

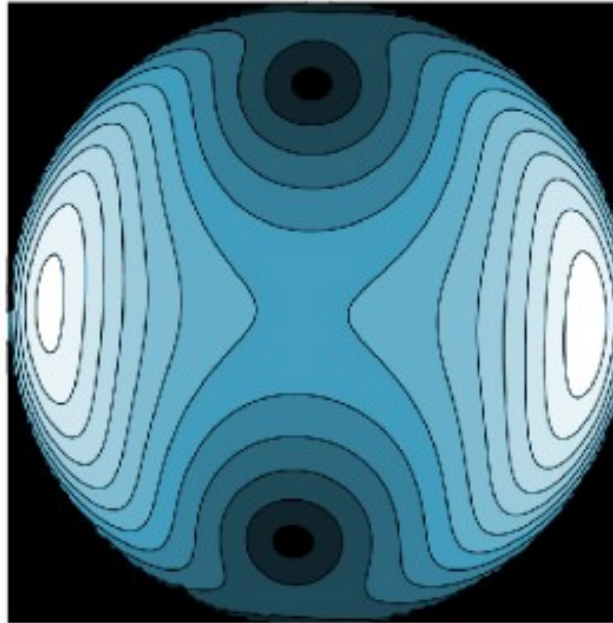
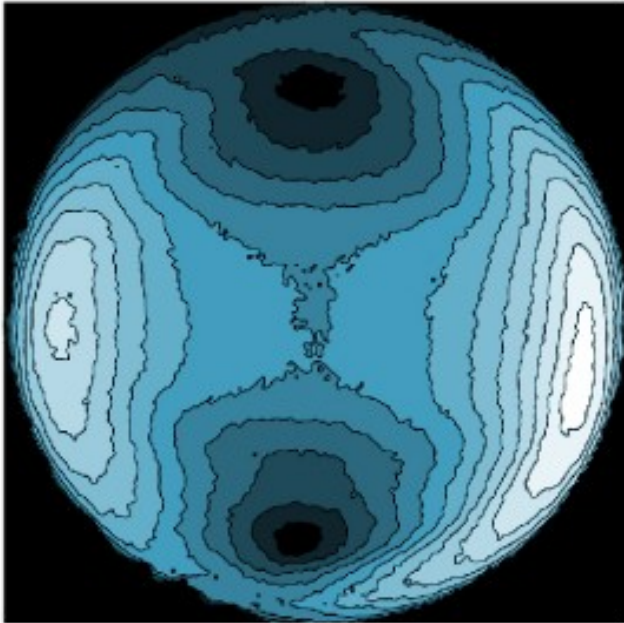
Polarização do céu



Padrão de polarização do céu, registrada com o auxílio de um filtro polarizador linear. (Harald Edens, www.weather-photography.com)

Contornos e intensidade de polarização do céu

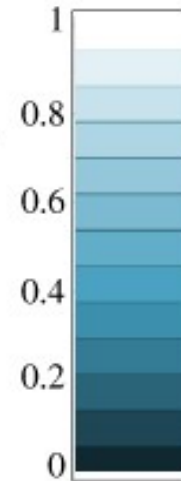
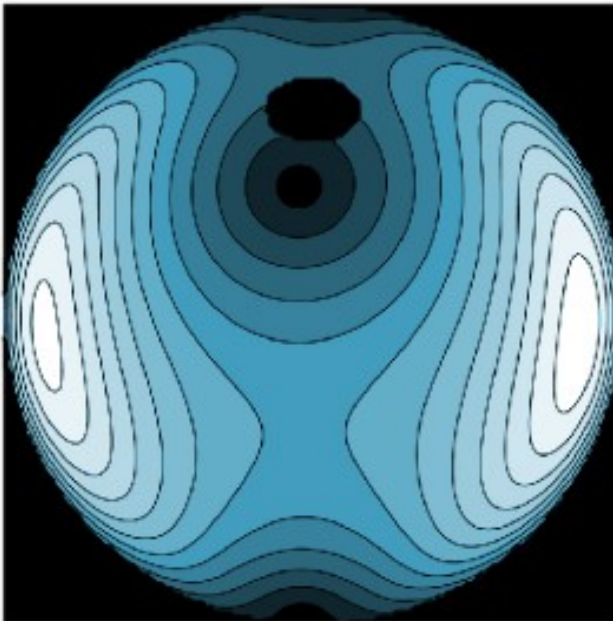
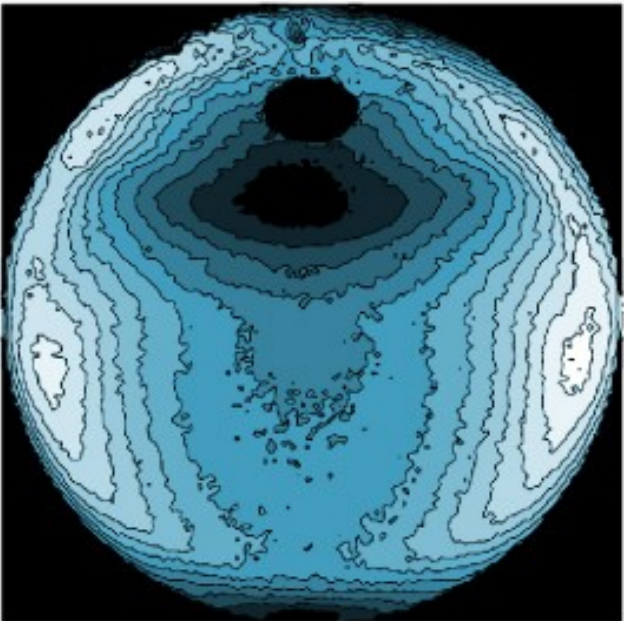
a



