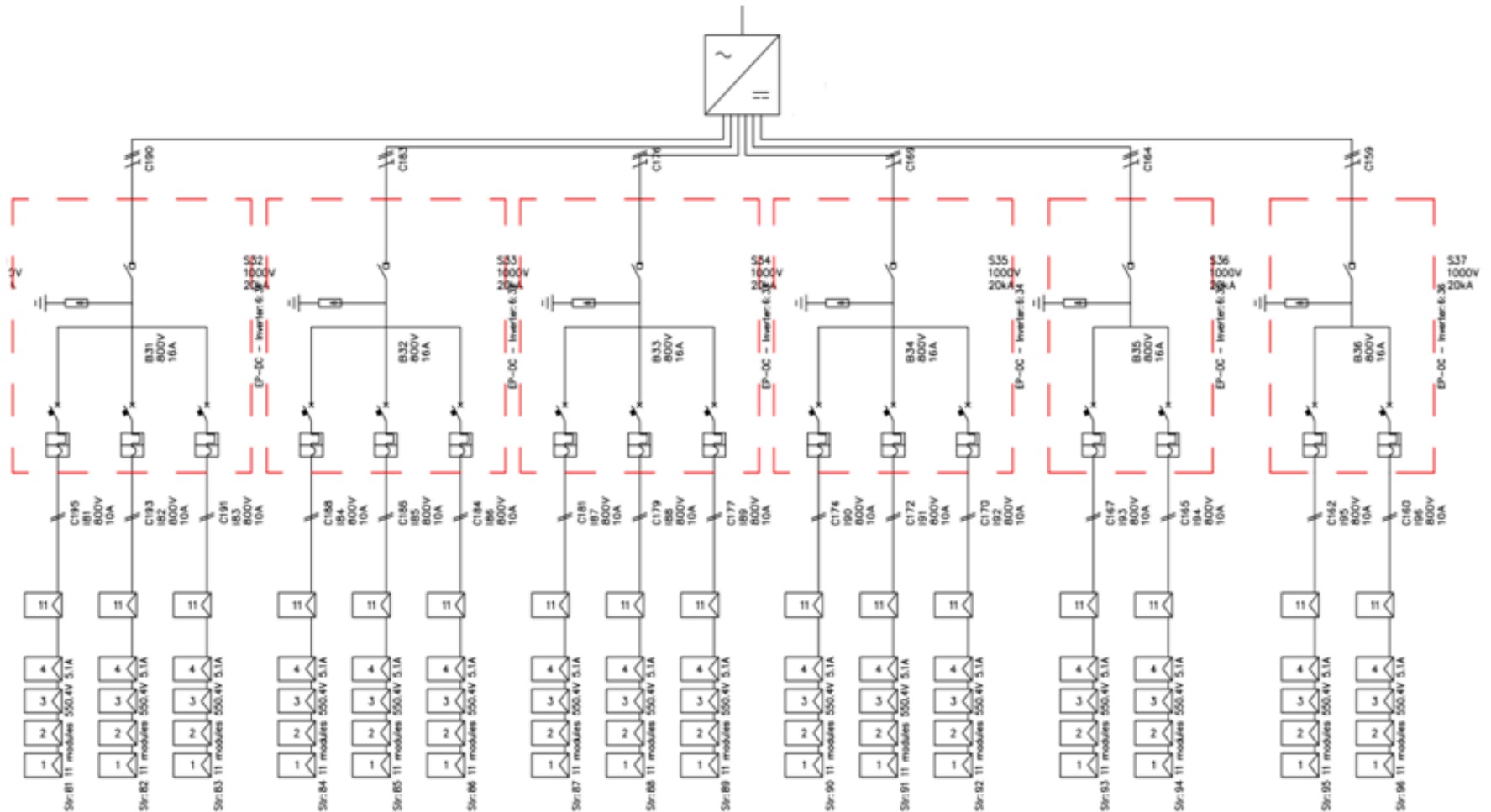
Variável	Unidade
Data	Ano Mês Dia (AAAA MM DD)

