

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

Marcelo Henrique Salloum dos Santos

**TÉCNICAS DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA  
OBTENÇÃO DE PROFUNDIDADE DE CAMPO  
INFINITA E INFORMAÇÕES TRIDIMENSIONAIS DE  
CENAS**

Florianópolis

2013



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NATUREZA E CARACTERÍSTICAS DO FOCO</b>	<b>5</b>
2.1	DISTÂNCIA FOCAL	6
<b>2.1.1</b>	<b>Equações Envolvidas</b>	<b>7</b>
2.2	CÍRCULOS DE CONFUSÃO	8
2.3	PROFUNDIDADE DE CAMPO	10
<b>3</b>	<b>PROFUNDIDADE PELO FOCO (<i>DEPTH FROM FOCUS</i>)</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS?</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>19</b>
5.1	FORMATAÇÃO DO TEXTO	19
<b>5.1.1</b>	<b>Formatação do texto</b>	<b>19</b>
5.1.1.1	As ilustrações	19
5.1.1.2	Equações e fórmulas	21
<b>5.1.2</b>	<b>Exemplo de como gerar a lista de símbolos e abreviaturas</b>	<b>21</b>
5.1.2.1	Exemplo de citações no L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X	22
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>25</b>
	<b>APÊNDICE A – Exemplificando um Apêndice</b>	<b>27</b>
	<b>ANEXO A – Exemplificando um Anexo</b>	<b>29</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Os mecanismos ópticos, tais como o olho humano, câmeras de vídeo e fotográficas, funcionam através do mapeamento de uma cena tridimensional para um plano bidimensional, seja ele a retina do olho, um filme fotográfico ou um receptor fotossensível.

Um sistema de visão computacional percorre o caminho inverso, extraindo informações — geralmente tridimensionais — a partir de imagens bidimensionais (1). Para tal, é necessário controlar determinadas variáveis do sistema a fim de isolar um número menor de dados que serão utilizados para inferir algumas das dimensões presentes na cena.

Os métodos tradicionais para aquisição da profundidade incluem sonares e lasers, que possuem limitação na latitude de exposição, e métodos de processamento de imagens tais como a paralaxe e a visão estéreo, que são limitados em avaliar pequenas diferenças de profundidade devido à ambiguidade de correspondências (2), uma vez que a informação percebida não é suficiente para que seja obtida uma solução única e exata para qualquer entrada (3).

Entretanto, informações sobre a profundidade dos objetos de uma cena podem ser recuperadas através de técnicas monoculares não intrusivas, sem que haja problemas de ambiguidade na correspondência. Particularmente, a profundidade pode ser computada a partir do foco, analisando uma cena enquanto varia-se a configuração focal e determinando o foco correto para cada objeto da cena. Dada uma câmera com foco ajustável existe uma correspondência do tipo um-para-um entre a posição da lente e a distância ao plano de foco. Portanto, a configuração do foco determina a profundidade (2).

Existem alguns trabalhos que tentam avaliar a distância entre o objeto e a câmera para componentes da cena bem focados **vários, ex: Jarvis, 1983**. Essa avaliação de distância e qualidade do foco — utilizada também em métodos de foco automático em câmeras e celulares — é parte fundamental do trabalho aqui apresentado a fim de inferir a profundidade pelo foco, referenciado na literatura inglesa como *Depth From Focus* (DFF) ou *Depth From Defocus* (DFD).

...

...

...

...

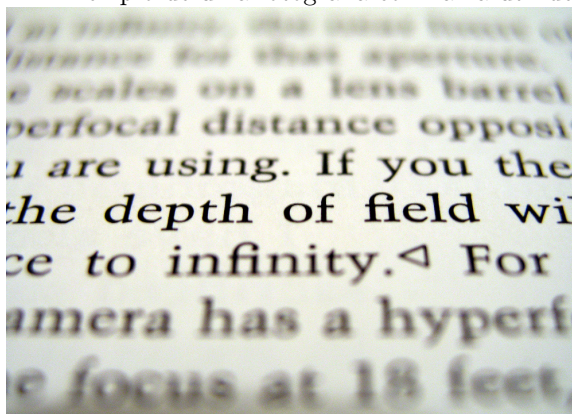


## 2 NATUREZA E CARACTERÍSTICAS DO FOCO

Uma vez que a avaliação da profundidade através do foco depende da nitidez da fotografia faz-se necessária uma análise de como a configuração de uma câmera interfere nesse parâmetro (a nitidez) e como se faz para adquirir um grau de nitidez interessante a esse fim. Neste capítulo, estes pontos serão abordados a fim de estabelecermos como resolver o problema de **profundidade pelo foco**.

