

# Ferramenta Computacional para Análise, Quantificação e Qualificação da Cintilação Luminosa

Anésio de Leles F. Filho (UnB), Thiago F. do Prado (UnB), Roberto A. Monteiro Junior (UnB), Onivaldo A. Fernandes (Eletronorte) and Marcos Garcia da S. Pinto (Eletronorte)

**Abstract — Este trabalho visa apresentar uma ferramenta computacional criada a partir da linguagem de programação do MATLAB, para a análise das cintilações luminosas. A sua aplicação permite que bancos de dados formados por amostras dos mais variados tipos de instrumentos de medição, sejam caracterizados, analisados e interpretados segundo o procedimento de rede publicado pelo ONS. Indubitavelmente, esta ferramenta tende a consolidar-se como uma metodologia de grande utilidade para concessionárias, universidades e profissionais interessados na quantificação e qualificação das cintilações luminosas.**

**Palavras-Chaves — Qualidade da Energia Elétrica, Cintilação Luminosa, Flicker, Pst e Plt, Quantificação e Qualificação.**

## I. INTRODUÇÃO

Hoje, a crescente utilização de equipamentos oriundos dos avanços na área de eletrônica de potência, tem propiciado redução no consumo de energia. Todavia, estes mesmos dispositivos podem provocar degradação no sinal da tensão, despertando um maior interesse dos especialistas para o estudo dos fenômenos ligados a qualidade da energia elétrica. Dentre eles, a flutuação de tensão vem recebendo um importante destaque, sobretudo por ter a capacidade de se propagar de um ponto ao outro da rede, e assim atingir um grande número de usuários, simultaneamente [1].

No estudo das flutuações de tensão, a abordagem da cintilação luminosa, ou simplesmente *flicker*, tornou-se o principal foco de investigação devido ao fato desta trazer incômodo direto ao ser humano.

Diferentes normas internacionais, bem como o procedimento de rede do ONS, apresentam limites aos parâmetros que caracterizam a cintilação luminosa. Estes índices, conhecidos como Pst (*short-term probability*) e Plt (*long-term probability*), são indicadores de severidade de flicker de curto e longo prazo, respectivamente, e determinados pelo método padrão (internacional) de medição.

---

Anésio de Leles Ferreira Filho, Thiago F. do Prado e Roberto A. Monteiro Junior estão com o departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, UnB (emails: [leles@ene.unb.br](mailto:leles@ene.unb.br), [titeletrica@gmail.com](mailto:titeletrica@gmail.com) e [monteiro.roberto@gmail.com](mailto:monteiro.roberto@gmail.com)).

Onivaldo Antonio Fernandez e Marcos Garcia da Silva Pinto são Engenheiros das Centrais Elétricas do Norte do Brasil – ELETRONORTE (emails: [onivaldo@eln.gov.br](mailto:onivaldo@eln.gov.br) e [marcos.garcia@eln.gov.br](mailto:marcos.garcia@eln.gov.br)).

Há ainda de se ressaltar que, atualmente, encontra-se no mercado uma gama de modelos de instrumentos capazes de medir a cintilação luminosa em conformidade com os padrões internacionais. Porém, no que diz respeito ao tratamento estatístico e a análise dos dados coletados, segue incipiente o número de instrumentos voltados a este fim.

Nesse sentido, ergue-se a idéia do desenvolvimento de uma ferramenta computacional dedicada à análise e a qualificação da cintilação luminosa. Para tanto, formulou-se um programa baseado na linguagem de programação do MATLAB, capaz de analisar as amostras coletadas, segundo o procedimento de rede do ONS.

A partir do programa computacional é possível verificar quão determinante será a frequência de aquisição das amostras sobre a quantificação dos dados. Da mesma forma, a ferramenta permite a avaliação da existência ou não de similaridade entre fases e entre dias de medição, promovendo uma investigação sobre a necessidade ou não de longas campanhas de medição.

