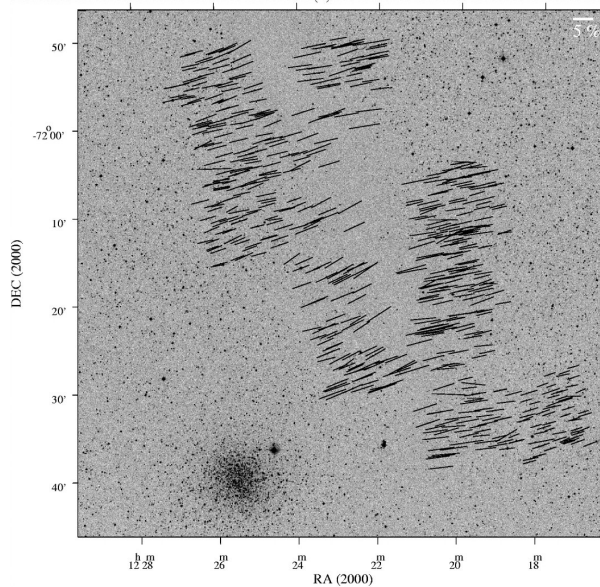
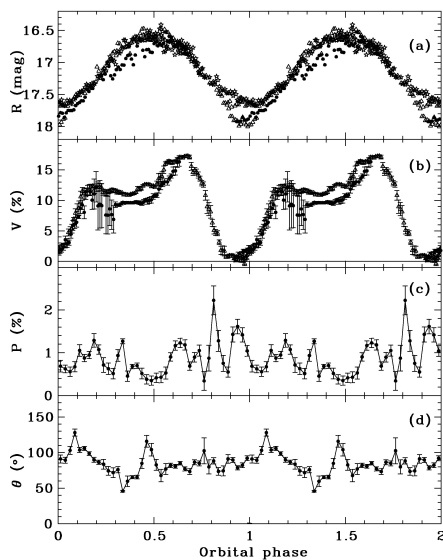


POLARIMETRIA ÓPTICA E NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO E A ASTRONOMIA HOJE

White paper para a
Comissão Especial de Astronomia



Alex C. Carciofi - IAG/USP
Antônio Kanaan - UFSC
Antônio Mário Magalhães - IAG/USP
Antonio Pereyra - ON
Cláudia Vilega Rodrigues - INPE (Organização)
Elisabete de Gouveia dal Pino - IAG/USP
Gabriel Franco - UFMG
Tânia Dominici - LNA

Janeiro/2010

Resumo

Neste documento, discorreremos sobre algumas áreas de pesquisa astrofísica onde a polarimetria no óptico e infravermelho próximo (O/IV) é uma técnica relevante, dando ênfase aos estudos já realizados pela comunidade brasileira. Apresentamos também algumas considerações instrumentais sobre a técnica no sentido de manter e ampliar nossa capacidade polarimétrica.

Não incluímos neste documento as técnicas polarimétricas aplicadas ao Sol, apesar de compartilharem o mesmo domínio espectral, e as em ondas de rádio.

1 Porque medir a polarização

A astrofísica baseia-se quase que exclusivamente na interpretação da radiação eletromagnética oriunda dos astros. Assim, quanto mais completa for a nossa capacidade de extrair informações da emissão detectada, melhor será nossa capacidade de compreensão de um dado objeto de estudo. A radiação eletromagnética pode ser descrita pelos parâmetros de Stokes que descrevem o fluxo e as polarizações linear e circular do feixe recebido. O vetor de Stokes pode variar em comprimento de onda, espaço e tempo. Nesse sentido, a polarimetria complementa a fotometria e a espectroscopia, e deve, sempre que possível, ser também contemplada na instrumentação instalada em nossos observatórios.

A capacidade polarimétrica instalada no Observatório do Pico dos Dias do Laboratório Nacional de Astrofísica (OPD/LNA) em meados da década de 1990 é, supomos que sem exageros, única em termos mundiais. Os dados obtidos com o módulo polarimétrico (Magalhães et al., 1996), acoplado a câmaras ópticas ou à CAMIV, possuem qualidade limitada quase que exclusivamente pelo ruído de fótons e praticamente não possuem equivalentes em outros observatórios. Os exemplos, utilizados na capa, são (1) a polarimetria simultânea de até milhares de objetos em regiões de formação estelar como Musca (Pereyra et al., 2006) e (2) a polarimetria (linear e circular) feita em conjunto com fotometria diferencial de variáveis cataclísmicas magnéticas (Rodrigues et al., 2006). Até o momento, foram publicados mais de 30 trabalhos com dados obtidos com esse instrumento.

