SISTEMA DE VISÃO OMNIDIRECIONAL PARA O MONITORAMENTO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Romário B. dos Santos Filho

romario.filho@gmail.com

Reinaldo A. C. Bianchi rbianchi@fei.edu.br

Centro Universitário da FEI Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 São Bernardo do Campo – SP – Brasil CEP: 09850-901

Resumo. Este artigo descreve um sistema utilizado para o monitoramento de descargas atmosféricas. O sistema é composto por sensores de campo elétrico e câmeras de vídeo. Os sensores de campo elétrico identificam as descargas atmosféricas e sua intensidade. Já as câmeras de vídeo capturam a imagem destes eventos. O sistema de vídeo é composto por câmeras de vídeo fixas, que permitem a localização aproximada dos eventos e câmeras omnidirecionais, que permitem a captura das imagens das descargas atmosféricas em todas as direcões. O sistema de câmeras de vídeo são utilizados no monitoramento contínuo de descargas atmosféricas. Os resultados mostram que este sistema permite qualificar as informações obtidas pelos sensores elétricos, auxiliando a localização de eventos ocorridos na borda do sistema, além de discriminar eventos ambíguos.

Palavras Chaves: Visão omnidirecional, monitoramento de descargas atmosféricas, relâmpagos.

Abstract: This article describes a system used for the monitoring of atmospheric discharges. The system is composed of electric field sensors and video cameras. The electric field sensors identify the atmospheric discharges and their intensities. The video cameras capture images of these events. The video system is composed of fixed video cameras, that allow the localization of the events, and omnidirectional cameras that allow the capture of images of the atmospheric discharges in all the directions. The video system is used during the continuous monitoring of atmospheric discharges. The results show that this system allows to characterize the information acquired from the electric sensors, assisting the localization of events that occurs at the edge of the vision system, besides discriminating ambiguous events.

Keywords: Omnidirectional vision, lightning detection system, cloud-to-ground lightning flashes.

1 INTRODUÇÃO

Descargas atmosféricas, freqüentemente denominadas de relâmpagos, são descargas elétricas que apresentam alta luminosidade e alta intensidade de corrente. Os efeitos dos relâmpagos sobre os seres humanos, podem ser destrutivos e muitas vezes fatais. Cerca de 100 relâmpagos para o solo ocorrem a cada segundo no mundo [1], sendo que apenas 5 % destes ocorrem sobre os oceanos [2].

Rosangela B. B. Gin

ffergin@fei.edu.br

Só em 2001, mais de 20 pessoas foram atingidas direta ou indiretamente por descargas atmosféricas na região próxima à cidade de São Paulo [3,4]. Este alto índice de acidentes ocorridos no sudeste do Brasil têm mostrado cada vez mais a importância deste estudo principalmente na região sul e sudeste do país [4]. Segundo a CEMIG cerca de 70% dos desligamentos de linhas de transmissão e 30% nas linhas de distribuição são devido a descargas atmosféricas [5]. Já a Rede Bandeirante de Energia teve grandes prejuízos devido a queima de 300 transformadores somente no verão de 1998 [6]. Cada vez mais as grandes cidades têm sofrido com a ocorrência dos relâmpagos. Esta atividade elétrica tem migrado para as grandes cidades devido ao que denominamos de "Ilhas de Calor".

Os relâmpagos também podem ser utilizados como indicadores para monitoramento estratégico. Os estágios de eletrificação das tempestades estão associados à precipitação e a severidade das tempestades. Esta relação torna-se importante no monitoramento contínuo das tempestades. Através dos estudos de relâmpagos e da identificação dos parâmetros elétrico-meteorológicos podese conhecer o comportamento local do fenômeno e aprimorar as técnicas e os métodos de monitoramento do tempo. Além da importância local, as tempestades no Brasil têm se destacado no âmbito global. Devido ao seu alto índice de atividade elétrica, o Brasil têm sido considerado um dos principais responsáveis por manter o Circuito Elétrico Global [7].

