

ANÁLISE COM FILTROS PARA DADOS DE TORRES METEOROLÓGICAS

Adriano Rodrigues de Paula – adrianordp@alu.ufc.br
Francisco Daniel Lima Silva – fdanielce@yahoo.com.br
Paulo César Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. O estado do Ceará se destaca no país por seu elevado potencial eólico e conta com uma rede de 76 estações meteorológicas automáticas, que proporcionam medições on-line de velocidade e direção do vento, radiação solar, temperatura, umidade, pressão atmosférica e precipitação, a uma altura de 10 m. O objetivo deste artigo é desenvolver uma ferramenta de análise dos dados coletados através de filtros e análises gráficas para contribuir com a identificação de falhas no sistema (sensores, transmissão, operação etc) ou no conjunto de dados. Neste artigo verifica-se a necessidade de melhoramento dos métodos de alimentação da torre e da transmissão dos dados das torres;

Palavras-chave: Coleta de Dados Meteorológicos, Identificação de Falhas, Tratamento de Dados

1. INTRODUÇÃO

1.1 Importância da utilização de dados de torres meteorológicas

Diversas áreas do conhecimento se utilizam dos dados de torres meteorológicas. Esses dados são coletados e armazenados pelas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs). Esses dados são úteis em aplicações práticas, como na estimativa do potencial eólico e solar de uma região, pois para isso utilizam-se do histórico de ventos, temperaturas e radiação solar. Assim como são úteis para fins teóricos, como na elaboração de modelos estatísticos que façam previsões específicas para o local de medição.

O trabalho de Magina (2007), afirma que as PCDs constituem-se em uma fonte de dados meteorológicos para aplicação no projeto de linhas de transmissão. Entretanto, é preciso realizar primeiro a formatação, o controle de qualidade e o tratamento estatístico desses dados antes de sua utilização com os procedimentos de dimensionamento dos cabos, isoladores, suportes e outros componentes das linhas de transmissão, conforme especificado na norma NBR 5422.

No trabalho de Nóbrega *et al.* (2011) podemos observar que os dados coletados pelos sensores da Rede Hidrometeorológica da ELETROBRAS FURNAS, conforme Resolução 396/1998 da ANEEL, são usados para previsão e acompanhamento de cheias e escassez, suporte à programação da geração hidráulica e avaliações climáticas para atendimento a Licenças Ambientais.

No trabalho de Jusevicius *et al.* (2011) é defendida a utilização das PCDs para o monitoramento meteorológico ininterrupto para sistemas de transmissão de energia elétrica. A partir do monitoramento da região o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) pode acompanhar as condições de tempo de forma sistemática, a fim de garantir condições mais seguras para o Sistema Interligado Nacional (SIN).

1.2 A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme)

A Funceme é uma das principais responsáveis por pesquisas e informações de meteorologia e recursos hídricos no Ceará. Esta é uma fundação criada e mantida pelo governo do estado do Ceará desde 1974.

O estado do Ceará se destaca no país por seu elevado potencial eólico e solar, característica que é evidenciada nos leilões de energia com grande número de projetos contratados. Estes, somados aos projetos já em operação, conduzem o estado à posição de líder nacional.

O estado do Ceará conta, até meados de 2012, com a rede operacional de 76 estações meteorológicas automáticas mantidas pela Funceme mostradas na Fig. 1. Suas PCDs disponibilizam dados para todas as variáveis para todas essas torres. Esses dados são validados pelo período correspondente ao ano de 2005 ao presente e podem ser encontrados online no site da Funceme. A maioria dessas estações foi instalada em 2006, mantendo desde então um registro quase contínuo das variáveis de velocidade e direção dos ventos, temperatura, radiação solar, precipitação, umidade e pressão atmosférica.