**Polarization singularities
in the clear sky**

M V Berry et al 2004 New
J. Phys. 6 162

b



Dados observados

Modelo teórico

1ª) Tomada preliminar de dados – 6 fotos

Nikon COOLPIX3200

2006/07/08 16:18:27

JPEG (8-bit) Normal

Image Size: 1024 x 768

Color

ConverterLens: None

Focal Length: 17.4mm

Scene Mode: Beach/Snow

Metering Mode: Multi-Pattern

Exposure Comp.: 0 EV

Sensitivity: Auto

White Balance: Auto

AF Mode: AF-S

Tone Comp: Auto

Flash Sync Mode: Not Attached

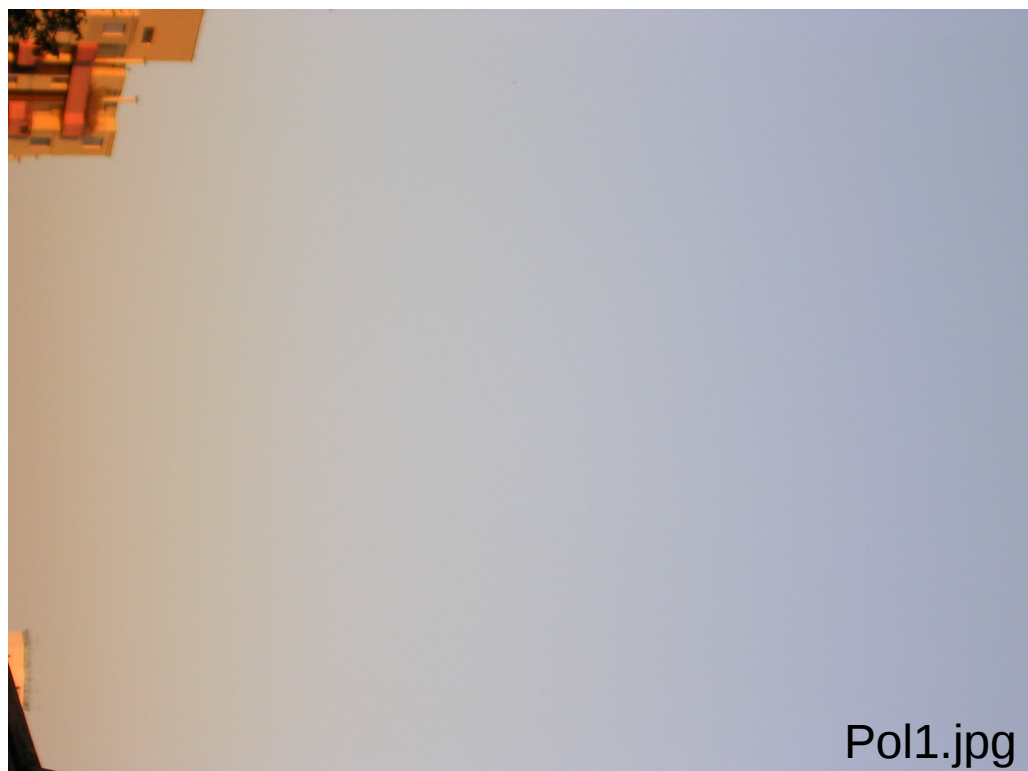
Digital Zoom Ratio: 1.00

Saturation comp: 0

Sharpening: Auto

Obs.: Não foi tomado o cuidado em se manter um encaixe entre as fotos, somente a ordem das fotografias em direção ao zênite.

Nome da foto	tempo de exposição	abertura
Pol1.jpg	1/120 sec	F/4.9
Pol2.jpg	1/79.6 sec	F/4.9
Pol3.jpg	1/44.7 sec	F/4.9
Pol4.jpg	1/37.4 sec	F/4.9
Pol5.jpg	1/37.5 sec	F/4.9
Pol6.jpg	1/53.7 sec	F/4.9



2ª) Fotos em cores - 2 fotos

Nikon COOLPIX3200

2006/07/09 16:32:12

JPEG (8-bit) Fine

Image Size: 2048 x 1536

ConverterLens: None

Focal Length: 5.8mm

Scene Mode: Panorama Assist

Metering Mode: Multi-Pattern

Exposure Comp.: 0 EV

Sensitivity: Auto

White Balance: Auto

AF Mode: AF-S

Tone Comp: Auto

Flash Sync Mode: Not Attached

Digital Zoom Ratio: 1.00

Saturation comp: 0

Sharpening: Auto

Nome da foto	tempo de exposição	abertura
Horizonte.jpg	1/275.3 sec	F/2.8
zenite.jpg	1/275.3 sec	F/2.8



foto do zênite (zenite.jpg) à esquerda e do horizonte (horizonte.jpg) à direita (as nuvens mostram o encaixe entre as fotos) da 2ª tomada de dados