Encontram-se ainda disponíveis algoritmos que viabilizam uma análise de distribuição no tempo das amostras e também a comparação dos indicadores com os limites das normas.

Os resultados são ilustrados através de gráficos e das seguintes estatísticas: valores máximo e mínimo, médias aritméticas e quadráticas, desvio padrão e valores com probabilidades de 95% e 99% de não serem excedidos.

Este trabalho é de importância evidente, tendo considerado que o conhecimento do comportamento de fenômenos como o flicker, culmina em ações que poderão minimizar os danosos efeitos do mesmo sobre o sistema de potência, bem como preparar os interessados para uma nova era onde a nova legislação voltada para a qualidade da energia, provavelmente exigirá, monitoração e acompanhamento na sua rede elétrica.

## II. CINTILAÇÃO LUMINOSA

A cintilação luminosa é a variação do fluxo luminoso emitido por uma lâmpada sob o efeito de tensões flutuantes. A intensidade deste efeito pode variar desde uma simples percepção a uma situação de incômodo, desconforto ou irritação visual [2].

Ela está diretamente relacionada com a sensibilidade e a reação de cada pessoa. Este fenômeno é um estudo com base em resultados de experimentos baseados na fisiologia humana,

os quais tratam o conjunto lâmpada/olho/cérebro como um sistema neurofisiológico complexo e não-linear. A intensidade da perturbação causada pela cintilação luminosa depende principalmente da amplitude, da frequência e do tempo de exposição às flutuações [1], [2] e [3].

A cintilação afeta os indivíduos de maneira diferente. Por esta razão, a avaliação é feita levando em conta a percepção média testada em várias pessoas. Observou-se ainda que em ambientes pouco iluminados o efeito da cintilação é mais perceptível. Do ponto de vista fisiológico, mesmo quando pouco frequentes, a persistência dos estímulos visuais pode levar a uma sensação de desconforto devido à capacidade de memorização do cérebro. Esta sensação depende do tempo decorrido entre flutuações subseqüentes e da intensidade das mesmas [1], [2] e [3].

A avaliação do fenômeno, a partir das flutuações de tensão na rede é realizada fazendo-se uso do protocolo de quantificação da severidade da cintilação luminosa, idealizado pela UIE/IEC. A utilização de tal procedimento norteia o método padrão de medição.

Baseado neste método quantifica-se a flutuação de tensão através dos indicadores Pst e Plt. Ambos são representações estatísticas do grau de irritação humano. O Pst é tomado a partir de um período de observação de dez minutos, caracterizando, assim, os principais processos industriais causadores de *flicker*. Um valor de Pst igual a 1pu é representativo do limiar de percepção do olho humano. A avaliação da severidade desse fenômeno pelo método de curta duração é, adequadamente, empregada quando se realiza a análise de distúrbios causados por fontes individuais. Quando da existência de várias fontes de perturbação, ou cargas com longos e variáveis ciclos, torna-se necessária e conveniente uma análise criteriosa através do índice de severidade de *flicker* de longa duração ou Plt. Trata-se da média cúbica de doze valores consecutivos de Pst obtidos de registros contínuos, o que correspondente a uma janela de duas horas de medição. [1], [2] e [3].

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} P_{STk}^3} \quad (1)$$

De acordo com o procedimento de rede publicado pelo ONS, os instrumentos de medição deverão fornecer resultados de Pst para cada uma das três fases, durante sete dias consecutivos, em intervalos de dez minutos, perfazendo um total de 1008 amostras por fase. Devem ainda fornecer resultados de Plt, com a mesma frequência de aquisição anterior, constituindo um total de 996 amostras de Plt por fase [1] e [4].

Os indicadores de severidade de cintilação, adotados como representativos da flutuação de tensão num dado barramento da Rede Básica, serão o Pstd95%, que representa o valor do indicador Pst que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de um dia (24 horas), e o PltS95%,

representando o valor do indicador Plt que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de uma semana. O maior valor do indicador Pstd95% obtido nos sete dias da campanha resulta no indicador Pstd95% que deve ser comparado ao padrão [1] e [4].