Horário	HH:MM:SS
Bateria	Tensão (V)
Velocidade do vento – média	Metros por segundo (m/s)
Desvio padrão da velocidade do vento	Adimensional
Velocidade do vento – mínima	Metros por segundo (m/s)
Velocidade do vento – máxima	Metros por segundo (m/s)
Windvane - Direção do vento média	Graus (°)
Desvio padrão da direção do vento	Adimensional
Temperatura do ar	Graus Celsius (°C)
Desvio padrão da Temperatura do ar	Adimensional
Temperatura do ar mínima	Graus Celsius (°C)
Temperatura do ar máxima	Graus Celsius (°C)
Pressão atmosférica	Milibar (mBar)
Desvio padrão da Pressão atmosférica	Adimensional
Pressão atmosférica mínima	Milibar (mBar)
Pressão atmosférica máxima	Milibar (mBar)
Umidade do ar	Porcentagem (%)
Desvio padrão da Umidade do ar	Adimensional
Umidade do ar mínima	Porcentagem (%)
Umidade do ar máxima	Porcentagem (%)
Irradiância solar global	Watts metro quadrado (W/m ²)
Desvio padrão da Irradiância solar global	Adimensional
Irradiância solar global mínima	Watts metro quadrado (W/m ²)
Irradiância solar máxima global	Watts metro quadrado (W/m ²)

10. Unidade de geração fotovoltaica

Devido ao caráter de pesquisa científica é necessário medir a energia gerada em diversos pontos, que abrangem especificidades e peculiaridades do sistema de medição e controle. Para cada sistema de geração fotovoltaica determina-se com prioridade a medição de cada array, obtendo assim, a energia gerada em cada array. Esse tipo de monitoramento permite uma caracterização do sistema de geração, além de outros benéficos, tais como, por exemplo, do controle minucioso desse sistema em caso de faltas e perdas ao longo do dia.

Figura 4
Exemplo de medição por de array. Fonte: Fonte própria, 2016.



A figura 4 apresenta o esquema de conexão da Usina Fotovoltaica de Painéis Flexíveis em Terra, nela verificasse um ponto de medição localizado no mesmo ponto onde está o inversor de frequência, esse fato ocorre devido às características construtivas da usina, na qual, as conexões do array se encontram justamente no inversor de frequência. Para as usinas de painéis rígidos normalmente o ponto de conexão das strings, ou array encontra-se nas strings boxes. O sistema deve conter equipamentos de acumulação em massa de dados como um datalogger, os dados devem ser disponíveis, como acima evidenciado, na base bruta, observados e tratados, descrevendo inclusive a metodologia e/ou o algoritmo de tratamento.

Algumas normas descrevem a importância do monitoramento de dados em sistemas fotovoltaicos tais como a norma IEC 61724 (1998): Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis, descreve as recomendações gerais de monitoramento e análise do comportamento elétrico de sistemas fotovoltaicos, e a norma IEC 62446 (2009): Grid connected photovoltaic systems – Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection, que determina a documentação e as informações mínimas que os usuários devem saber para a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Dentre os principais parâmetros e grandezas medidas em sistemas de geração fotovoltaica enquadram-se os descritos na Tabela III. A partir dos parâmetros dependentes diretamente da

irradiância solar, podem ser determinados (ver Tabela IV) e analisados o comportamento do sistema de geração.

Tabela III
Principais parâmetros de medição fotovoltaica.

Variável	Unidade	Precisão
Irradiância total no gerador PV ¹	(W/m ²)	Melhor que 5%
Temperatura ambiente à sombra ²	(°C)	Superior a 1°C
Temperatura da célula ³	(°C)	Superior a 1°C
Tensão do array no lado CC	(V)	Melhor que 1%
Corrente por array no lado CC	(A)	Melhor que 1%
Potência por array no lado CC	(W)	Melhor que 2%
Tensão na entrada do inversor no lado CC ⁴	(V)	Melhor que 1%
Corrente na entrada do inversor no lado CC ⁴	(A)	Melhor que 1%
Potência na entrada do inversor no lado CC ⁴	(W)	Melhor que 2%
Tensão por fase no lado AC ⁴	(V)	Melhor que 1%
Corrente por fase no lado AC ⁴	(A)	Melhor que 1%
Potência na saída do inversor no lado AC ⁴	(W)	Melhor que 2%
Fator de potência	-	-

Fonte: Elaboração própria, 2016.