3ª) Fotos em preto e branco – 2 fotos

Nikon COOLPIX3200

2006/07/09 16:33:01

JPEG (8-bit) Fine

Image Size: 2048 x 1536

ConverterLens: None

Focal Length: 5.8mm

Exposure Mode: Programmed Auto

Metering Mode: Multi-Pattern

Exposure Comp.: 0 EV

Sensitivity: Auto

White Balance: Auto

AF Mode: AF-S

Tone Comp: B&W

Flash Sync Mode: Not Attached

Digital Zoom Ratio: 1.00

Saturation comp: Monochrome

Sharpening: Auto

Nome da foto	tempo de exposição	abertura
Horizonte_pb.jpg	1/144.7 sec	F/5.6
Zenite_pb.jpg	1/276 sec	F/2.8

As fotos relacionadas ao zênite das 2 últimas tomadas de dados possuem o solo do lado esquerdo da foto, enquanto as relacionadas ao horizonte tem o solo do lado direito. Nas tomadas preliminares, as fotos foram tiradas do solo (pol1.jpg, solo à esquerda) em direção ao zênite (pol6.jpg, solo à direita). Quanto ao “solo” das fotos de zênite, é o encontro do céu com um telhado, que se encontrava a aproximadamente 100° a partir do horizonte.

4ª) Foto em cores do horizonte (inversão térmica 2.jpg)

Nikon COOLPIX3200

2006/07/12 16:26:44

JPEG (8-bit) Fine

Image Size: 2048 x 1536

Color

ConverterLens: None

Focal Length: 5.8mm

Exposure Mode: Programmed Auto

Metering Mode: Multi-Pattern

1/150 sec - F/5.6

Exposure Comp.: 0 EV

Sensitivity: Auto

White Balance: Auto

AF Mode: AF-S

Tone Comp: Normal

Flash Sync Mode: Not Attached

Digital Zoom Ratio: 1.00

Saturation comp: 0

Sharpening: Auto



A fotografia foi tirada aproximadamente 48 horas depois das chuvas, ocasionadas pela chegada de uma frente fria, cessarem. Isso deve causar uma diminuição significativa na poluição e material particulado próximo ao horizonte.

inver_cantar.JPG
Nikon COOLPIX3200
2006/07/16 14:09:27
JPEG (8-bit) Fine
Image Size: 1536 x 2048
Color
ConverterLens: None
Focal Length: 5.8mm
Exposure Mode: Programmed Auto
Metering Mode: Multi-Pattern
1/276.7 sec - F/5.6
Exposure Comp.: 0 EV
Sensitivity: Auto
White Balance: Auto
AF Mode: AF-S
Tone Comp: Normal
Flash Sync Mode: Front Curtain
Digital Zoom Ratio: 1.00
Saturation comp: 0
Sharpening: Auto



A fotografia da camada de poluição próxima ao solo foi tirada na Pedra Grande, Serra da Cantareira (São Paulo, SP), 6 dias após a última chuva na cidade.