Dois limites são adotados para a avaliação do incômodo causado pela cintilação. São eles, o limite global inferior e o superior. Seus valores foram definidos para sistemas de tensão secundário de 220 V. A Tabela 1 apresenta tais limites [1] e [4].

Tabela 1 – Limites globais inferior e superior.

Limite	Pstd95%	PltS95%
Limite global inferior	$1 \frac{pu}{FT}$	$0,8 \frac{pu}{FT}$
Limite global superior	$2 \frac{pu}{FT}$	$1,6 \frac{pu}{FT}$

Onde FT (fator de transferência) é a atenuação esperada entre as redes básica e secundária de distribuição. Esse deve ser apurado através da relação entre os indicadores PltS95% da Rede Básica e PltS95% do barramento de distribuição secundária eletricamente mais próximo, obtidos por medição. Caso o FT entre os barramentos em questão seja desconhecido, podem-se adotar os seguintes valores típicos expostos na Tabela 2 [1] e [4].

Tabela 2 – Valores típicos dos fatores de transferência (FT).

Tensão nominal do barramento	FT
$\geq 230$ kV	0,65
$\geq 69$ kV e $< 230$ kV	0,8
$< 69$ kV	1,0

Por fim, a qualidade da tensão deve ser inferida, por meio da Tabela 3 que compara os índices Pstd95% e PltS95% aos limites impostos pela resolução [1] e [4].

Tabela 3 – Qualidade da tensão quanto à flutuação.

Qualidade da tensão	Indicadores	Ação
Adequada	Pstd95% e PltS95% < limite global inferior	Nada a fazer
Estado de observação	Limite Global Inferior < Pstd95% ou PltS95% = Limite Global Superior Pstd95%.	Caso haja queixas de consumidores, ONS busca soluções junto aos agentes.
Inadequada	Pstd95% ou PltS95% > Limite Global Superior	ONS define ações mitigadoras após investigações.

### III. PROGRAMA COMPUTACIONAL

Trata-se de uma nova ferramenta auxiliar, desenvolvida em linguagem MATLAB versão 6.5, dotada de recursos gráficos e análises simples e objetivas. Sua motivação está baseada em três questões fundamentais:

- A necessidade de um tratamento estatístico e (ou) probabilístico dos dados colhidos nas medições de cintilações luminosas;
- A possibilidade de uma análise da cintilação luminosa em qualquer ambiente, observando e comparando os resultados com os limites estabelecidos pela resolução do ONS; e
- O grande volume de dados gerado pelas medições.

O aplicativo é constituído por oito módulos, sendo um de entrada dos dados e sete de análises. Eles são independentes e ao mesmo tempo complementares. As ferramentas estatísticas disponíveis são: os valores máximos e mínimos, média quadrática e aritmética, desvio padrão, P95% e P99%.

A seguir, cada um dos módulos será, sucintamente, descrito:

#### A. Módulo de Entrada

Permite a realização da leitura do banco de dados e ainda o acesso às demais análises do aplicativo. A Figura 1 ilustra a tela de entrada.

Figura 1 – Módulo de entrada

Da Figura 1 observa-se que após a leitura do banco de dados, o programa disponibiliza diversas informações referentes à campanha de medição. São elas: o nome do arquivo, a data e a hora de início e de fim, e o número de dias aferidos.

#### B. Módulo de análise da frequência de aquisição de dados:

Permite a apreciação, com vistas a análises da frequência de aquisição, dos valores médios aritméticos, da média quadrática, do desvio padrão, do P95%, e do P99%, todos calculados quando da execução de medições intercaladas de 10, 30 e 60 minutos, bem como o erro cometido nestas operações, determinados a partir dos dados de um

espaçamento preestabelecido. De fato, para o propósito desta etapa do trabalho, faz-se uso de ferramentas gráficas e de cálculos estatísticos, conforme evidenciam as Figuras 2, 3, e 4. Esta estrutura é padronizada para algumas das outras etapas.