1. A norma sugere que a posição do medidor de irradiância (piranômetro), deve ser representativa nas mesmas condições de irradiância de toda unidade geradora.
2. A norma sugere que a posição do medidor de temperatura, à sombra, deve ser representativa nas mesmas condições de irradiância de toda unidade geradora.
3. A norma sugere que os painéis fotovoltaicos medidos devem ser representativos as condições de temperatura de toda unidade geradora. Segundo a norma, a temperatura deve ser medida por meio de sensores posicionados nas costas dos painéis.
4. A norma sugere que para uma medição mais precisa sejam utilizados Wattímetros, principalmente para o lado CC, ou seja, a potência de entrada do inversor.

Tabela IV
Principais parâmetros calculados para sistemas fotovoltaicos.

Variável	Precisão
Disponibilidade dos dados medidos	(%)

Energia do gerador FV	(kWh)
Irradiação total	(kWh/m ²)
Energia no ponto de conexão	(kWh)
Eficiência do sistema	(%)
Produtividade do gerador	(kWh/kWp)
Produtividade de referência	(kWh/kWp)
Produtividade final	(kWh/kWp)
Perdas de geração	(%)
Perdas de BOS (Balance of System) ou Balanço do sistema	(%)
Desempenho global	(%)

Fonte: Elaboração própria, 2016

11. Unidade de geração eólica – aerogeradores

Sistemas de geração eólicos podem ser formados por um ou mais aerogeradores, logo as grandezas elétricas devem ser medidas em cada aerogerador de forma a ser consideradas medidas de geração intermediárias, além disso, a energia total gerada pelo conjunto de aerogeradores deve ser medida para analisar o comportamento total do sistema.

A tabela V relaciona as principais grandezas para monitoramento de geração em sistemas eólicos e seus principais parâmetros mensuráveis. É importante frisar que cada unidade geradora deve conter, ao menos, um sistema de medição, monitoramento, registro e armazenagem das grandezas descritas na Tabela V.

Tabela V
Principais parâmetros de medição eólica.

Grandeza	Unidade
Velocidade do vento ¹	(m/s)
Direção do vento ¹	(°)
Tensão por fase na saída do gerador AC	(V)
Corrente por fase na saída do gerador no lado AC	(A)
Potência ativa na saída do gerador no lado AC	(W)
Fator de potência	-

Frequência	(Hz)
Rotação	(rpm)

¹Na altura do cubo do aerogerador, necessita de Wind Vane correlato.
Fonte: Elaboração própria, 2016.

Esses pontos de medição são referentes a cada aerogerador, deve-se ter medição dos mesmos parâmetros na conexão de aerogeradores, ou seja, medições das mesmas grandezas no parque eólico.

Caso o sistema do aerogerador gere valores CC e posteriormente seja composta por um inversor que transforme a geração em AC, a tabela VI representa as principais grandezas de medição a serem consideradas (como base mínima a ser fornecida no conjunto de massa de dados).

Tabela VI
Parâmetros de medição em sistemas eólicos compostos por aerogeradores CC.

Grandeza	Unidade
Tensão no lado CC	(V)
Corrente no lado CC	(A)
Potência no lado CC	(W)
Tensão por fase no lado AC	(V)
Corrente por fase no lado AC	(A)
Potência na saída do gerador no lado AC	(W)
Fator de potência	-

Fonte: Elaboração própria, 2016

12. Conclusão

Conclui-se, portanto, que os conjuntos de dados – massa de dados (brutos, observados e tratados) são uma das ferramentas mais significativas para o desenvolvimento de um sistema piloto eólico-solar com unidades: fotovoltaico rígido em solo, fotovoltaico rígido flutuante, fotovoltaico Thin Film (flexível) em solo, fotovoltaico Thin Film(flexível) flutuante e eólico, e determinam e auxiliam a interação entre o teórico e o real observado.