O principal objetivo deste projeto é melhorar o desempenho dos sistemas de monitoramento de descargas atmosféricas atualmente utilizados em todo o mundo. O sistema atual apresenta algumas deficiências na discriminação de eventos específicos e, para algumas regiões, apresenta erros consideráveis na localização dos eventos. Desta forma, o sistema de câmeras fixas e omnidirecionais é utilizado para auxiliar tanto na discriminação de eventos ambíguos como na localização de eventos em regiões extremas.



(a) Nuvem-Solo [10]

(b) Solo-Nuvem [11]

(c) Intra-Nuvem [12]

(e) Nuvem-Ar [14]

Figura 1. Principais tipos de descargas atmosféricas.

FUNDAMENTOS FÍSICOS DAS 2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Descargas atmosféricas são descargas elétricas que ocorrem na baixa atmosférica, acompanhadas de alta luminosidade e som. Este fenômeno têm sido estudado desde Benjamin Franklin, cientista e filósofo americano (1706-1790), que descobriu em 1752 a natureza elétrica dos relâmpagos através do seu experimento com um papagaio. As descargas atmosféricas ocorrem devido à existência de cargas intensas dentro da nuvem que produzem um campo elétrico local excedente a capacidade dielétrica do ar que é de aproximadamente 3000 kV/m [8]. Em geral, as descargas atmosféricas ocorrem em nuvens de tempestade mas podem ocorrem em tempestades de neve e areia, e algumas vezes em erupções vulcânicas.As descargas atmosféricas que ocorrem em nuvens de tempestade podem se propagar: da nuvem para o solo (NS), do solo para a nuvem (SN), dentro da nuvem (IN), entre nuvens (EN), entre a nuvem e o ar (NA) e entre a nuvem e a ionosfera (NI). As descargas atmosféricas mais freqüentes são as NS e as IN, sendo as IN predominantes sobre as NS. A Figura 1 ilustra os diversos tipos de descargas atmosféricas.

As descargas atmosféricas NS são constituídas por um conjunto de descargas intermitentes, separadas por um intervalo de tempo de aproximadamente 40 milissegundos, acompanhadas de grande luminosidade. Esse conjunto de descargas tem duração de algumas centenas de milissegundos alcançando até alguns segundos, dependendo do número de descargas ocorridas. A maioria destes eventos possui até três descargas de retorno. Esses eventos transferem em média 20C.

As descargas IN iniciam-se por um líder que propaga-se tanto na vertical como na horizontal com velocidade da ordem de 10⁴m/s e carga da ordem de 100A. Este estágio tem duração de aproximadamente 0,2 s tornando a nuvem luminosa neste período. Neste relâmpago não ocorre a descarga de retorno e sim uma corrente contínua superposta de vários pulsos de alta luminosidade denominado descargas K. Quando o líder estende-se a uma região concentrada de cargas opostas a ele, há uma fuga de corrente no canal já ionizado neutralizando a distribuição de cargas no canal. O campo elétrico produzido por esta fuga é que é chamado de descarga K. Esta descarga K tem velocidade de aproximadamente 10⁶ m/s e duração de 1milissegundo. O tempo de duração dos relâmpagos IN é quase o mesmo dos NS, aproximadamente 0,5 segundo [2].

3 **O SISTEMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

O monitoramento contínuo identifica a densidade, a atividade e as características das descargas atmosféricas num determinado local. A Figura 2 mostra as densidades de descargas nuvem-solo negativas para o Estado de São Paulo que ocorreram em 2001. Nesta figura, a densidade de descargas é representada com uma resolução espacial de 10km, com valores variando de 6 a 8 descargas por km² por ano. Particularmente, a cidade de São Paulo tem um máximo anual de descargas atmosféricas que excede 12 descargas por km² por ano [4]. Esta densidade é similar à observada na "Capital dos Relâmpagos", a Flórida, Estados Unidos, que identificou também para Oklahoma valores máximos de 14,5 descargas por km² por ano [9].



Figura 2. Densidade de descargas negativas na Grande São Paulo para o ano 2001. O asterisco indica a localização da Cidade de São Paulo [4].