5ª) Fotos para o máximo de polarização

maximo.JPG

Nikon COOLPIX3200

2006/07/16 09:02:15

JPEG (8-bit) Fine

Image Size: 2048 x 1536

Color

ConverterLens: None

Focal Length: 5.8mm

Exposure Mode: Programmed Auto

Metering Mode: Multi-Pattern

1/427.7 sec - F/2.8

Exposure Comp.: 0 EV

Sensitivity: Auto

White Balance: Auto

AF Mode: AF-S

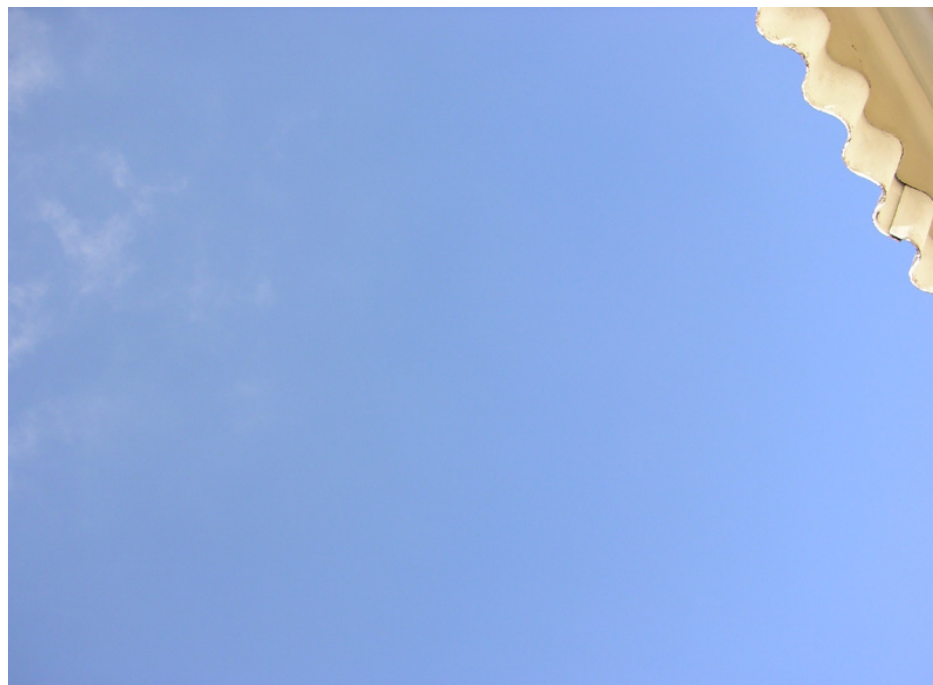
Tone Comp: Normal

Flash Sync Mode: Not Attached

Digital Zoom Ratio: 1.00

Saturation comp: 0

Sharpening: Auto



Para comparação de horários, foi utilizada uma foto da região da mesma região do céu da figura 2.5, mas para um horário onde não havia previsão de máxima polarização, com o sol a 160° do horizonte (zenite.jpg, invertida horizontalmente de modo que o telhado ficasse do lado direito da foto)

Para as outras datas de registro fotográfico, temos os seguintes cálculos para confirmar a posição do Sol:

Data	Nasc.	PMer.	Ocas.	Casta
dd/mm	hh:mm	hh:mm	hh:mm	hh:mm
08/07	06:50	12:16	17:42	19:01
09/07	06:50	12:17	17:42	19:01
12/07	06:50	12:17	17:44	19:02
13/07	06:50	12:17	17:44	19:02
17/07	06:49	12:18	17:46	19:04

Castm	Cnaum	Ccivm	Cciva	Cnaua
hh:mm	hh:mm	hh:mm	hh:mm	hh:mm
05:31	05:58	06:26	18:06	18:34
05:31	05:58	06:26	18:06	18:34
05:31	05:58	06:26	18:07	18:35
05:31	05:58	06:26	18:08	18:35
05:31	05:58	06:25	18:09	18:37

Castm= Crepusculo Astronomico da Madrugada do Astro [hh:mm Fuso -3:00h], que é o período em que o Sol se encontra entre 18 e 12 graus abaixo do horizonte

Cnaum= Crepusculo Nautico da Madrugada do Astro [hh:mm Fuso -3:00h], que é o período em que se encontra entre 12 e 6 graus abaixo do horizonte

Ccivm= Crepusculo Civil da Madrugada do Astro [hh:mm Fuso -3:00h], que é o período em que se encontra 6 graus ou menos abaixo do horizonte

Nasc.= Nascimento do Astro [hh:mm Fuso -3:00h]

PMer.= Passagem Meridiana [hh:mm Fuso -3:00h], que é o instante em que o astro cruza o meridiano local (quando a altura do astro atinge o maior valor)

Ocas.= Ocaso do Astro [hh:mm Fuso -3:00h]

Cciva= Crepusculo Civil do Anoitecer do Astro [hh:mm Fuso -3:00h]

Cnaua= Crepusculo Nautico do Anoitecer do Astro [hh:mm Fuso -3:00h]

Casta= Crepusculo Astronomico do Anoitecer do Astro [hh:mm Fuso -3:00h]

Polarização próximo ao horizonte e céu intermediário (duas fotografias)