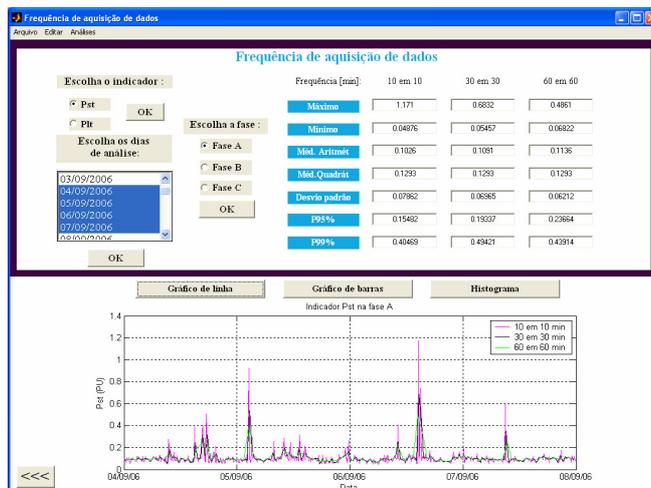


Figura 2 – Módulo I - gráfico de linha das amostras.

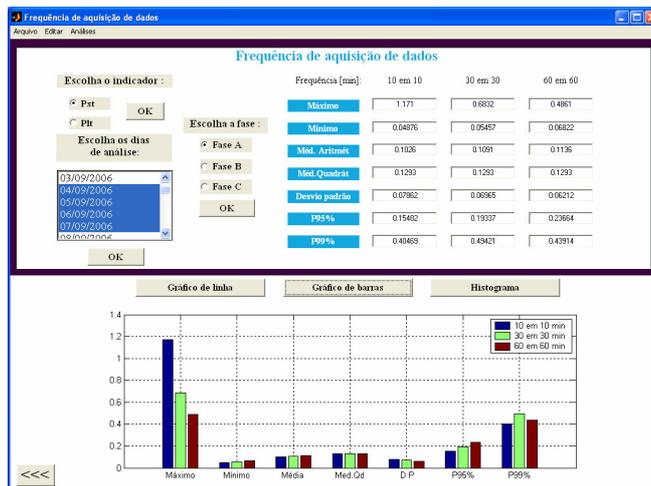


Figura 3 – Módulo I - gráfico de barras dos valores estatísticos.

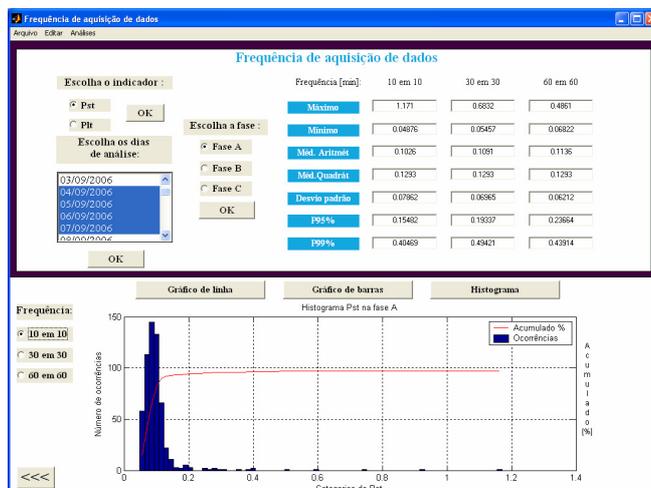


Figura 4 – Módulo I - histograma, junto à curva de probabilidade acumulada.

### C. Módulo de análise da similaridade entre dias

Inicialmente, vale ressaltar que as principais normas e recomendações nacionais e internacionais adotam um intervalo de medição semanal como período total de monitoração. Assim sendo, esta etapa visa constatar a existência ou não de similaridade entre dias (Figura 5), com vistas à determinação de um intervalo mínimo de medição, sem que haja prejuízo a análise.