Sensores utilizados para 3.1 monitoramento de descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas que iremos identificar são descargas do tipo nuvem-solo e descargas intranuvem. Estas descargas são na sua maioria, descargas múltiplas de polaridade negativa e apresentam intensidade média de corrente de 30kA [15]. A faixa de freqüência dessas descargas varia de 0,1 a 10 MHz e o campo eletrostático é da ordem de 1 a 10^4 V/m [1]. Sensores similares a bordo de balão estratosférico identificaram relâmpagos no sudeste do Brasil na faixa de 1 a 10 kHz e campo da ordem de alguns volts por metro [16].

Atualmente, os sensores baseado na técnica TOA (Time of Arrival) são os mais utilizados para monitoramento contínuo. O sistema de monitoramento contínuo consiste

em uma rede de sensores que utiliza o tempo de chegada das descargas para gerar informações como localização. Estes sensores detectam a radiação eletromagnética das descargas de retorno, na faixa de 2 a 500kHz, sincronizados em microssegundos através de GPS (Global Position System). Se ao menos três estações recebem um pulso em um janela de tempo, e se a amplitude exceder a um limiar preestabelecido, um relâmpago é identificado. Diferenças entre a chegada de dados no tempo são calculadas de forma a localizar o evento com uma resolução de 500 metros.



Figura 3. Ilustração do sensor desenvolvido na FEI que utiliza a técnica do sensor "Field Mill".

Os sensores de tipo "Field Mill", primeiramente denominados como fluxômetros eletrostáticos são basicamente constituídos por antenas em formato de placas planas. O fluxo de carga Q(t) induzida na antena identifica o comportamento do campo elétrico do solo. A componente normal da densidade de fluxo elétrico $D = \varepsilon_0 E$ requer que $\varepsilon_0 E_n = Q/A$ onde E_n é a intensidade do campo elétrico normal à superfície da antena, Q é a carga induzida e A é a área da antena, considerando que a carga está uniformemente distribuída pela superfície. A variação temporal do campo elétrico introduz um sinal de tensão cuja amplitude é proporcional ao campo elétrico ambiente e assim podemos identificar os eventos. Assim, temos: $E_n =$ $Q/A \varepsilon_0$. Sendo que a tensão depois do circuito integrador é dada por V = Q/C, segue então que: $V = (A \varepsilon_0 / C) E_n$.

O sensor baseado na técnica "Flat Plate" é composta de uma placa que é ligada a um amplificador operacional. O amplificador operacional tem a entrada ligada em curto com a placa sensível e a sua saída é realimentada com um capacitor em paralelo com o resistor. O ganho do circuito é inversamente proporcional à magnitude do capacitor e o resistor tem apenas a função de controlar a constante de tempo.

3.2 Sensores desenvolvidos na FEI durante a Campanha de 2004

Em 2004, fez-se uma "Campanha" que teve como objetivo monitorar as tempestades elétricas que ocorrem em São Bernardo do Campo no período de novembro de 2004 à março de 2005. O monitoramento foi baseado nos sensores "Field Mill" e "Flat Plate" desenvolvidos na FEI, sistemas de câmera de vídeo, sensores da rede RINDAT, radar e satélite meteorológico. Todos os sensores são sincronizados via GPS.

Um dos sensores desenvolvido na FEI capaz de identificar nuvens de tempestades e relâmpagos é mostrado na Figura 3. Este sensor é constituído basicamente por duas pás, sendo uma delas com freqüência de giro de 220Hz. A pá girante é ligada ao terra, a qual bloqueia a captação do campo elétrico em relação à pá fixa. Esse processo é utilizado para que não ocorra saturação do sinal fornecido pelo sensor. Adquirindo a diferença de potencial entre as pás, será gerado um sinal alternado, que passa por um amplificador e um filtro passa alta (FPA) para evitar o ruído da rede.



Figura 4. Transiente de campo elétrico identificando nuvens de tempestade e relâmpagos através da técnica dos sensores "Field Mill".



Figura 5. Transiente de campo elétrico identificando relâmpagos através da técnica dos sensores "Slow Antena Flat Plate".