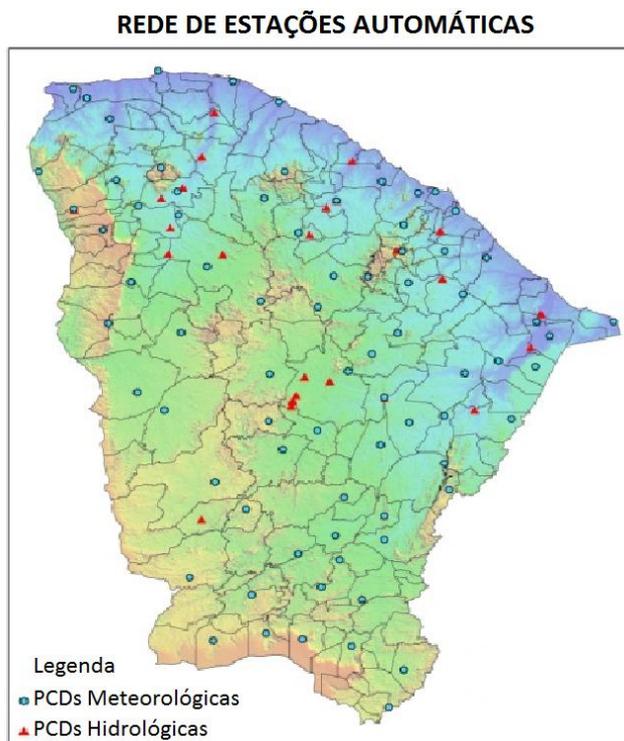


Figura 1- Localização física das PCDs do estado do Ceará (Silva, 2011).

O sistema de coleta e armazenamento de dados é composto de um datalogger modelo CR23X de fabricação Campbell Scientific, que dispõe de vinte e quatro entradas analógicas e quatro canais de pulso, além de oito canais digitais de entrada/saída. Programas e dados são armazenados em memória flash SRAM – Static Random Access Memory de 1MB, sendo que há um módulo de memória adicional de 4MB para expandir a capacidade de armazenamento (Campbell, 2000).

As torres meteorológicas coletam dados de 15 em 15 minutos e possuem a opção para selecionar entre sistemas de transmissão via satélite ou via telefonia móvel.

A Funceme utiliza da transmissão via satélite. Esse método de transmissão é limitado pela quantidade e frequência de dados transmitidos, que pela disponibilidade do satélite só são coletados de três em três horas. Para enviar o dado para o satélite realiza-se a média de 3 horas de coleta de dados e isso causa uma grande perda de resolução. A transmissão por satélite também está sujeita a falhas pela inconstância do sinal recebido do satélite que nem sempre sincroniza corretamente com a estação.

A transmissão via telefonia móvel necessita de uma concessionária que ofereça cobertura em todo o estado do Ceará com uso do sistema TDMA.

1.3 Problema das falhas em séries de dados

Diversas linhas de estudo utilizam séries de dados, seja qual for o objetivo final. No trabalho de Bucene (2012) utilizaram-se técnicas de Mineração de Dados para possibilitar a previsão de ocorrência de geada e deficiência hídrica para culturas de café e cana-de-açúcar.

No entanto, tem sido verificado que o conjunto dos equipamentos destinados ao processamento dos dados meteorológicos está sujeito a eventuais falhas. Os erros presentes nas séries de dados são comuns em longo ou curto prazo. Esses erros podem se originar das falhas dos equipamentos por falta de manutenção, calibração imprecisa ou não calibração de instrumentos, erro na coleta dos dados feita pelo sensor, falta de alimentação elétrica, falha na transmissão de dados ou o não cumprimento de todas as exigências estabelecidas para o bom funcionamento das PCDs.

Os eventuais problemas de curto prazo podem ocorrer por interferência externa, falha repentina dos sensores ou dos demais componentes da PCD ou pela falta de sincronia durante a transmissão dos dados via satélite. Já os problemas de longo prazo são causados principalmente pela falta de manutenção da PCD ou pela perda dos dados transmitidos.

As falhas ou lacunas no banco de dados prejudicam os estudos de previsão que necessitam de dados contínuos e confiáveis. Podem-se desenvolver métodos para preencher essas lacunas utilizando-se redes neurais, por exemplo. O estudo de métodos para o preenchimento de dados em séries temporais é de grande importância por contribuir para o avanço de pesquisas na compreensão do comportamento da variável climática estudada. Após preencher as lacunas da série temporal pode-se utilizá-la para melhorar a qualidade de previsões. Previsões mais precisas têm por objetivo dar

suporte ao planejamento e à operação integrada dos parques eólicos ou solares com as usinas convencionais de produção de energia elétrica (Silva, 2011).

Esses dados apresentam algumas inconsistências que podem ser quantificadas e analisadas mais profundamente com o auxílio de comparações e filtros programados. O resultado desse processo de identificação de erros pode ser utilizado para o monitoramento das torres ou para ajudar na escolha de um longo período de acertos para trabalhar-se com previsões desta variável evitando o uso de técnicas de preenchimento de séries temporais.

A análise contínua das falhas dos dados coletados ajuda a identificar sensores defeituosos, processos de comunicação problemáticos e a programar manutenção específica para correção das falhas percebidas.