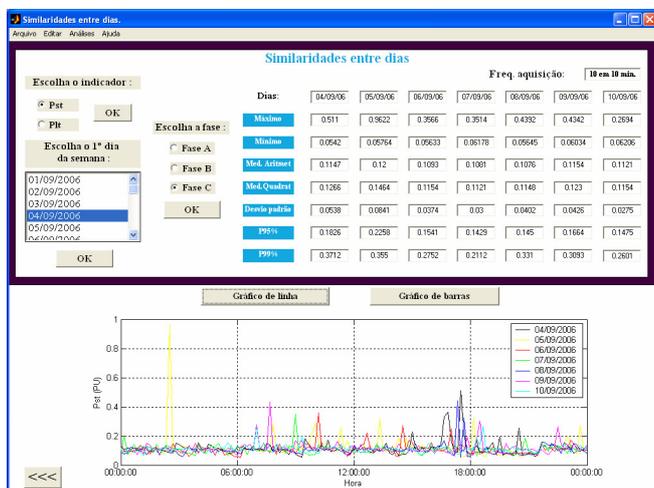


Figura 5 – Módulo de análise da similaridade entre dias.

Da Figura 5 infere-se que o módulo disponibiliza ao usuário os valores estatísticos para cada um dos dias da semana em questão. Há ainda a possibilidade de se escolher em qual frequência de aquisição os dados serão calculados.

### D. Módulo de Análise da similaridade entre períodos:

Nesta etapa busca-se comprovar a existência ou não da similaridade entre os períodos de um mesmo dia. Este estudo se presta, portanto, para a determinação do intervalo ótimo de medição, com o intuito de se possibilitar rapidez e segurança no processamento dos dados.

Como segunda finalidade, tenta-se arbitrar um período de apuração no qual se possam obter valores representativos aos mais elevados patamares de cintilação de um dia. A Figura 6 ilustra a tela deste módulo.

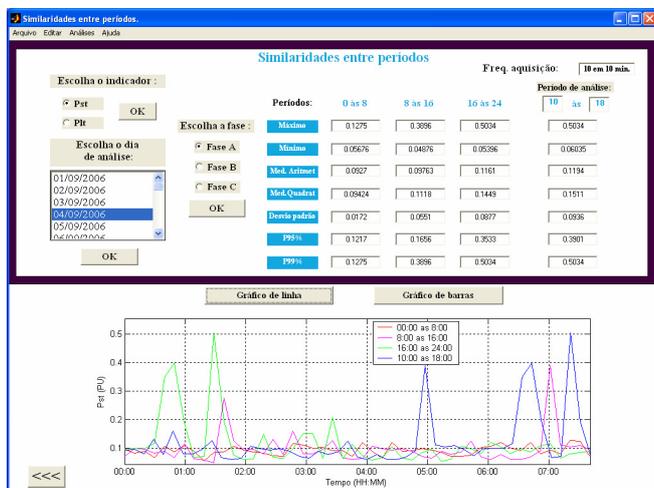


Figura 6 – Módulo de análise da similaridade entre períodos.

O módulo referente a essa análise divide o dia em três intervalos pré-estabelecidos e permite ao usuário a escolha de um outro período arbitrário. Os intervalos para comparação definidos pelo aplicativo são períodos de 8 horas de duração. São eles: de 00:00 às 08:00 horas, de 08:00 às 16:00 horas e de 16:00 às 24:00 horas.

É possível ainda, comparar, numérica e graficamente, estatísticas obtidas dos mais variados períodos de análise.