2 Ciência usando polarimetria no O/IV

Existem vários contextos astrofísicos onde a polarização surge e pode, portanto, ser usada como sonda das características físicas e geométricas do ambiente de interesse. A polarização pode ser produzida na fonte de radiação ou ao longo do seu caminho até o observador. Um exemplo é a emissão de uma fotosfera estelar que pode ser modificada no ambiente circunstar, situação na qual é comum surgir uma componente polarizada. Apresentamos a seguir áreas de pesquisa onde a polarimetria no O/IV é relevante. Vamos nos ater a áreas onde existe competência na comunidade brasileira, seja ela teórica ou observacional.

2.1 Meio interestelar

Os grãos do meio interestelar (MI) extinguem e polarizam a radiação emitida por estrelas de fundo. A polarização, em particular, ocorre pois os grãos possuem alguma assimetria geométrica e uma distribuição não-aleatória de direções. Os mecanismos sugeridos como causa desse alinhamento envolvem a atuação do campo magnético interestelar (CMI) e são de tal forma que a direção observada da polarização por absorção é a do CMI. Assim, a direção da polarização no O/IV traça a direção do CMI.

A técnica de polarimetria CCD (Magalhães et al., 1996) vem sendo usada no OPD/LNA há pouco mais de uma década e tem se mostrado muito eficiente para estudar as propriedades do CMI. É comum a observação de um único campo com a determinação da polarização para milhares de objetos (e.g., Pereyra & Magalhães, 2007). Uma linha de estudo tradicional é a busca de correlação entre a direção do CMI com direções relevantes do problema, por exemplo, a direção do eixo de simetria do envoltório do objeto estelar jovem, que agora pode ser feita com significância estatística muito maior (e.g., Rodrigues et al., 2009). Adicionalmente, o aumento do número de medidas em uma pequena região do céu proporcionado com essa nova técnica abriu a possibilidade de se estudar não só a direção do CMI, mas também sua dispersão com uma qualidade inédita. Nesse contexto, os resultados de Alves, Franco, & Girart (2008) sugerem que uma maior dispersão do CMI pode ser um indicador de formação estelar.

A polarização interestelar associada a dados do Hipparcos (e futuramente do Gaia) pode ser utilizada para se estimar distâncias precisas a estruturas interestelares (e.g., Alves & Franco, 2006, 2007). Determinações precisas de distância são de grande importância na astrofísica. Nesse caso, em especial, torna-se fundamental quando se deseja estimar a idade de objetos estelares jovens em suas primeiras fases evolutivas.

Ferramentas teóricas para interpretar a distribuição dos vetores de polarização interestelar no contexto das propriedades do MI enquanto um plasma foram desenvolvidas recentemente por Falceta-Gonçalves, Lazarian, & Kowal (2008). Complementarmente, a polarização e extinção interestelares podem ser usadas para modelar a distribuição de tamanhos e a composição química dos grãos interestelares como feito por Rodrigues et al. (1997) para o MI.

2.2 Astrofísica estelar

A radiação de corpo negro é uma ótima primeira aproximação para o contínuo estelar. Assim, espera-se que a emissão estelar seja não polarizada, o que é de fato verdade em muitos casos, mas nem sempre...

As estrelas que apresentam quantidade apreciável de material circunstelar podem apresentar polarização integrada não-nula devido ao espalhamento da luz da estrela central no envelope circundante. Isso ocorre se existe quebra de simetria esférica na fonte (manchas fotosféricas, por exemplo) ou na região de espalhamento, como envelopes com concentração equatorial ou distribuição não-homogênea de matéria. As partículas responsáveis pelo espalhamento são grãos e/ou elétrons. A seguir discorreremos sobre possibilidades de estudos nessa linha.

A densidade eletrônica e geometria de envelopes de estrelas B[e], mesmo em objetos fora da Galáxia, pode ser obtida através de modelos de transporte radiativo como em Melgarejo

et al. (2001). A variação da polarização óptica de estrelas Be em escalas tão curtas quanto horas é um indicativo de eventos discretos de ejeção de massa observados na região interna do disco (Carciofi et al., 2007). Mesmo envelopes tão densos quanto o de estrelas Wolf-Rayet possuem evidências de assimetrias passíveis de modelamento numérico (Rodrigues & Magalhães, 2000).

A distribuição de matéria circunstelar pode ser tão complexa quanto geometrias bipolares. Em protonebulosas planetárias, por exemplo, isso pode ocorrer devido a diferentes episódios de perda de massa de características distintas. Em objetos estelares jovens, por outro lado, a geometria bipolar surge de uma combinação dos resquícios do reservatório de matéria para a formação estelar com os efluxos polares de matéria. Exemplos do estudo da geometria do envelope e características físicas e geométricas dos grãos em objetos como esses podem ser encontrados em Pereyra et al. (2009), Pereyra, Magalhães, & de Araújo (2009) e Rodrigues et al. (2003).