Um exemplo de faixa de nitidez útil é apresentada na Figura 1. É possível observar que apenas uma parte da cena está nítida e algumas regiões estão mais borradas que outras.

Figura 1 – Exemplo de uma fotografia com faixa útil de nitidez.



Fonte: página *Depth of Field* da Wikipedia em inglês<sup>1</sup>

Com o objetivo de adquirir uma boa faixa de nitidez, deve-se entender bem três fenômenos característicos da física óptica, são eles:

- distância focal;
- abertura;
- e profundidade de campo.

A distância focal de um sistema óptico é uma medida do quanto o sistema converge ou diverge a luz (4). Pode-se afirmar que, juntamente

---

<sup>1</sup>Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Depth\\_of\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field)>. Acesso em ago. 2013.

com a abertura do diafragma, trata-se de uma das características mais importantes de uma lente objetiva pois é a partir dela que os usuários (fotógrafos amadores ou profissionais) definem, por exemplo, a maior ou menor ampliação de uma imagem ou ainda escolhem o campo de visão em que deseja trabalhar.

Já a profundidade de campo corresponde à faixa de distâncias dentro da qual os objetos aparecem nítidos em uma fotografia. Quando a foto é registrada nem todos os pontos da cena ficam nítidos, apenas aqueles compreendidos dentro da profundidade de campo — ou seja, próximos do plano focal — são vistos com nitidez. Regulagens diferentes da objetiva poderiam focar uma nova região enquanto outras passariam a ficar menos nítidas.

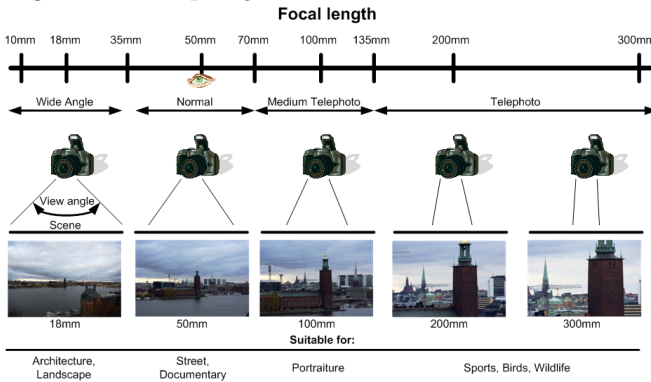
Esses fenômenos serão melhor explicados nos subtemas posteriores, assim como suas influências no processo de focagem de uma cena.

## 2.1 DISTÂNCIA FOCAL

A distância focal é uma característica física das lentes. Ela é matematicamente equivalente à metade do raio de curvatura da lente, ou seja,

$$f = R/2 \quad (2.1)$$

Figura 2 – Comparação entre diferentes distâncias focais



Fonte: página *Focal Length* da Wikipedia em inglês<sup>2</sup>

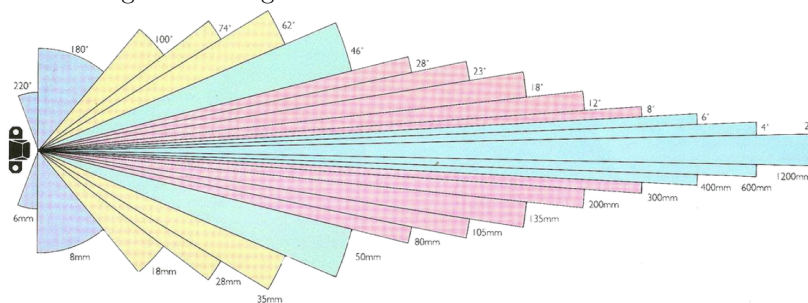
<sup>2</sup>Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Focal\\_length](http://en.wikipedia.org/wiki/Focal_length)>. Acesso em ago. 2013.