Como exemplo dos resultados obtidos por estes sensores, as Figura 4 eFigura 5 ilustram exemplos dos transientes do campo elétrico devido a presença de nuvens de tempestade e ocorrência de relâmpagos para o dia 14 de Março de 2005, respectivamente.

O monitoramento contínuo atualmente utilizado no país é de grande importância para os órgãos de defesa civil e manutenção de energia elétrica. Atualmente, estes sistemas apresentam deficiências na localização de eventos ocorridos na borda do sistema além de ambiguidades do sinal para descargas de baixa intensidade de corrente do tipo NS e IN. Estas deficiências e ambiguidades geram incertezas na

identificação do fenômeno. O sistema de vídeo, através da captura de imagens obtidas das câmeras fixa e omnidirecional, pode discriminar estes eventos qualificando assim a informação elétrica obtida do monitoramento contínuo de descargas atmosféricas.

4 SISTEMA OMNIDIRECIONAIS

Um sistema de visão omnidirecional [17] é aquele que permite a aquisição de imagens com um campo de visão de 360 graus. Este tipo de sistema pode ser obtido através da combinação das imagens provenientes de uma única câmera que gira em torno de um eixo, de imagens oriundas de diversas câmeras ou através da combinação entre uma câmera e um espelho.

Entre os sistemas possíveis, o que utiliza uma única câmera giratória é o de menor custo. Ele possibilita a aquisição de imagens de alta definição, mas não o trabalho em ambientes dinâmicos, já que a câmera necessita realizar a aquisição de diversas imagens em seqüência, que devem depois ser combinadas para formar uma única imagem panorâmica. Outra deficiência deste tipo de sistema é que a construção da imagem panorâmica a partir de diversas imagens individuais é computacionalmente custoso.

O uso de diversas câmeras possibilita o trabalho em ambientes contínuos, mas seu o custo é elevado e o sistema resultante pode apresentar problemas de calibração. A Figura 6 mostra um sistema de captura de imagens omnidirecionais composto por 5 câmeras.



Figura 6: Câmera omnidirecional composta por 5 câmeras individuais montadas em um anel [18].

Os sistemas visuais omnidirecionais construídos por meio da combinação de uma câmera e um espelho convexo chamados de catadióptricos - têm sido utilizado com bastante freqüência em sistemas robóticos [19] e, em particular, sua aplicação em sistemas robóticos autônomos como os usados para jogar futebol de robôs [20] tem obtido bastante sucesso. Neste tipo de sistema, a câmera é montada na frente do espelho, capturado a imagem refletida. O espelho usado pode ter diversas formas geométricas, sendo que os mais utilizados são os cônicos, os esférico, os hiperbólicos e os parabólicos. Nos sistemas catadióptricos a imagem panorâmica é obtida aplicando-se uma transformação matemática na imagem formada pelo espelho. Esta computação exige menos processamento que a reconstrução da imagem panorâmica a partir de diversas imagens. Suponha que a câmera seja representanda por apenas um ponto, e um espelho como única superfície refletora. A transformação necessária entre as imagens é dada pela equação do ponto de vista fixo de um objeto, descrita em [22]:

$$\left(z - \frac{c}{2}\right)^2 - r^2 \left(\frac{k}{2} - 1\right) = \frac{c^2}{4} \left(\frac{k - 2}{k}\right)$$
 para (k≥2). (Eq. 1)

No caso do uso de espelhos cônicos, tem-se que c=0 e $k\ge 2$. Assim, para um espelho cônico a equação usada é [22]:

$$Z = \sqrt{\frac{k-2}{2}r^2}$$
 (Eq. 2)

Umas das características importantes dos sistemas catadióptricos, é que a resolução capturada é menor do que a da própria câmera, assim tornando-se fundamental com que as imagens sejam capturadas em uma boa resolução. A Figura 7 mostra uma imagem capturada por meio de um espelho esférico e a imagem panorâmica computada através da equação 2. Uma vantagem deste tipo de câmera é que nem sempre é necessário reconstruir a imagem panorâmica, pois muitas observações (como a direção da descarga elétrica) podem ser obtidas diretamente da imagem do espelho convexo.