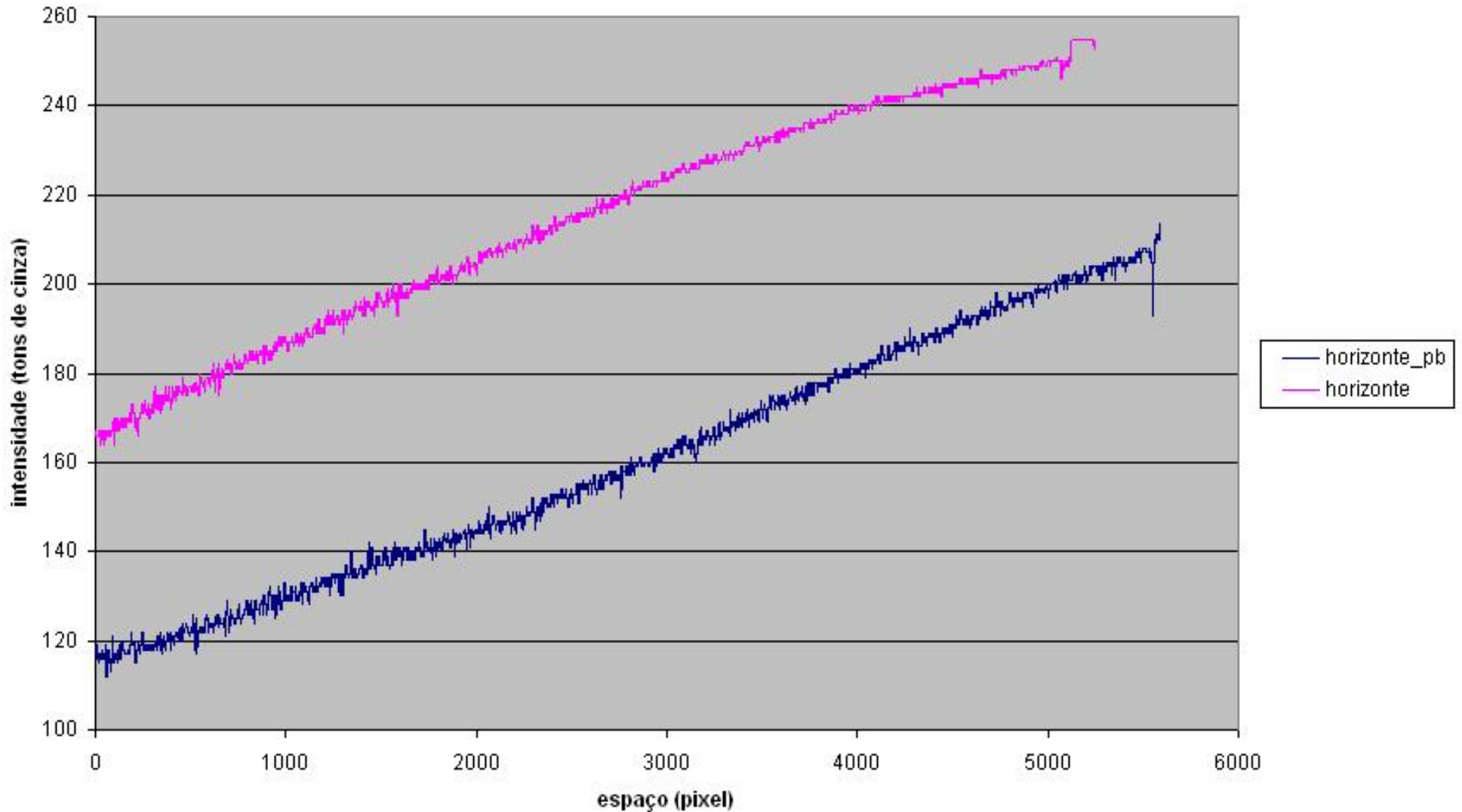


Gráfico 1: horizonte, intensidade dos tons de cinza por distância em pixels (quanto maior a distância, maior a proximidade com o solo). “horizonte_pb” em azul e “horizonte” em vermelho

Conforme o gráfico do horizonte (quanto maior a distância, maior a proximidade com o solo), percebe-se que quanto mais próximo do solo, maior o número na escala de cinza, ou seja, mais próximo do branco.

Não foi considerada uma distância abaixo de 30° , o que não faz aparecer a primeira camada de inversão. Isso foi verificado na tomada preliminar de dados (pol1.jpg), na qual os tons de cinza ficavam mais próximos do branco conforme subia em relação ao solo, isso devido à poluição, até a camada de inversão térmica, onde o céu é mais limpo e começa a prevalecer o efeito da polarização do céu.

Até o dia da fotografia, o local estava 6 dias sem chuva ou ventos fortes. A fotografia "horizonte pb" teve a metade da abertura, o que resultou numa intensidade menor em todos os pontos (reta com mesmo coeficiente angular, mas diferente coeficiente linear).

Polarização próximo ao zênite (duas fotografias)