Na prática ela é responsável pela aproximação da cena — quanto maior o valor de  $f$ , maior será o *zoom* obtido — e também pelo ângulo de abertura obtido, conforme podemos observar na seguinte figura:

A Figura 2 mostra diversas fotografias obtidas a partir de uma mesma máquina, na mesma posição, variando apenas a distância focal. Podemos assim verificar como esse parâmetro influencia na aproximação do sistema óptico e no ângulo obtido. Já a Figura 3 relaciona a angulação com o valor do foco.

Figura 3 – Ângulo de visão associado à distância focal



Fonte: página *Digital Photograhpy Student*<sup>3</sup>

### 2.1.1 Equações Envolvidas

Uma característica importante da distância focal é que ela pode ser usada para calcular a distância entre o sistema óptico e o plano focal através da **Fórmula de Gauss**, também conhecida como equação das lentes finas ou equação das lentes delgadas (5):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \quad (2.2)$$

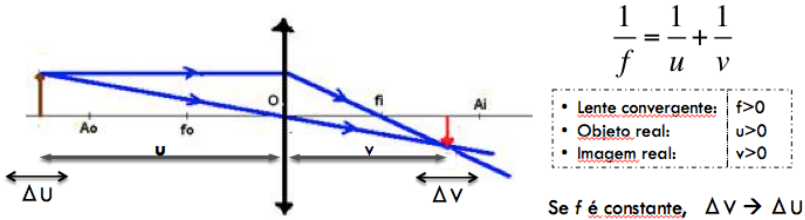
. Conforme ilustrado na Figura 4, as incógnitas são descritas a seguir:

- **u** representa a distância entre as lentes e o objeto em que se deseja focar. Componentes muito distantes dessa posição poderão aparecer desfocados na fotografia. Isso será melhor explicado ao longo deste capítulo;

<sup>3</sup>Disponível em: <<http://www.digital-photography-student.com/lens-focal-length-explained>>. Acesso em ago. 2013.

- $v$  equivale à distância das lentes até a imagem projetada. No olho humano, essa é a distância entre o cristalino e a retina. Numa máquina fotográfica, representa o intervalo entre as lentes e o sensor ou filme.
- $f$  é a distância focal, uma característica da lente ou da configuração de lentes.

Figura 4 – À esquerda temos a projeção geométrica dos raios luminosos emitidos por um objeto real sobre uma lente delgada. À direita, observamos a Equação de Gauss e algumas observações sobre ela.



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo a teoria geral da óptica geométrica, essas três variáveis deverão ter valores positivos haja vista que o objeto e a imagem são reais e a lente é convergente. Pode-se observar que para um valor de  $f$  constante é possível controlar o valor de  $u$  — o objeto que se deseja focar e a lente — apenas variando o intervalo  $v$ .

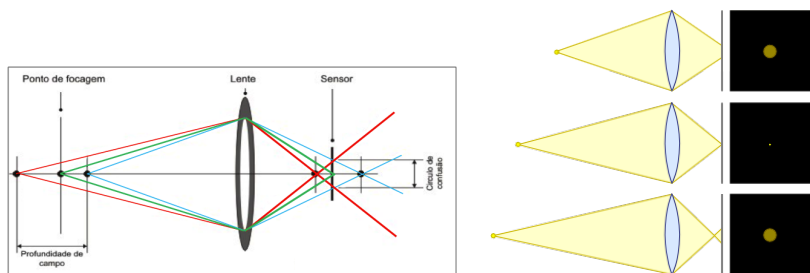
Apesar de existir uma relação simples entre as três incógnitas em questão, não é tão fácil garantir se um ou outro elemento de da cena está ou não a uma distância  $u$  das lentes. Para a Figura 1 parece claro que os pontos mais nítidos estão aproximadamente a uma distância  $bf$   $u$  das lentes mas caso a figura toda estivesse nítida, seria difícil identificar que partes da cena estão sendo focalizadas.

Como garantir esse efeito a fim de adquirir uma configuração de foco proveitosa é um assunto que será discutido nas seções 2.2 e 2.3.