A Fig. 2 exemplifica a qualidade dos dados fornecidos anualmente por um sensor. O sensor analisado é o de temperatura referente à cidade de Acaraú, no Ceará, por todo o ano de 2006. Os erros causados por valores absurdos, ou seja, fora da faixa de aceitação do filtro, são representados pelo campo “filtrados”. Os erros causados por falta de dados, seja por falha de transmissão seja por não leitura do dado pelo sensor, estão representados pelo campo “faltosos”. Os dados válidos são aqueles que se seus valores estão dentro do conjunto permitido pelo filtro.

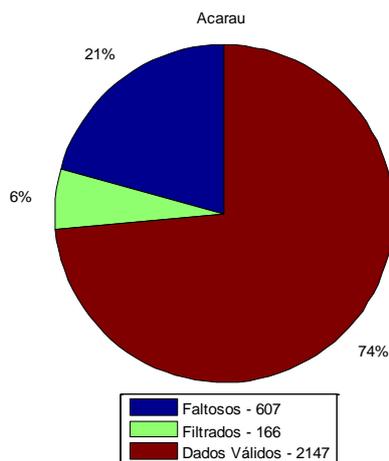


Figura 2- Gráfico em pizza para as falhas dos dados de temperatura da cidade de Acaraú no ano de 2006 – CE.

Verifica-se que a maioria dos dados foi validada pelo método adotado, entretanto muitos dados foram perdidos e uma parcela considerável foi filtrada.

Os dados válidos não são obrigatoriamente corretos, pois é possível que eles tragam erros consigo que não são acusados pelo filtro. Isso pode ocorrer quando a torre está em um ambiente inadequado para a utilização do sensor. Por exemplo, a presença de muitas árvores ou construções interfere diretamente nas leituras de direção ou de velocidade do vento.

Pode-se analisar o comportamento da curva de temperatura anual oferecida pela PCD de Acaraú sem a aplicação do filtro de temperatura (Fig. 3). Por essa análise são notáveis os valores que não correspondem à realidade do estado do Ceará.

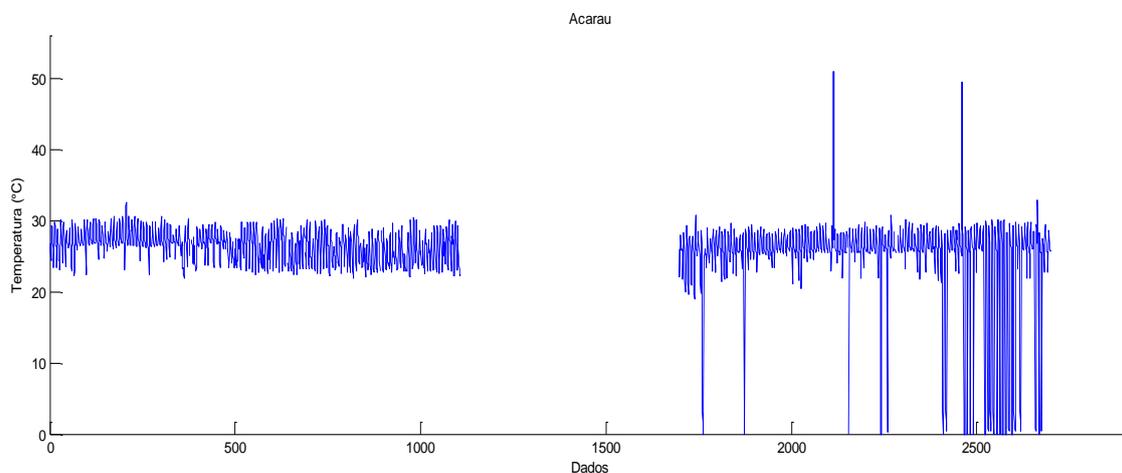


Figura 3- Dados brutos de temperatura anuais, em °C, para Acaraú-CE em 2006. Essa série representa exatamente o que é oferecido pela PCD e deixa claro a necessidade de um filtro para o estudo coerente dos dados.

A Fig. 4 demonstra os dados de temperatura, após tratamento, para a cidade de Acaraú no estado do Ceará no ano 2006, nela podem-se observar uma lacuna nos dados de temperatura. Esta lacuna é resultado das duas primeiras fases de tratamentos dos dados onde e esta explicita o momento em que os dados não foram registrados juntamente com a atuação do filtro.