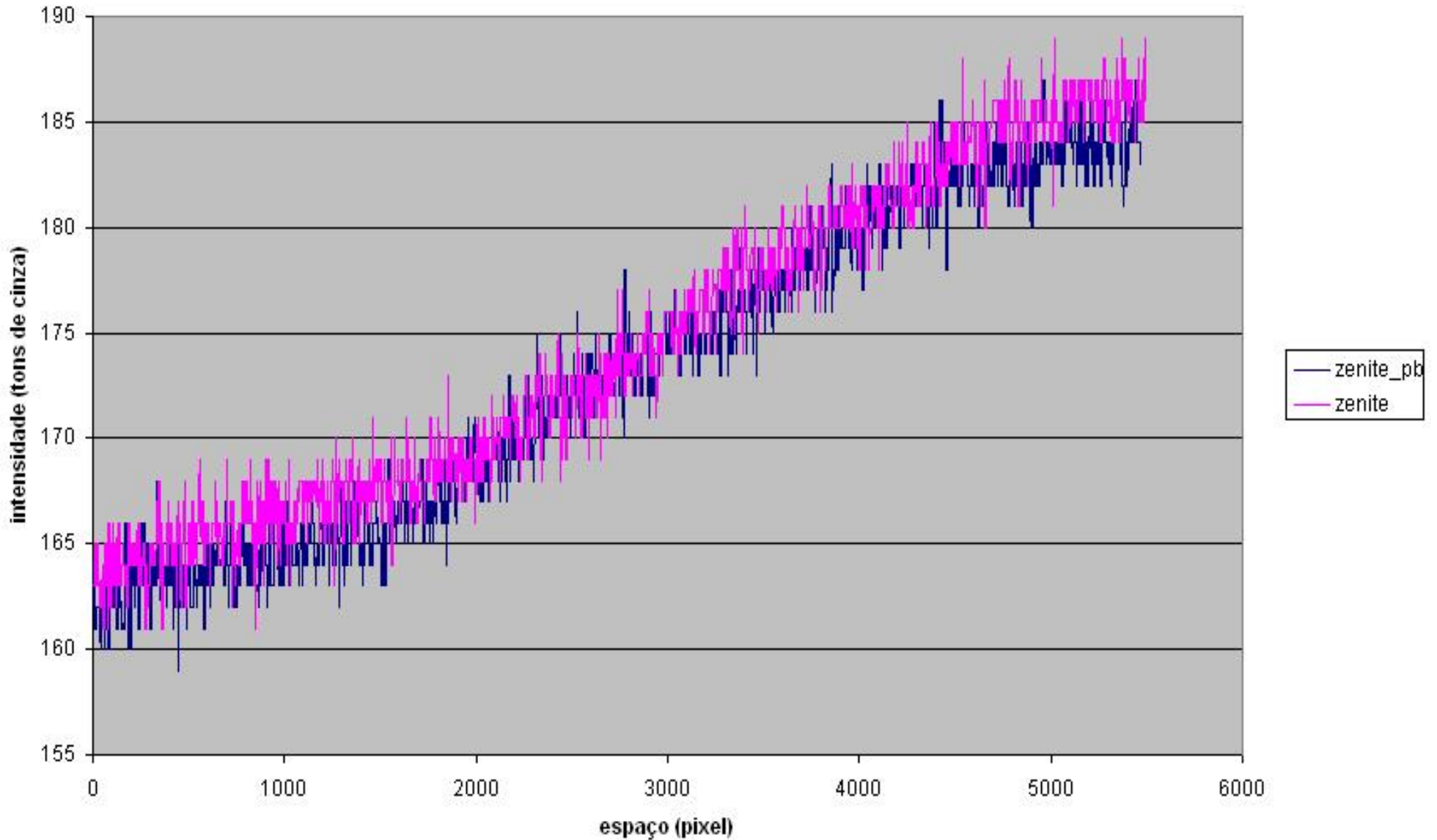


Gráfico 2: zênite, intensidade dos tons de cinza por espaço em pixels (quanto maior a distância, mais longe do zênite). “zenite_pb” em azul e “zenite” em vermelho

Conforme o gráfico do zênite (quanto maior a distância, mais longe do zênite), os tons de cinza variavam pro branco quanto mais distante do zênite. Isso era esperado, devido à polarização no zênite ser mais presente. As linhas de “zenite” e “zenite_pb” mostraram-se compatíveis, o que era esperado devido ao tempo de exposição e abertura serem os mesmos.

Para uma análise sem pontos repetidos, foi realizado um gráfico a partir da união das fotos, o que esperava-se resultar aproximadamente em uma reta, mas como as fronteiras da foto não são compatíveis, não foi possível nenhuma conclusão satisfatória.