### E. Módulo de análise da similaridade entre fases:

A partir da aplicação do método de análise proposto neste tópico, busca-se comprovar a existência ou não de similaridade entre os valores de Pst e Plt aferidos nas três fases da tensão. Deseja-se verificar a possibilidade de se adotar uma fase como representativa às demais. Como consequência tem-se uma redução do volume de dados a serem processados, haja vista que as principais normas e recomendações internacionais determinam a monitoração e análise das cintilações luminosas de todas as fases da tensão.

A Figura 7 exhibe o módulo de análise da similaridade entre fases.

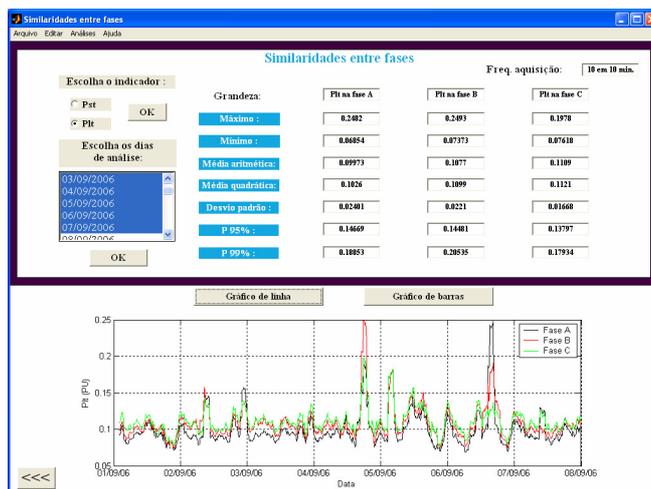


Figura 7 – Módulo de análise da similaridade entre fases.

### F. Módulo de análise da distribuição no tempo

Esta etapa permite investigar a distribuição no tempo das amostras frente a um determinado valor limite (VL) de cintilação estabelecido pelo usuário. O patamar a ser escolhido está, normalmente, relacionado com os limites impostos pelas principais normas e recomendações, ou com os limites de suportabilidade de equipamentos elétricos conectados à rede.

Aspira-se, a partir dos resultados gerados, concluir quanto à representatividade do VL, quando da sua utilização em substituição aos demais valores medidos. De posse deste estudo, é possível aos fabricantes e interessados, a partir dos limites de suportabilidade de cada equipamento frente às cintilações luminosas, determinar se o seu produto suporta ou não os níveis detectados, em função do tempo de exposição. A Figura 8 expõe a tela de análise da distribuição no tempo.

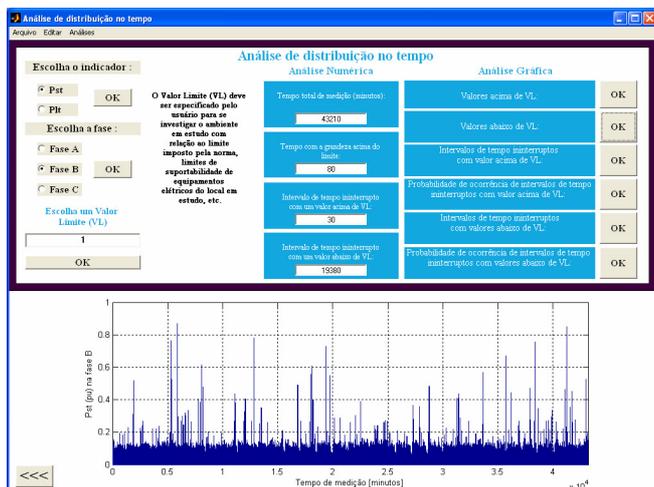


Figura 8 – Módulo de análise da distribuição no tempo.

Nota-se da Figura 8 a existência de uma análise numérica que disponibiliza, por exemplo, o total da medição em minutos e o tempo no qual a grandeza fica acima do VL. Ainda da Figura 8, tem-se uma análise gráfica que revela: valores acima do VL, intervalos ininterruptos de tempo com valor acima do VL, probabilidade de ocorrência de intervalos ininterruptos com valores acima do VL, dentre outros.