É fundamental o acesso remoto destes conjuntos de dados pela pesquisa e todos os envolvidos na investigação científica, para assim viabilizar e favorecer o desenvolvimento dos processos investigativos vinculados. Assim como é de fundamental importância o acesso aos processos de tratamento e análise de dados realizados de modo que se garanta a consistência dos trabalhos de pesquisa.

É inquestionável que todas as medições e registros de dados, tanto de unidades geradoras quanto das unidades de medição, ocorram simultaneamente com frequência de aquisição de 1Hz (1 registro por segundo), intervalo de integração e registro de 01 minutos, com referência no global Positioning System (GPS) integrado, para garantir o sincronismo das medições à

referência horária UTC-3.

O sistema de medição fotovoltaico necessita do emprego de medição por array, devido à característica construtiva desses sistemas. Essa implementação permite uma análise minuciosa do comportamento do sistema, permitindo assim, caracterizar a energia gerada em concordância com os parâmetros da fonte primária que são medidos e integrados minuto a minuto.

Assim como para todos os equipamentos e unidades geradoras, é necessário a aquisição de dados de cada aerogerador e da composição dos aerogeradores, ou seja, do parque eólico implementado no projeto, medido segundo a segundo e integrados em um minuto.

Sugere-se a pesquisas sempre a inclusão de sistemas de medição e acúmulo de dados (massa de dados) no barramento principal desenvolvido e nos de escoamento secundário do sistema integrado.

Agradecimentos

À CESP por ser financiador dos ANEEL PE-0061-0043/2014, que possibilitou o desenvolvimento deste artigo. E também a equipe de pesquisadores do GEPEA/EPUSP e colaboradores que participaram direta e indiretamente na realização destes P&Ds ANEEL.

Referências bibliográficas

BELUCO, Alexandre; SOUZA, Paulo Kroeff de; KRENZINGER, Arno. A complementariedade no tempo entre as energias hidrelétrica e fotovoltaica. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC), UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2002.

OLIVEIRA, Ianuska Ramos. et al. Princípios básicos da instalação de uma estação solarimétrica – SONDA. Uma visão teórica e preliminar – parte I. In: ENCONTRO SULBRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Pelotas – Rio Grande do Sul, 2011.

IEA (International Energy Agency) – Expert Group Study on Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation. Nº 11. Wind Speed Measurement and use of Cup Anemometry. 1. Edition 1999.

LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento). Manual de avaliação técnico-econômica de empreendimentos Eólico-elétricos / Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Engenharia Eólica – Camargo Schubert. Curitiba, 2007.

GONÇALVES JR, Armando Albertazzi. Metrologia. Laboratório de Metrologia e Automatização - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

NREL; NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. WIND RESOURCE ASSESSMENT HANDBOOK - Fundamentals for Conducting a Successful Monitoring Program. Albany, 1997.

Nota Técnica 0013/2009 - Medição Eletrônica na Baixa Tensão – SRD / ANEEL de 28.01.2009.

BSRN, Baseline Solar Radiation Network – Quality Assurance of Database World Meteorological Organization - <http://www.bsrn.awi.de/>

BSRN; Baseline Surface Radiation Network. World Radiation Monitoring Center- Baseline Surface Radiation Network. Disponível em: < <http://bsrn.awi.de/> >.

1. Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (GEPEA/EPUSP), São Paulo, Brasil.

2. Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

3. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Faculdade de Tecnologia de Itaquera (FATEC), São Paulo, Brasil.

4. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus Ilha Solteira/SP (UNESP), São Paulo, Brasil.

*. Autor de correspondência

[Índice]

[No caso de você encontrar quaisquer erros neste site, por favor envie e-mail para [webmaster](#)]