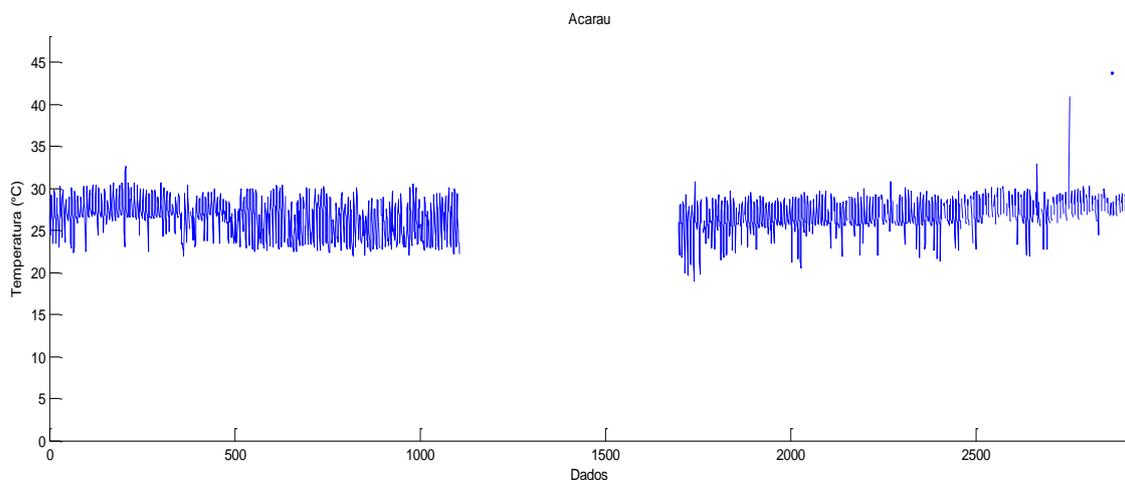


Figura 4- Dados válidos de temperatura anuais, em °C para Acaraú-CE em 2006. Essa figura exemplifica a atuação do filtro que retirou a grande maioria das falhas aparentes oferecidas pela PCD.

A Fig. 5 explicita melhor os intervalos entre erros e acertos dos dados, sendo que os períodos de acerto correspondem o nível superior e os períodos de erro correspondem ao nível inferior. Pode-se também fazer uma comparação visual com a Fig. 3 e observar a similaridade das figuras no que diz respeito à continuidade da série de ventos.

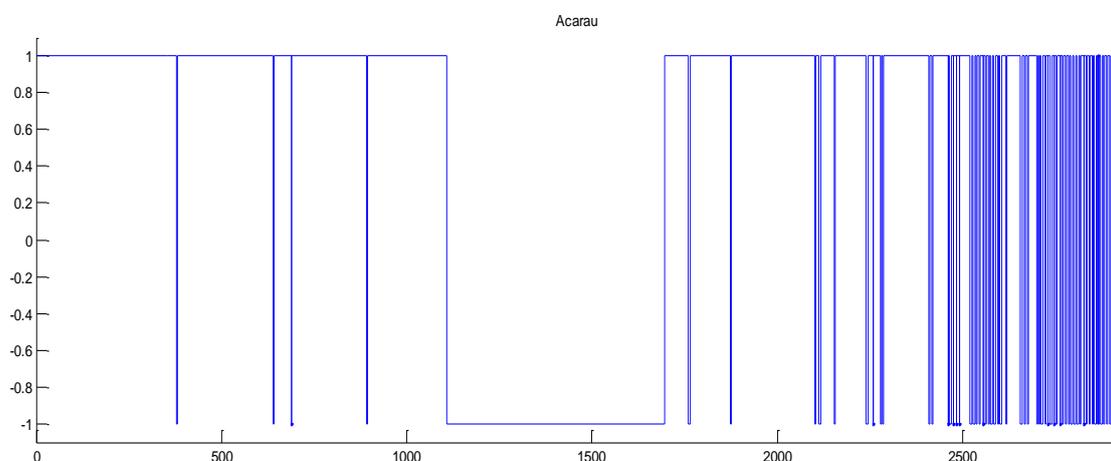


Figura 5- Binário de identificação de erros na série temporal de temperatura de Acaraú-Ce em 2006. Cada reta em -1 significa a presença de um intervalo de erro e cada reta em 1 indica uma sequência de dados corretos.

Pode-se observar, pelas Fig.2, Fig. 3, Fig.4 e Fig. 5 que faltaram 21% dos dados anuais e que houve uma atuação do filtro em 6% dos dados anuais, indicando que estes estavam situados na faixa de corte do filtro, que é para temperaturas inferiores a 15°C ou superiores a 45°C.

A forma de atuação dos filtros e seus respectivos valores de corte foram definidos com a ajuda de profissionais que trabalham com os dados das torres meteorológicas no Ceará. Fez-se a programação dos filtros de acordo com o descrito por estes profissionais.