Figura 7. Imagem observada em um espelho esférico (a) e a imagem panorâmica resultante da transformação matemática (b) [21]





(a)Vista lateral

(c) Câmera instalada no topo da torre

Figura 8. A câmera omnidirecional catadióptrica construída. Pode-se ver a câmera de vídeo no topo.

PLATAFORMA E ARQUITETURA DO 5 SISTEMA IMPLEMENTADO

O sistema de monitoramento de descargas elétricas existente na instituição é composto um sensor do tipo "Field Mill", um sensor do tipo "Flat Plate", três câmeras de vídeo coloridas ligadas a microcomputadores para aquisição de imagens, sendo apenas uma delas omnidirecional, sensores da rede RINDAT, radar e satélite. Todos os sensores são sincronizados via GPS.

A câmera omnidirecional catadióptrica construída é baseada em uma câmera de vídeo de vigilância colorida e em um espelho cônico de 30 cm de raio de 10 cm de altura, feito em material plástico. A câmera de vídeo é fixada 50 cm sobre o espelho utilizando uma estrutura de acrílico e parafusos de ferro. A Figura 8 mostra a câmera construída e a sua localização sobre a torre onde estão montados os equipamentos de vídeo, no topo do edifício de engenharia elétrica da instituição.

O sistema visual implementado está dividido em três módulos principais (Figura 9):

- Módulo de aquisição de imagens: a aquisição da imagem é realizada por meio de de uma placa digitalizadora padrão (modelo BT-878) e uma câmera de vídeo padrão (mini câmera usada para vigilância). As imagens são adquiridas a uma taxa de 30 quadros por segundo e guardadas em uma posição da memória onde pode ser acessada pelo módulo de detecção de movimentos. O tamanho das imagens é de 640 x 480 x 24 bits de cores. Exemplos de imagens capturadas podem ser vistas na seção 6.
- Módulo de detecção de imagens relevantes: este módulo tem o objetivo de selecionar as imagens capturadas para armazenar em disco apenas aquelas que contiverem atributos interessantes. No caso, como deseja-se capturar imagens de descargas elétricas, é realizada uma operação de comparação (XOR) entre duas imagens em seqüência. Quando a diferença entre elas for maior que um determinado limiar, as imagens

são selecionadas e são armazenadas (no caso das câmeras simples) ou passadas para o próximo módulo.

Módulo de geração de imagens panorâmicas: este módulo utiliza a equação 2 para, a partir das imagens capturadas do espelho cônico, gerar uma imagem panorâmica.

O sistema foi implementado em três microcomputadores IBM-PC Pentium III, utilizando o Sistema Operacional Windows 2000 e desenvolvido com a ferramenta Microsoft Visual C++ 6. Os computadores estão sincronizados aos sensores por meio do timer de um GPS. As imagens capturadas são utilizadas para identificar as características das descargas, estimar a distância dos eventos, auxiliar na validação dos sensores elétricos além de distinguir os diversos tipos de relâmpagos nos registros elétricos. As imagens de relâmpagos também podem ser utilizadas para estudar o canal ionizado, a ramificação, a tortuosidade dos eventos além dos constituintes atmosféricos.



Figura 9. Diagrama de blocos do sistema implementado.



(a) Lider contínuo

(b) Canal ionizado

(c) Descarga de retorno

Figura 10. Imagem de relâmpago nuvem-solo ocorrido no dia 06 de dezembro de 2004. A seqüência identifica: (a) o líder contínuo, (b) o canal ionizado e (c) a descarga de retorno do relâmpago.



(a) Líder contínuo



(b) Canal ionizado

Figura 11. Seqüência de imagens de relâmpago Intra-nuvem ocorrido no dia 11 de fevereiro de 2005. A seqüência identifica o líder contínuo (a) e o canal ionizado do evento (b).

6 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos permitiram observar que o sistema de detecção de imagens relevantes funciona adequadamente, capturando imagens de descargas elétricas e ignorando eventos de menor interesse (como o acender e apagar das luzes ou a passagem de um avião).