Polarização próxima ao horizonte

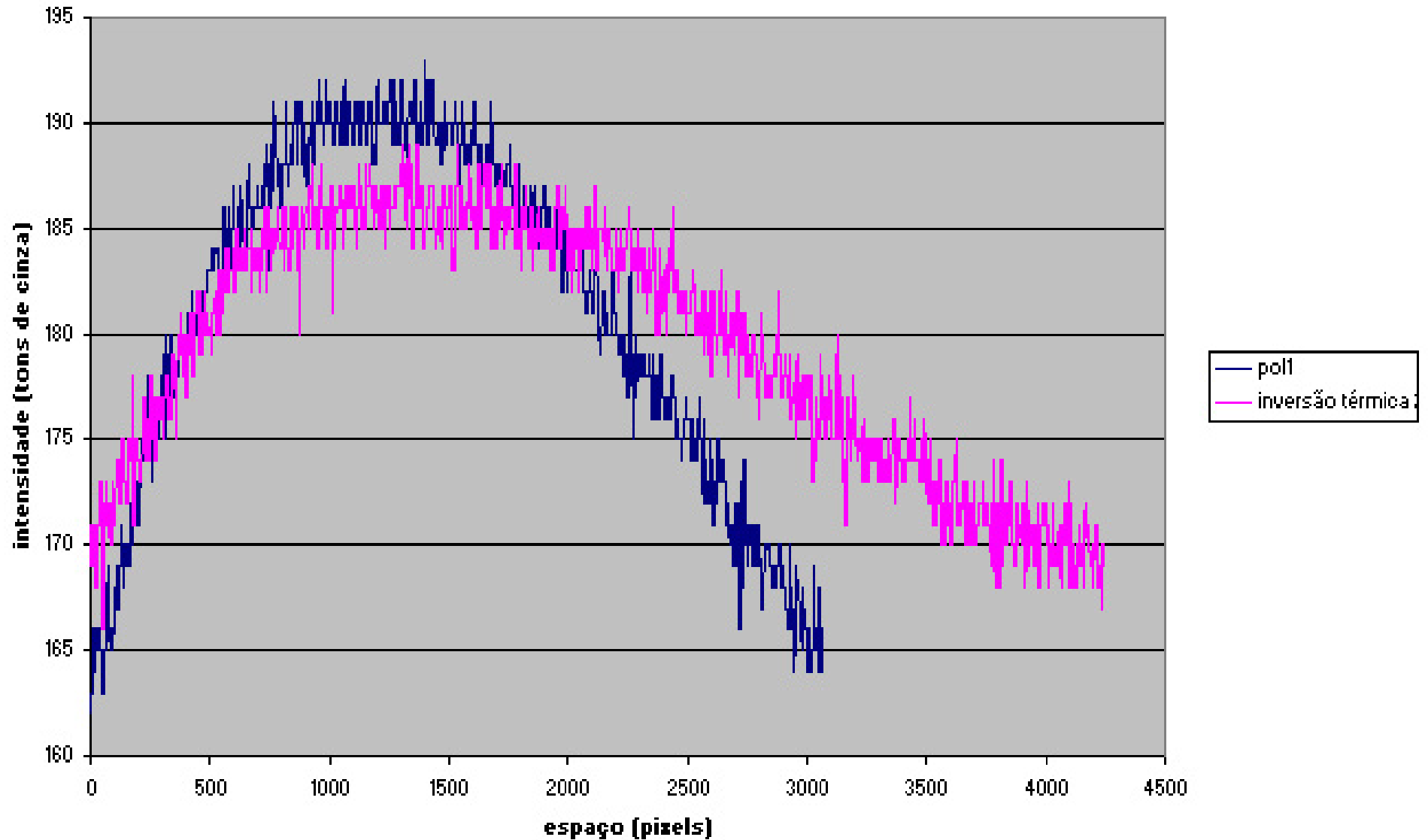


Gráfico 3: linhas das figuras “pol1.jpg” e “inversão térmica 2.jpg”, num gráfico de espaço, dado em pixels, pela intensidade, dada em tons de cinza (quanto menor o número, mais escuro e portanto maior a polarização)

Quanto ao estudo da inversão térmica e efeito dos aerossóis na polarização, foi realizada outra fotografia (inversão térmica 2.jpg) e foi comparada com outra fotografia tirada em data anterior com o horizonte (pol1.jpg). No intervalo entre as fotos, houve a chegada de uma frente fria, ocasionando precipitação e redução de material particulado e poluição com partículas difusivas. Foi realizado o gráfico 3, contendo as duas curvas de intensidade de polarização pela altura no céu.

A fotografia referente à 4ª tomada de dados (dia 12/7, após a passagem da frente fria dos dias 9 e 10/7) foi realizada com uma resolução maior, portanto apresenta um número maior de pontos e uma aparente suavização do padrão. Pode-se ver que em ambos os casos ocorre a inversão térmica, pois a polarização enfraquece até uma certa altura e depois volta a aumentar. Esse enfraquecimento é devido às partículas no ar que refletem a luz de maneira não polarizada, fazendo o céu parecer mais branco. Isso ocorre na inversão térmica da troposfera, e pode-se notar que o pico de “não polarização” do gráfico é maior antes da passagem da frente fria que depois, ou seja, a polarização ocorre mais quando tem-se menos partículas em suspensão na atmosfera. Isso era esperado, pois há uma diferença na coloração do céu perceptível visualmente a olho nu quando a poluição é muita e está acumulada por dias sem chuva através do fenômeno da inversão térmica.

O tempo de exposição da “pol1.jpg” e a abertura (1/120 e F/4.9) foram ligeiramente maiores que a da “inversão térmica 2.jpg” (1/150 e F/5.6), mas pelo gráfico vê-se que isso não foi relevante aos resultados obtidos, pois essa diferença refletiria apenas em um deslocamento do gráfico todo ao longo do eixo das ordenadas.