Mesmo na ausência de material circunstelar e manchas fotosféricas, existe uma polarização no limbo estelar resultante da opacidade não-infinita da fotosfera. A luz integrada de estrelas é não-polarizada devido à simetria circular. Durante a ocultação/eclipse em sistemas binários, porém, a simetria é quebrada de modo que se pode obter informações dos objetos do par através da assinatura da polarização. Isso permite estudar, por exemplo, planetas extra-solares como feito por Carciofi & Magalhães (2005).

Outro exemplo de polarização originada por espalhamento é aquela observada em supernovas (SNs). Foi sugerida uma dicotomia entre as SNs de tipo Ia, que apresentam polarização muito pequena ou nula, e as originadas por colapso do núcleo, as de tipo II, IIb e Ic, que mostram uma polarização considerável, o que indica que nesses objetos algum tipo de assimetria está presente. Exemplos de medidas de cada um desses casos são apresentados em Pereyra et al. (2006) e Pereyra & Magalhães (2005). Porém, a estatística ainda é pobre e observações complementares precisam ser realizadas para definir se essa distinção é de fato verdadeira.

A polarização pode também existir na luz integrada de estrelas quando existe emissão intrinsecamente polarizada. Este é o caso da emissão ciclotrônica que domina o fluxo óptico dos sistemas binários denominados polares ou sistemas do tipo AM Her. Nessas binárias compactas existe a transferência de matéria da chamada secundária para a primária, uma anã branca, que é canalizada via linhas de campo magnético e forma um choque na região próxima da anã branca que é de onde provêm a maior parte da emissão do sistema. A polarização óptica desses sistemas, principalmente a circular, é o principal observável para a caracterização das propriedades físicas e geométricas da região e quebra a degenerescência dos modelos existentes quando apenas o fluxo é ajustado. Exemplos de trabalhos teóricos e observacionais são Rodrigues, Cieslinski, & Steiner (1998), Rodrigues et al. (2006) e Costa & Rodrigues (2009).

2.3 Núcleos ativos de galáxias

A polarização tem várias aplicações em núcleos ativos de galáxias, mas é particularmente importante para o estudo de blazares. Esses objetos são a classe de núcleos ativos de galáxias que apresentam variações de brilho com características extremas em todas as faixas do espectro eletromagnético: altas amplitudes, escalas de tempo curtas e ausência de evidências

de periodicidades. Acredita-se que a maior parcela destes eventos esteja relacionada a um jato relativístico orientado próximo à linha de visada. Na maioria dos casos, as medidas de polarização são a única ferramenta disponível para estudar a estrutura destas fontes compactas. Observações polarimétricas indicam que as variações de brilho não podem ser explicadas como sendo provenientes de uma única fonte homogênea, mas talvez pela superposição da contribuição de diferentes componentes (Dominici, Abraham, & Galo, 2006; Dominici et al., 2008). A distribuição espectral de energia é predominantemente não térmica e caracterizada por dois picos: o primeiro, entre o infravermelho próximo e os raios-X, seria causado por radiação sincrotrônica, enquanto que o segundo, entre os raios-X e gama, seria produzido por espalhamento Compton de fótons externos ou por aqueles gerados através do processo síncrotron.

Com o desenvolvimento da astronomia de raios-gama, em particular através do recente início das operações dos telescópios H.E.S.S. e Fermi, iniciou-se uma nova era na investigação dos blazares. Até então não era possível medir a posição em frequência do pico em altas energias. Observações simultâneas no O/IV são essenciais para estudar a relação entre as duas componentes da distribuição espectral de energia. Seriam elas originadas pela mesma população de partículas? A detecção de emissão em altas energias em galáxias próximas com jatos desalinhados (M87, por exemplo, Aharonian et al. 2003) torna fundamental a monitoria polarimétrica com o objetivo de obter vínculos definitivos acerca do sítio onde estaria ocorrendo a aceleração de partículas.

2.4 Cosmologia

Recentemente, a polarização da radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM) foi apontada como um dos principais observáveis cosmológicos e sua medida está incluída em missões espaciais como WMAP, PLANCK e CMBPol. Porém, os estudos da RCFM são muito dependentes da correta subtração da componente de origem não-cosmológica. A principal delas origina-se no MI Galáctico. A contribuição devida a grãos domina frequências acima de 70 GHz e é, portanto, fundamental determiná-la corretamente. Esses grãos são também os responsáveis pela polarização interestelar no O/IV. Iniciativas no sentido de combinar dados no óptico (OPD) e no sub-milimétrico (PLANCK e PILOT, um experimento em balão) com modelos de grãos já estão em curso. Isso permitirá uma melhor restrição das propriedades ópticas e geométricas dos grãos interestelares e assim sua contribuição nas observações cosmológicas.