## 2.2 CÍRCULOS DE CONFUSÃO

Sabemos que, numa fotografia, um objeto que esteja próximo ao plano de foco produz uma imagem que converge exatamente sobre o

Figura 5 – Círculos de confusão.



(a) Projeção geométrica e os círculos de confusão.

(b) Imagem formada por pontos luminosos dentro e fora de foco.

Fonte: página Tudo Sobre Fotografar<sup>4</sup>

sensor da câmera, conforme os raios luminosos da linha verde, Figura 6(a). Caso o objeto esteja distante do plano de foco, sua imagem poderá se formar antes ou depois do sensor, produzindo um fenômeno semelhante ao da miopia (linhas em vermelho) e da hipermetropia (linhas azuis), respectivamente.

A imagem 6(b) representa a imagem formada por um único ponto luminoso sobre um determinado anteparo. A primeira, a segunda e a terceira imagem se formam após, sobre e aquém do plano, respectivamente. Podemos observar que quando o objeto não está em perfeito foco, a imagem não se forma exatamente sobre o plano, mas um pouco distante, gerando um círculo, ao invés de um ponto sobre a superfície receptora. Esse círculo é o chamado **círculo de confusão**.

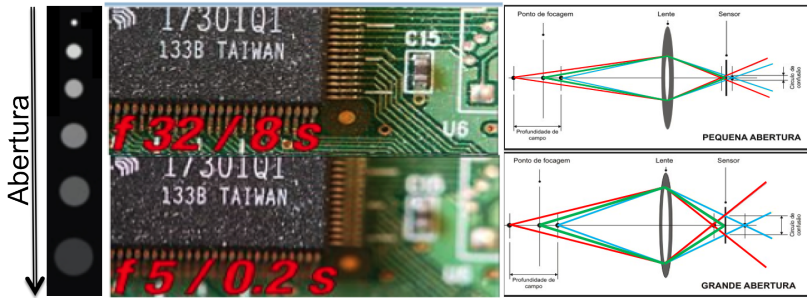
Observando a imagem formada por um único ponto luminoso nessas três posições diferentes, fica evidente a razão de ser chamado assim o círculo de confusão. No caso de uma cena complexa esse efeito se evidencia, na prática, pela falta de nitidez observada sobre os objetos fora de foco, como no exemplo da Figura 1.

Uma característica importante a respeito desse fenômeno é sua dependência com a **abertura**. Por definição, esse termo se refere a qualquer coisa que restrinja o diâmetro da trajetória da luz que atravessa um plano num sistema óptico. Pode ser a borda de uma lente (ou espelho), um anel ou qualquer elemento que, colocado deliberadamente na trajetória óptica, faz limitar a luz admitida pelo sistema e mantenha o elemento óptico no sítio.

<sup>4</sup>Disponível em: <<http://www.tudosobrefotografar.com/2011/01/circulo-de-confusao-parte-ii.html>>. Acesso em ago. 2013.

O efeito da abertura na formação dos círculos de confusão é fazer com que os elementos cujas imagens se formam fora do plano receptor fiquem tanto menos nítidos quanto maior for a abertura, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Temos nesta figura duas fotografias de uma mesma cena em que se variou apenas a abertura das lentes. A maior abertura propiciou uma faixa de nitidez mais limitada. À direita, um esquema geométrico de como os círculos de confusão são influenciados pela abertura.



Fonte: figura elaborada pelo autor a partir de imagens da página *Depth of Field* da Wikipedia em inglês<sup>5</sup>.

Existe um efeito que determina até que ponto objetos que estão mais ou menos perto do plano de foco aparentam estar nítidos, conhecido na literatura como **profundidade de campo**, que será abordado na seção 2.3.

## 2.3 PROFUNDIDADE DE CAMPO

A profundidade de campo é tida, dentro da disciplina de óptica, como a distância entre o objeto mais próximo e o objeto mais distante de uma cena que apresentam nitidez aceitável em uma imagem (6). Embora as lentes possam focar em uma única distância de cada vez, a perda de nitidez é gradual para ambos os lados da distância focal, de tal forma que dentro do intervalo da profundidade de campo, a desfocagem é praticamente imperceptível.