Vários relâmpagos ocorridos próximos à caixa de água da FEI foram registrados pelas câmeras de vídeo fixas. A Figura 10 mostra o registro do canal ionizado do relâmpago nuvem-solo ocorrido no dia 06 de dezembro de 2004. Esta imagem mostra o líder contínuo, o canal ionizado e a descarga de retorno do relâmpago, respectivamente. Já a Figura 11 mostra uma seqüência de imagens de relâmpago intra-nuvem ocorrido no dia 11 de fevereiro de 2005. Esta imagem mostra o líder contínuo e o canal ionizado do evento.

Através de uma seqüência de imagens de relâmpago podese identificar os processos envolvidos nos eventos. A polaridade e a estimativa da multiplicidade dos relâmpagos também pode ser obtida através das imagens.

O segundo resultado interessante é o do módulo de geração de imagens panorâmicas utilizado pela câmera omnidirecional. Como é possível ver na Figura 12-a, a

imagem obtida pelo espelho (a) está deformada. O motivo desta deformação é que o espelho foi construído com material plástico.

Para permitir uma comparação, foi gerada uma imagem panorâmica (Figura 12-c) com o uso de uma câmera de 3.1 megapíxels montada sobre um tripé. Foram tiradas diversas fotos cobrindo 360 graus de visão e, utilizando um programa proprietário que acompanha a câmera, foi gerada a imagem panorâmica. Pode-se notar que, apesar da baixa qualidade do espelho, existe uma boa semelhança entre as imagens nas Figura 12-b e Figura 12-c. O fato mais relevante nessa comparação é que os objetos encontram-se quase na mesma posição angular (a posição do sol se pondo, dos edifícios e da torre de água), o que permite identificar a orientação do ponto onde a descarga elétrica ocorreu.

Finalmente, custo computacional para gerar a imagem panorâmica utilizando o espelho é o de realizar uma única passagem por todos os píxeis da imagem panorâmica, calcular a posição na imagem do espelho correspondente a posição na imagem panorâmica (utilizando a equação 2) e copiar a cor do píxel da imagem do espelho para a panorâmica. Este processo levou menos que um millisegundo no microcomputador Pentium III onde a câmera se encontra instalada.



(a) imagem adquirida pela câmera omnidirecional catadióptrica



(b) imagem panorâmica gerada através da transformação matemática



(c) imagem panorâmica obtida por uma câmera omnidirecional rotatória.

Figura 12. Resultado obtido com a câmera omnidirecional: (a) imagem adquirida pela câmera omnidirecional catadióptrica; (b) imagem reconstruída através da transformação e (c) imagem panorâmica obtida por uma câmera omnidirecional rotatória.

7 CONCLUSÃO

A principal conclusão deste trabalho é a viabilidade de se utilizar câmeras omnidirecionais no monitoramento de descargas elétricas, auxíliando na localização de eventos de borda e na discrimanação de eventos ambiguos.

Apesar da imagem capturada pela câmera construída ser um pouco distorcida, ela possibilita calcular a direção na qual a descarga atmosférica aconteceu, permitindo casar o dado lido pelos sensores "Field Mill" e "Flat Plate" com resultados de sensores globais, e ainda diferenciar as descargas Intra-Nuvem das Nuvem-Solo, que é a tarefa mais importante dos sensores baseados em imagens.

Entre os trabalhos futuros encontram-se: a construção de uma nova câmera omnidirecional, utilizando um espelho de maior qualidade e uma câmera com maior definição; o estudo de viabilidade do uso de câmeras omnidirecionais compostas por múltiplas câmeras. Na parte do software, o principal trabalho futuro é automatizar a identificação das características das descargas, a estimativa da distância dos eventos, e a distinção entre os diversos tipos de relâmpagos nos registros elétricos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Uman, M.A All about lightning. New York, Dover, 1987.
- [2] Volland, H. Quasi electrostatic fields within the atmosphere. In: Handbook of atmospheric. Florida, CA, CRC, 1982, v.1.
- [3] Gin, R.B.B., C.A.A. Beneti, Cloud-to-ground lightning flash density of Southeastern of Brazil: 2001. IN: VII International Symposium On Lightning Protection, Curitiba, PR, Brazil, 2003b.
- [4] Gin, R.B.B., C.A.A. Beneti, Juvencius, M. and A. J. Pereira Filho.: Descargas Atmosféricas Nuvem-Solo No Sudeste Do Brasil Em 2001: Estudo De Casos. IN: XII Congresso Brasileiro De Meteorologia, Fortaleza 2004.