Através da aplicação de filtros simples e análises detalhadas destes gráficos este estudo se propõe a identificar erros nos dados das PCDs, bem como identificar os seus possíveis causadores. O resultado dos tratamentos dos dados das torres meteorológicas tem como finalidade obter dados mais confiáveis e mais organizados. Esse trabalho também serve de suporte a um trabalho de previsões de velocidade do vento e de radiação por redes neurais.

2. METODOLOGIA

2.1 Adaptação e leitura dos arquivos txt.

Os arquivos brutos disponibilizados das estações meteorológicas são disponibilizados no formato txt e têm as seguintes informações: número da torre, ano, mês, dia e hora da leitura e o dado captado pelo sensor. Cada sensor possui um arquivo em txt e cada torre possui sete sensores: velocidade do vento, direção do vento, temperatura do ar, radiação solar, precipitação atmosférica, umidade e pressão atmosférica.

Elaborou-se uma interface gráfica para organizar esses dados em forma de matriz. Como resultado, obtém-se, para cada cidade, um arquivo com todas as leituras de todas as variáveis já com as lacunas identificadas. Essas matrizes representam os dados das PCDs sem a aplicação de filtros.

2.2 Identificação das falhas

As falhas identificadas foram classificadas em dois tipos. Um dos tipos consiste na simples ausência dos dados medidos. Com o objetivo de identificar o caso de ausência de dados elaborou-se um ano padrão. O segundo tipo é caracterizado por erros por valores absurdos para determinados instantes de medição, onde aplicam filtros específicos nas variáveis para identificá-los.

2.2 Formulação do ano padrão

O chamado ano padrão é uma sequência correta e completa das horas de leituras dos sensores. O software desenvolvido compara o ano padrão com os valores lidos e preenche o ano padrão com a leitura correspondente do sensor. Quando uma data presente no ano padrão não tiver um correspondente na sequência dos dados fica-se uma lacuna no preenchimento do ano padrão e esta é identificada como uma falha. A Tab. 1 exemplifica a utilização do ano padrão:

Tabela 1. Exemplo de comparação de uma sequência de dados de uma PCD com a sequência do ano padrão.

Dados da PCD					Matriz Final				
					Ano Padrão				Dado (°C)
Dia	Mês	Ano	Hora	Dado (°C)	Dia	Mês	Ano	Hora	
01	01	2010	00	24,5	01	01	2010	00	24,5
01	01	2010	03	-	01	01	2010	03	“vazio”
01	01	2010	06	26,8	01	01	2010	06	26,8
01	01	2010	12	30,0	01	01	2010	09	“vazio”
01	01	2010	15	200,1	01	01	2010	12	30,0
01	01	2010	18	27,1	01	01	2010	15	200,1

Nota-se na Tab. 1 que o ano padrão é predefinido com a sequência cronológica correta. A PCD pode vir sem o dado do sensor (leitura das três horas de 01/01/2010) ou até mesmo sem as informações da leitura (nota-se que não existe o vetor para a leitura das nove horas de 01/01/2010). A comparação do ano padrão despreza valores absurdos. Ela somente põe os dados em ordem e os adicionam ao ano padrão criando uma matriz final. Essa matriz final representa os dados brutos disponibilizados na PCD. Os filtros são aplicados na matriz final.

2.3 Aplicação de filtros

Cada grandeza estudada possui um filtro específico para identificar falhas por absurdos, como por exemplo, dados de radiação solar a noite e rajadas de vento muito fortes, estes filtros são específicos por sensor e de acordo com as características climáticas da região em estudo.

Pode-se aplicar o filtro de temperatura na matriz final do exemplo da Tab. 1. A diferença será que o dado das quinze horas de 01/01/2010 será convertido para “vazio” também.

3. RESULTADOS

Tomou-se como exemplo a cidade de Catarina-CE para elaborarem-se as análises dos erros, pois esta possui séries de dados melhores de serem visualizadas além de uma boa quantidade de dados válidos após o tratamento em relação às outras cidades. O que será observado para essa cidade também pode ser observado nas demais cidades sem prejuízo à generalização.

A Fig. 6 exibe dois gráficos em pizza. Um para velocidade de vento e outro temperatura do ar para a cidade de Catarina durante todo o ano de 2010. Cada gráfico relaciona proporcionalmente os dois tipos de falhas com os dados válidos.