Vista de SP a partir da Serra da Cantareira

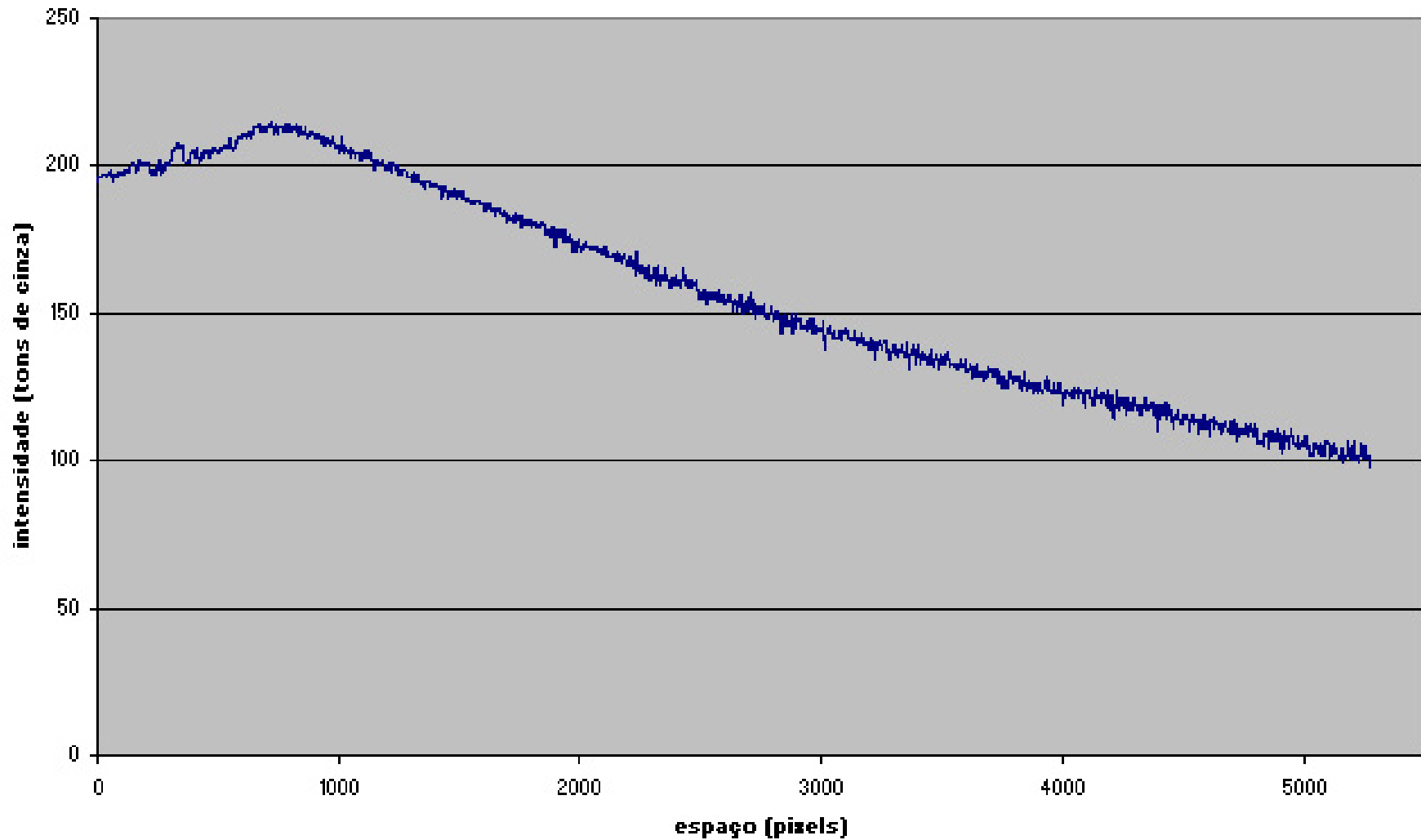


Gráfico 4: linha da figura “inver_cantar.jpg”, num gráfico de espaço, dado em pixels, pela intensidade, dada em tons de cinza (quanto menor o número, mais escuro e portanto maior a polarização)

Também foi feita uma fotografia da cidade de São Paulo vista a partir da Pedra Grande, na Serra da Cantareira. A região completava 6 dias sem chuva na ocasião da foto. Pode-se ver a olho nu a camada de inversão térmica com os poluentes presos próximos ao solo, e o gráfico 4 mostra essa camada como um patamar de valores bem próximos do branco (ou seja, polarização difusa).

Para o local e o horário de maior polarização no céu foram realizados os seguintes cálculos:

Todos os valores e resultados da conta devem ser aplicados na trajetória do Sol ao longo do céu.

Para o dia 13/07:

$$\Delta t = \text{Ocas.} - \text{Nasc.} = 17:44 - 6:50 = 10:54 = 654 \text{min}$$

Sabendo-se que em 654 minutos o Sol percorre 180° , estará em 37° após 134,43min (por regra de três), e estará em 143° (o caso simétrico) após 519,56min. Assim, os horários para a maior polarização ocorrerão às 9h4min e 15h29min, estando o Sol na posição 127° e 53° , respectivamente. Isso leva em conta que esperamos que a maior polarização deverá ocorrer em aproximadamente 90° em relação ao Sol, enquanto ele estiver a 37° de altura em relação ao horizonte.

Hora da captura: 9h02min

Direção/sentido da região do céu fotografada: 250°

Direção do Sol no momento da captura: 80°

Conclusões

- As fronteiras das fotografias não são compatíveis, mesmo sendo realizadas com 2 segundos de diferença, o que impossibilitou uma análise através da composição de imagens para uma região maior do céu que a captura da máquina podia registrar.
- Foi verificado o aumento na reflexão de luz não polarizada por parte de material particulado e poluição próximo ao horizonte devido ao fenômeno da inversão térmica, assim como sua redução após a ocorrência de precipitação
- Teoricamente há direções diferentes de polarização no céu, mas isso não foi possível detectar com o aparato experimental disponível.
- Foi calculado o horário e a posição no céu que ocorreria o pico de polarização no dia. A região prevista teoricamente foi correspondida pelo experimental, mas quanto ao horário, isso não pôde ser verificado devido à diferença não conseguir ser captada pela máquina. A incerteza da intensidade do tom de cinza foi coberta pela incerteza do tempo de exposição, tornando as exposições da mesma região para diferentes horários equivalentes em intensidade.
- O não-controle do tempo de exposição e abertura do diafragma da máquina dificultaram bastante a obtenção de imagens boas para se tratar os dados (ou seja, com tempo de exposição e abertura aproximadamente iguais).