3 Considerações instrumentais

A técnica polarimétrica baseia-se na inclusão de um retardador e um polarizador no feixe. Assim, um instrumento com capacidade polarimétrica não possui nenhuma dificuldade de construção intrínseca que possa ser considerada como um argumento contrário à sua inclusão entre as opções a serem planejadas em um dado observatório. Entretanto, focos que incluam reflexões não-normais, i.e. ângulos diferentes de zero graus, introduzem uma polarização instrumental que impossibilita o uso eficiente de técnicas polarimétricas. Esse é o caso, por exemplo, do foco Nasmyth em telescópios alto-azimutais.

Medidas de polarização simultâneas em diferentes bandas, séries com alta resolução temporal e espectropolarimetria são alguns exemplos de implementação instrumental que favoreceriam várias das linhas de pesquisa de interesse de significativa parcela da comunidade astronômica brasileira.

Dentro do cenário internacional, a implementação da polarimetria no *Large Synoptic Survey Telescope* (LSST) é discutida em [Magalhães et al. \(2009\)](#).

4 Conclusão

Em vista do amplo espectro de estudos que podem ser realizados através da polarimetria e da contribuição brasileira na área, consideramos importante que as discussões de iniciativas de instrumentação óptica e infravermelha a serem desenvolvidas considerem a inclusão da capacidade polarimétrica. Deve ser também ampliado o desenvolvimento de ferramentas teóricas para a interpretação desse tipo de dados.

Referências

- Aharonian, F. et al. (H.E.S.S. collaboration), 2003, *A&A*, 403, 1
- Alves F. O., Franco G. A. P., 2006, *MNRAS*, 366, 238
- Alves F. O., Franco G. A. P., 2007, *A&A*, 470, 597
- Alves F. O., Franco G. A. P., Girart J. M., 2008, *A&A*, 486, L13
- Carciofi A. C., Magalhães A. M., 2005, *ApJ*, 635, 570
- Carciofi A. C., Magalhães A. M., Leister N. V., Bjorkman J. E., Levenhagen R. S., 2007, *ApJ*, 671, L49
- Costa J. E. R., Rodrigues C. V., 2009, *MNRAS*, 398, 240
- Dominici T. P., Abraham Z., Galo A. L., 2006, *A&A*, 460, 665
- Dominici T., Abraham Z., Pereyra A., Magalhães A. M., 2008, Workshop on Blazar Variability across the Electromagnetic Spectrum, http://pos.sissa.it/archive/conferences/063/035/BLAZARS2008_035.pdf
- Falceta-Gonçalves D., Lazarian A., Kowal G., 2008, *ApJ*, 679, 537
- Magalhães A. M., Rodrigues C. V., Margoniner V. E., Pereyra A., Heathcote S., 1996, *ASPC*, 97, 118
- Magalhães A. M. et al., 2009, http://www.astro.iag.usp.br/~mario/PAPERS/LSST_Polarimetry_rev.pdf
- Melgarejo R., Magalhães A. M., Carciofi A. C., Rodrigues C. V., 2001, *A&A*, 377, 581
- Pereyra A., Magalhães A. M., 2005, *A&A*, 432, L53
- Pereyra A., Magalhães A. M., Rodrigues C. V., Silva C. R., Campos R., Hickel G., Cieslinski D., 2006, *A&A*, 454, 827
- Pereyra A., Magalhães A. M., 2007, *ApJ*, 662, 1014
- Pereyra A., Magalhães A. M., de Araújo F. X., 2009, *A&A*, 495, 195
- Pereyra A., Girart J. M., Magalhães A. M., Rodrigues C. V., de Araújo F. X., 2009, *A&A*, 501, 595
- Rodrigues C. V., Magalhaes A. M., Coyne G. V., Piirola V., 1997, *ApJ*, 485, 618
- Rodrigues C. V., Magalhães A. M., 2000, *ApJ*, 540, 412
- Rodrigues C. V., Jablonski F. J., Gregorio-Hetem J., Hickel G. R., Sartori M. J., 2003, *ApJ*, 587, 312
- Rodrigues C. V., Cieslinski D., Steiner J. E., 1998, *A&A*, 335, 979
- Rodrigues C. V., Jablonski F. J., D'Amico F., Cieslinski D., Steiner J. E., Diaz M. P., Hickel G. R., 2006, *MNRAS*, 369, 1972
- Rodrigues C. V., Sartori M. J., Gregorio-Hetem J., Magalhães A. M., 2009, *ApJ*, 698, 2031