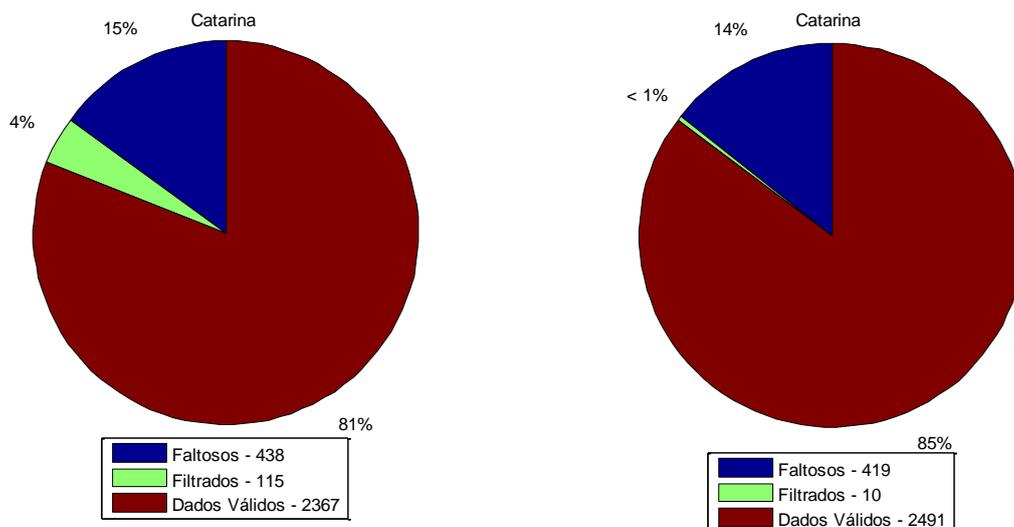


Figura 6- Gráficos de quantificação de erros em Catarina-CE em 2010. Erros para a velocidade do vento à esquerda, e erros para temperatura do ar à direita.

Analisando o resultado da função utilizada para obter-se a Fig. 6 é possível fazer diversos estudos para classificar a qualidade de dados. No exemplo ilustrado compararam-se duas variáveis diferentes para a mesma cidade no mesmo período do ano. Observa-se que houveram menos dados filtrados e menos dados faltosos para a temperatura. Com esse estudo preliminar observa-se que os dados de temperatura estão em melhor situação que os dados de velocidade do vento para este ano nessa cidade.

Deve-se perceber que se o campo de dados filtrados estiver muito grande, provavelmente o sensor está com problemas, desenergizado ou o processo de transmissão está danificando os dados. E a falta de manutenção pode fazer com que esse erro se acumule com o tempo.

Se o campo de dados faltosos for muito representativo, possivelmente existe um erro na comunicação ou até mesmo no próprio sensor.

A mesma análise pode ser feita para os demais sensores para todas as cidades. De posse dos resultados dessas análises, observa-se que esse tipo de erro é bastante comum e que muitas cidades possuem um número de falhas muito grande. A Tab. 2 indica as estatísticas que identificam a quantidade de leituras persistentes para o estado do Ceará como um todo.

Tabela 2. Porcentagem de dados válidos das para cada um dos sensores para todo o estado do Ceará do ano de 2006 ao ano de 2010.

ANO	CEARÁ (%)							
	Temperatura	Velocidade	Umidade	Radiação	Direção	Pressão	Precipitação	TOTAL
2006	42,4	38,8	43,8	22,9	45,3	25,8	44,5	37,6
2007	36,4	31,2	38,6	29,2	40,6	27,1	39,7	34,7
2008	40,1	36,3	40,7	34,2	44,7	28,9	43,9	38,4
2009	63,5	49,9	65,4	55,9	73,4	25,6	72,3	58,0
2010	42,5	32,8	45,0	38,1	49,6	16,3	49,7	39,1
TOTAL	45,0	37,8	46,7	36,1	50,7	24,7	50,0	41,6

A Tab. 2 resume os dados válidos para o Ceará. Podem-se observar o histórico dos dados de cada sensor por ano para todo o estado cearense nessa tabela. Esta também trás informações como total de dados válidos por sensor, por ano ou por todas as PCDs disponíveis.

O Ceará conta com apenas 41,6% dos dados lidos pelas torres meteorológicas da Funceme. Algumas variáveis possuem pouquíssimos dados válidos, como a pressão. Variáveis de fundamental importância para implantação de parques solares ou eólicos, como velocidade do vento, radiação e temperatura, possuem menos da metade dos seus dados validados pelo método aplicado. Isso revela uma fragilidade na tomada de decisão de um estudo realizado com esses dados.