- [5] CEMIG Sistema de detecção de relâmpagos -LPATS. Belo Horizonte, 1996. Comunicação privada.
- [6] Rede Bandeirantes de Energia Sistema de distribuição de energia. São José dos Campos, 1998. Comunicação privada.
- [7] Williams, Earle. A contribuição do Brasil para o Circuito Elétrico Global. Palestra ministrada no Centro Universitário da FEI em 04 de novembro de 2004.
- [8] Pinto Jr., O.; Pinto, I.R.C.A. Relâmpagos. São Paulo, Editora Brasiliense, 1995.
- [9] Zajac, B. A, Rutledge, S.A. Cloud-to-ground lightning activity in the contiguous United States from 1995 to 1999. Monthly Weather Review, 129:999-1019, 2001.
- [10] Susnow, J. Cloud-to-ground lightning over Colorado Springs, Colorado. USAF Academy, 1998. Disponível em http://meteo.pr.erau.edu/atlas/cb.html
- [11] Corso, J. Lightning striking the Empire State Building. In: National Weather Service Forecast Office – Milwaukee/NOAA. Thunderstorms and Lightning. Disponível em http://www.crh.noaa.gov/mkx/slideshow/tstm/index.html
- [12] Corso, J. Intra-cloud lightning flash near Topeka, Kansas. In: National Weather Service Forecast Office – Milwaukee/NOAA. Thunderstorms and Lightning. Disponível em http://www.crh.noaa.gov/mkx/slideshow/tstm/index.html
- [13] National Severe Storms Laboratory. .Severe Thunderstorm Electrification and Precipitation Study. Disponível em: http://www.nssl.noaa.gov/briefings/vol3_no4/steps.h tml
- [14] Edwards, R. Forked, cloud-to-air lightning bolt originating in the *vault* of an LP supercell. In: **Sky**

Pictures. Disponível em http://www.stormeyes.org/tornado/SkyPix/skypixdl. htm

- [15] Gin, R.B.B., C.A.A. Beneti and A. J. Pereira Filho, Cloud-to-ground lightning flash density of South-Southeastern of Brazil. In: International Lightning Detection Conference, Tucson, USA, 2000.
- [16] Pinto, I.R.C.A.; Pinto Jr., O.; Gin, R.B.B.; Diniz, J.H.; Araújo, R.L.; Carvalho, A.M. A coordinated study of a storm system over the south american continent 2. lightning-related data. Journal of Geophysical Research, <u>97</u> (D16) : 18205-18213, Nov. 1992.
- [17] Yagi, Y., Kawato, S., Tsuji,S. Real-Time Omnidirectional Image Sensor (COPIS) for Vision-Guided Navigation, IEEE Trans. Robotics and Automation, pp. 11-22, Vol.10, No.1, 1994.
- [18] Cutler, R. et al. "Distributed Meetings: A Meeting Capture and Broadcasting System", ACM Multimedia, 2002.
- [19] Grassi Júnior, V. Sistema de visão omnidirecional aplicado no controle de robôs móveis. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, 2002.
- [20] Nardi, D.; Riedmiller, M.; Sammut, C.; Santos-Victor, J. (Eds.) RoboCup 2004: Robot Soccer World Cup VIII.
 Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer, Vol. 3276, 2005.
- [21] Svoboda, T. Pajdla, T. "Epipolar Geometry for Central Catadioptric Cameras". International Journal of Computer Vision, 49(1):23-37, August 2002. Disponível em http://cmp.felk.cvut.cz/demos/ Omnivis/index.html.
- [22] Baker, S. e Nayar, S. "Single Viewpiont Cardioptric Cameras". In: In Panoramic Imaging: Sensors, Theory, and Applications. Benosman, R.; Kang, S.B. (Eds.). Springer, 2001.