### G. Módulo de comparação com a norma

Possibilita uma análise comparativa entre o banco de dados em estudo e os valores limites indicado pela resolução do ONS. Além disso, permite a obtenção dos gráficos de linha, dos histogramas e das curvas de probabilidade acumulada dos valores de Pst e Plt obtidos em cada fase durante a campanha, necessários para a elaboração de relatórios.

A Figura 9 mostra o módulo de comparação com a norma. As Figuras 10 e 11 ilustram os gráficos de linha e os histogramas com as curvas de probabilidade acumulada, respectivamente.

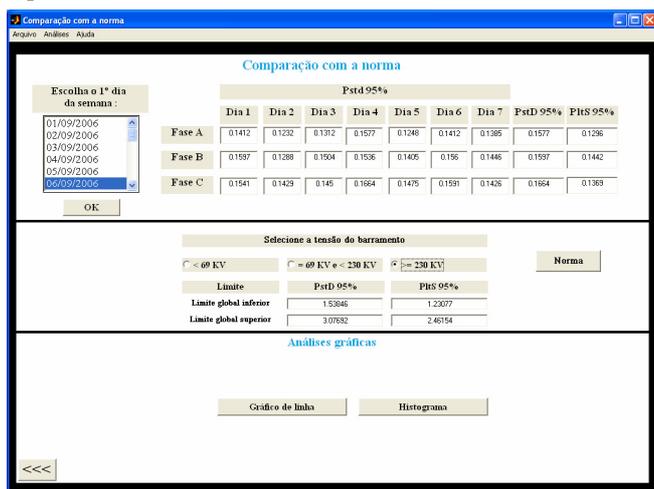


Figura 9 – Módulo de comparação com a norma

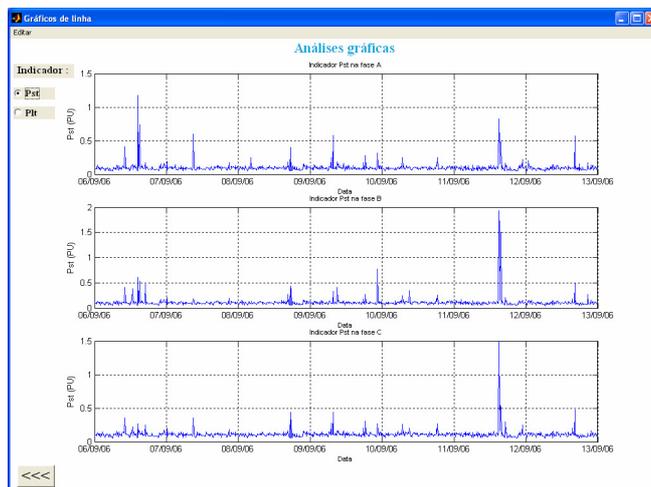


Figura 10 - Tendência do indicador Pst, durante a semana em estudo.

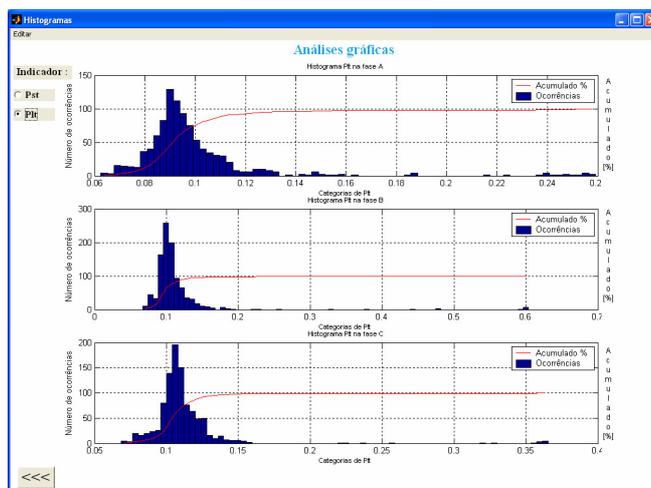


Figura 11 – Histograma e curva de probabilidade acumulada do indicador Plt.