A Fig. 7 exibe os gráficos binários para os erros na cidade de Catarina durante o período de 2010, um para velocidade do vento e outro para temperatura. Os erros ficam mais bem representados nessa figura, onde se podem fazer comparação de períodos de leitura dos dados. Assim, é fácil ver quando existem falhas isoladas ou alternadas na série de dados. Também é melhor de visualizar um longo período de falhas ou de dados válidos.

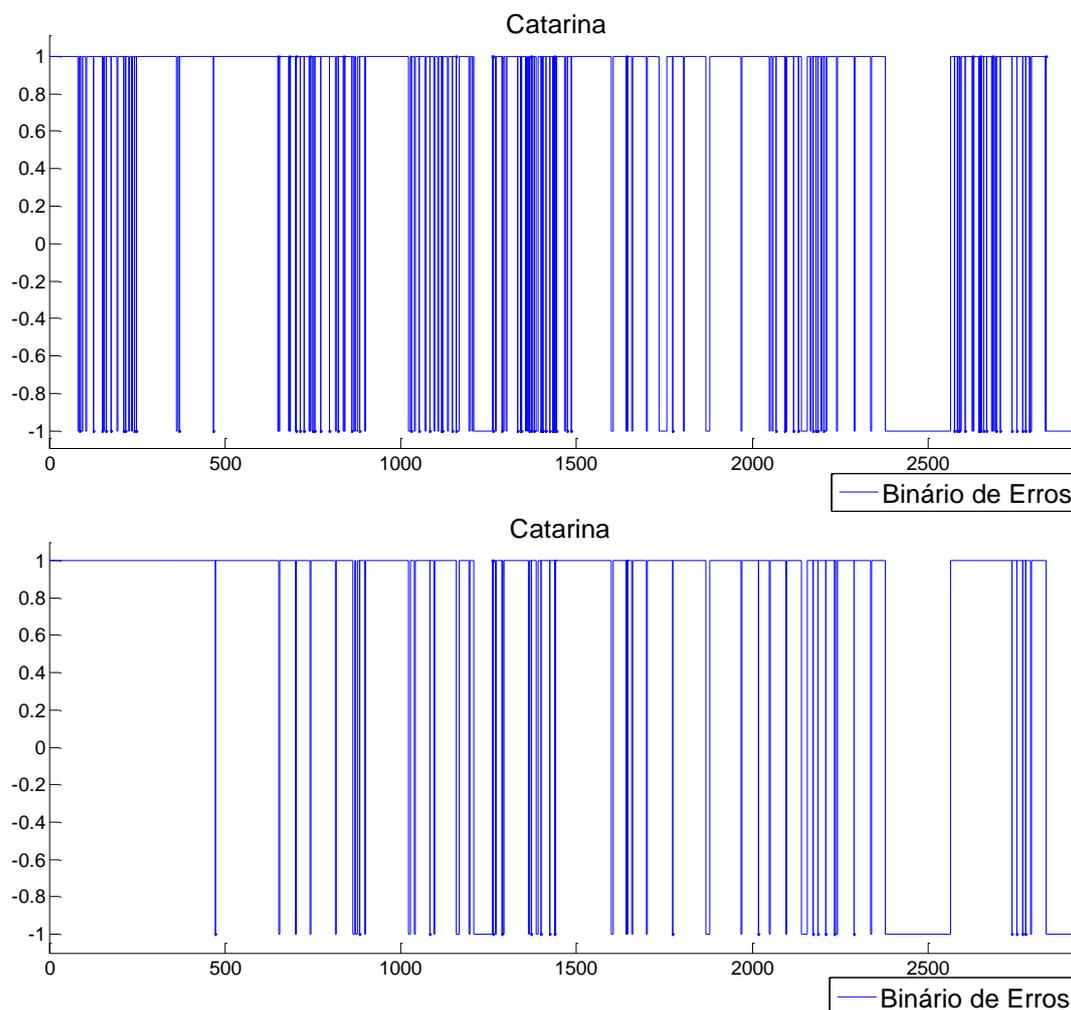


Figura 7- Gráficos binários para falhas encontradas nas leituras das variáveis de velocidade do vento, campo superior, e de temperatura, campo inferior. Cada reta em -1 significa a presença de um intervalo de erro e cada reta em 1 indica uma sequência de dados corretos.

Através de comparações entre estes gráficos pode-se observar que existem muitos períodos de falhas coexistentes entre as leituras das duas variáveis. Esse período de falhas é observado não só entre essas, mas em todas as variáveis no domínio da PCD. Os dados coletados pelos sensores podem ter sido perdidos em alguma etapa da transmissão dos dados ou então a torre estava sem alimentação elétrica. É pouco provável que todos os sensores tenham falhado ao mesmo tempo. Em algumas cidades esse período de falhas em todos os sensores se estende por quase um ano inteiro.