Da Figura 9, observa-se que são disponibilizados os valores de PstD95%, PstD95% e PstS95% aferidos em cada uma das três fases ao longo da semana em estudo. Ainda da Figura 9, têm-se que os gráficos de linha e os histogramas das fases da tensão, exibidos nas Figuras 10 e 11, respectivamente, são gerados a partir do módulo de comparação com a norma.

### H. Módulo de análise de carga

Nesta etapa, pretende-se averiguar a existência de perturbações que alterem significativamente a medição das cintilações. A partir deste tópico é possível traçar os perfis de tensão, corrente e potência do local analisado, utilizando-se recursos gráficos e estatísticos. A Figura 12 ilustra uma tela deste módulo.



Figura 12 – Módulo de análise de carga.

Da Figura 12 observa-se que com a utilização do supracitado módulo, pode-se visualizar os perfis das tensões, correntes e potência, bem como as estatísticas calculadas a partir dos dados medidos.

#### IV. CONCLUSÃO

A ferramenta computacional foi dividida em um módulo de entrada e outros sete independentes e ao mesmo tempo complementares. A maioria deles foi sustentada por ferramentas estatísticas, como os valores máximos e mínimos, média quadrática e aritmética, desvio padrão, P95% e P99%, e por gráficos de linha e de barras.

O programa é apresentado por meio de uma interface gráfica de fácil entendimento e sua utilização se faz de maneira intuitiva. Em quase todas as telas permite-se uma análise baseada em conceitos estatísticos e gráficos, simplificando a visualização dos resultados.

Com vistas à apreciação da frequência de aquisição, são calculados os valores médios e várias outras estatísticas, determinadas a partir das simulações de medições intercaladas de 10, 30 e 60 minutos, bem como o erro cometido nestas operações, determinados a partir dos dados de um espaçamento preestabelecido.

O tratamento estatístico dos dados, efetuados a partir da utilização dos módulos de análise, permite estabelecer um período típico que melhor caracteriza os níveis de cintilação luminosa em um ponto qualquer da rede, e ainda avalia questões como a escolha de uma fase e/ou dia como representativo aos demais.

A metodologia auxiliar proposta para avaliação da distribuição no tempo dos diversos patamares, permite aos fabricantes, de posse dos níveis máximos de suportabilidade dos seus equipamentos às cintilações luminosas, em função do tempo de exposição, atestar se o seu produto pode ou não ser utilizado, sem riscos de danos, causados pelo sistema em estudo.

Na análise “Comparação com a norma” pode-se verificar se o local em estudo está de acordo com a norma vigente no país, e ainda, se for de interesse do usuário, gerar os gráficos

recomendados pelo ONS para a elaboração de relatórios.

Com a utilização dos módulos que constituem a ferramenta computacional, é possível contribuir para o estabelecimento de diretrizes para nortear as campanhas de medição de cintilações luminosas, assim como, para a discussão referente aos limites estabelecidos pelas principais normas internacionais.

A metodologia apresentada pode ser de grande utilidade para empresas e profissionais interessados na qualificação das cintilações luminosas.

#### V. REFERÊNCIAS

- [1] Monteiro Jr., Roberto A. e Prado, Thiago F. “Ferramenta computacional para análise de cintilações luminosas,” projeto final de graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, 2006.
- [2] Medeiros, Carlos Augusto G. “Contribuição para conceituação, medição, efeitos e análise dos limites relacionados com flutuações de tensão,” tese de doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2003.
- [3] Pontes, Maria das G. S. R. “Contribuições às análises das propagações das flutuações de tensão sob o enfoque do fenômeno Flicker,” dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2000.
- [4] Re. ONS – 2.1- 028/2005 Definição das metodologias e procedimentos necessários às campanhas de medição dos indicadores de desempenho, Operador Nacional do Sistema, ONS.