Os gráficos pelo estudo completo possuem várias falhas coincidentes de erros para todos os sensores. Porém, verifica-se pela Fig. 7 que o sensor de velocidade do vento possui mais indicadores de falhas que o de temperatura. Isso também pode ser observado analisando a Fig. 6, onde se verifica que existem menos dados válidos de velocidade do vento. Ainda comparando os resultados da Fig. 6 com os da Fig. 7, verifica-se que a porcentagem de dados faltosos é praticamente igual para as duas variáveis e que a ação do filtro na velocidade do vento foi maior.

Logo, a curva da Fig. 7 para a velocidade do vento é essencialmente diferente da curva de temperatura devido à atuação do filtro.

4. CONCLUSÃO

Nesse artigo se propôs a analisar dados meteorológicos para o estado do Ceará disponibilizados pela Funceme. Aplicando-se filtros e ferramentas gráficas para identificar os principais tipos de falhas existentes nas PCDs.

De posse dessas análises, pôde-se identificar a presença de falhas simultâneas em todos os sensores de uma estação. Isso reflete em um problema na alimentação ou na transmissão, pois se entende que a torre como um todo estava desenergizada ou não obteve sucesso no momento de transmitir os dados coletados.

As PCDs fornecem informações muito importantes para as diversas áreas de estudo e precisam ser monitoradas constantemente para serem capazes de fornecerem dados melhores. O monitoramento em tempo real dos dados evita que os períodos de erro se prolonguem, pois ao sinal de uma falha nos equipamentos pode-se providenciar manutenção técnica ao local e ao sinal de uma falha na transmissão podem-se descarregar os dados diretamente da memória da PCD.

O método de transmissão via satélite pode ser modificado para o método de transmissão via telefonia móvel, que já está disponível no datalogger, buscando solucionar o problema de transmissão, porém essa solução depende da viabilidade econômica e de uma boa cobertura da rede. Pode-se também utilizar um datalogger mais sofisticado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Funceme pelos dados utilizados e ao CNPq pela bolsa concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Bucene, L. C., L. H. A. Rodrigues, C. A. A. Meira, 2002. Mineração de Dados Climáticos para Previsão de Geadas e Deficiência Hídrica para as Culturas do Café e da Cana-de-Açúcar para o Estado de São Paulo, EMBRAPA, ISSN 1677-9274, documento 20.
- CAMPBELL SCIENTIFIC INC, 2000. CR23X Micrologger: A portable, rugged, powerful data acquisition system. Logan, Utah, USA.
- Castro, N. S. B., 2008. Assimilação de Dados das Estações Meteorológicas Automáticas da Funceme, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- Jusevicius, M. A. R., Beneti, C. A. A., Duquia, C. G., Leite, E. A., 2011. Monitoramento Meteorológico e Alerta das Condições de Tempo Severo no Tronco de 765 kv no Paraná e em São Paulo, Simepar. XXI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Florianópolis.
- Magina, F. C., 2007. Aquisição Automática e Tratamento de Dados Meteorológicos Aplicáveis ao Projeto e Operação de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica, Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Itajubá.
- Nóbrega, A. R., Silva, N. C., Araújo, O. F., 2011. Rede Hidrometeorológica Da Eletrobrás Furnas Desafios Enfrentados No Projeto E Implementação Da Infraestrutura, ELETROBRAS FURNAS S/A, XXI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Florianópolis.
- Silva, F. D. L., Carvalho, P. C. M., Leão, R. P. S., Costa, A. A., 2011. Aplicação de Redes Neurais para o Preenchimento de Falhas em Séries de Dados de Velocidade de Vento, XXI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Florianópolis.

DATA ANALYSIS OF METEOROLOGICAL TOWER

Abstract. *The data acquisition of meteorological measurements has great importance for different application areas. Knowing the climate is an important step towards to the best use and serves to explore the characteristics of a region, prevent disasters and development of projects. The objective of this work is to develop a tool for data analysis and help identify system failures. It was used filters and images to identify the main types of failures. The state of Ceará stands out in the country for its high wind potential. Ceará has a network of 76 automatic weather stations, which provide online measurements of wind speed and direction, among other variables, at a height of 10 m. It was observed that it is necessary improve the power supply circuit and the transmission system of meteorological towers.*

Key words: *Meteorological Data Collection, Failure Identification, Data Treatment*