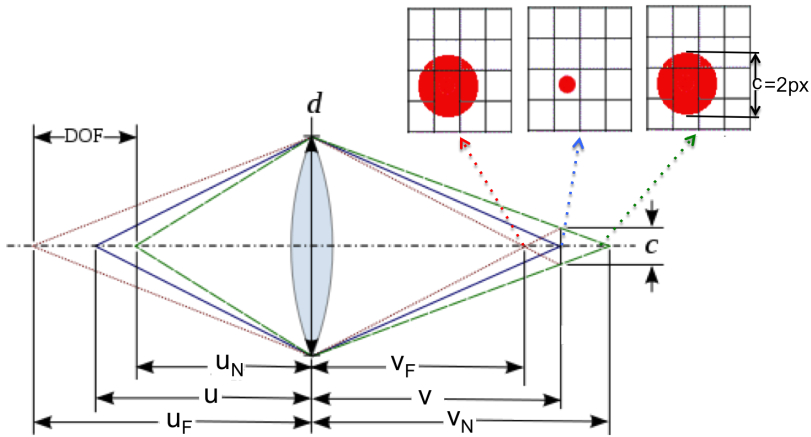
Em determinados casos pode ser desejável uma imagem com todos os elementos nítidos, portanto um grande intervalo de nitidez. Em

<sup>5</sup>Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Depth\\_of\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field)>. Acesso em ago. 2013.

outras aplicações uma profundidade menor seria mais proveitosa (6).

A fim de estabelecer um olhar mais quantitativo e numérico sobre o parâmetro em questão, deve-se primeiro observar a Figura 7.

Figura 7 – Essa ilustração se divide em duas partes. Na figura de baixo temos, em azul, um objeto sobre o plano de foco forma uma imagem exatamente sobre o plano receptor. Em vermelho, elementos muito distantes das lentes formam imagens aquém do receptor. Em verde, elementos muito próximos das lentes formam sua imagem além do sensor. Acima observa-se como cada um dos pontos luminosos sensibilizaria um sensor CCD.



Fonte: figura elaborada pelo autor com base em imagens da páginas do Laboratório *Electron Microbeam Analysis*<sup>6</sup>, da Universidade de Michigan.

Considere que exista um sistema óptico tal que o plano de foco esteja a uma distância  $u$  [u.c.] (unidades de comprimento) e o sensor logalizado localizado a  $v$  [u.c.] das lentes. Mantendo leia-se  $v$  e  $f$  constantes, existe uma posição  $u_N$  entre o plano de foco e as lentes, cuja imagem converge para uma distância  $v_F$  do lado oposto da lente e forma um círculo de confusão com diâmetro  $c$  [u.c.] no anteparo.

De forma análoga, há uma posição  $u_F > u$  para a qual a imagem faz formar um círculo de confusão de diâmetro  $c$  [u.c.], por consequência de a imagem ser formada a uma distância  $v_N < v$ .

Tendo em mente os conceitos apresentados, pode-se definir a profundidade de campo como a faixa de distâncias compreendidas no

<sup>6</sup>Disponível em: <[http://www.emal.engin.umich.edu/courses/sem\\_lecturecw/SEM\\_DepthofFocus.html](http://www.emal.engin.umich.edu/courses/sem_lecturecw/SEM_DepthofFocus.html)>. Acesso em ago. 2013.

intervalo  $[u_N, u_F]$  e que forma um círculo de confusão menor ou igual a  $c$  [u.c.]. Essa medida depende de alguns fatores, como o tamanho do sensor, tamanho da impressão final e nível de acuidade do observador (7). Uma vez definido o tamanho máximo dos círculos, pode-se estabelecer uma relação entre os parâmetros apresentados através de uma relação de triângulos (vide Figura 7):

$$\frac{v_N - v}{v_N} = \frac{c}{d} \quad (2.3)$$

$$\frac{v - v_F}{v_F} = \frac{c}{d} \quad (2.4)$$

Uma prática comum na óptica é medir a abertura em termos de *f-number* ou **número-f**. Esse termo estabelece uma relação de proporcionalidade entre a distância focal e a abertura. É uma medida quantitativa adimensional da velocidade de disparo, um importante conceito da fotografia (8) e pode ser definido da seguinte maneira:

$$N = \frac{f}{d} \quad (2.5)$$

. Usando esta e a Equação 2.2, podemos substituir os valores de  $d$  e  $v$  em 2.3 e 2.4 para obter uma relação em termos de  $u$  e  $N$ , conforme as funções seguintes:

$$u_N = \frac{uf^2}{f^2 + Nc(u - f)} \quad (2.6)$$

e

$$u_F = \frac{uf^2}{f^2 - Nc(u - f)} \quad (2.7)$$

onde  $u_N$  e  $u_F$  representam, nessa ordem, a menor e maior distâncias entre as lentes e um objeto em que se consegue nitidez aceitável.

O módulo da profundidade de campo é frequentemente definido na literatura como DOF (*Depth of Field*):

$$DOF = u_F - u_N = \frac{2cNf^2u(u - f)}{f^4 - c^2N^2(u - f)^2} \quad (2.8)$$

onde, se considerarmos  $(u-f) \simeq u$ , a equação 2.8 poderia ser representada da seguinte maneira:

$$DOF = u_F - u_N = \frac{2cNf^2u^2}{f^4 - c^2N^2u^2} \quad (2.9)$$

, embora o mais certo seja dizer que  $\mathbf{DOF} \in [\mathbf{u_N}, \mathbf{u_F}]$ . Vale ressaltar que para  $\mathbf{u} \gg \mathbf{f}$ . Sendo assim, neste trabalho a profundidade de campo será definida como:

$$DOF = [u_F, u_N] = \left[ \frac{uf^2}{f^2 + Nc(u - f)}, \frac{uf^2}{f^2 - Nc(u - f)} \right] \quad (2.10)$$





### **3 PROFUNDIDADE PELO FOCO (*DEPTH FROM FOCUS*)**

A profundidade pelo foco é uma das técnicas monoculares de reconstrução 3D que não apresenta o problema de ambiguidade, descrito na introdução desta dissertação. Isso porque através da profundidade pelo foco é possível estabelecer uma relação um-para-um das regiões mais nítidas da imagem com a distância ao plano focal.

A distância ao plano focal, por sua vez, poderia ser calculada através das equações apresentadas no Capítulo ?? ou estimada através de uma calibração.



## 4 OBJETIVOS?

As orientações aqui apresentadas são baseadas em um conjunto de normas elaboradas pela ABNT. Além das normas técnicas a Biblioteca também elaborou uma série de tutoriais e guias que estão disponíveis na sua Homepage. <http://portalbu.ufsc.br/normalizacao-de-trabalhos-2/>.



## 5 DESENVOLVIMENTO

Aqui via o desenvolvimento, um novo capítulo

### 5.1 FORMATAÇÃO DO TEXTO

No que diz respeito à estrutura do trabalho, o novo modelo para dissertações e teses adotado pela UFSC segue a NBR 14724 (2011). Porém, em relação à formatação, a UFSC adotou o tamanho A5, que corresponde à metade do A4. Por esta razão, foi necessário uma adequação no tamanho da fonte, espaçamento entrelinhas, margens, etc, conforme exposto no quadro abaixo.

#### 5.1.1 Formatação do texto

O texto deve ser justificado, digitado em cor preta, podendo utilizar outras cores somente para as ilustrações. Utilizar papel branco. Os elementos pré-textuais devem iniciar no anverso da folha, com exceção da ficha catalográfica. Os elementos textuais e pós-textuais devem ser digitados no anverso e verso das folhas, com espaçamento simples (1).

A Figura 8 mostra o logo da BU

Figura 8 – Logo da BU.



##### 5.1.1.1 As ilustrações

Independente do tipo de ilustração (quadro, desenho, figura, fotografia, mapa, entre outros) sua identificação aparece na parte supe-

rior, precedida da palavra designativa.

A indicação da fonte consultada deve aparecer na parte inferior, elemento obrigatório mesmo que seja produção do próprio autor. A ilustração deve ser citada no texto e inserida o mais próximo possível do texto a que se refere

A Tabela 1 mostra mais informações do template BU.

Tabela 1 – Formatação do texto.

Cor	Branco
Formato do papel	A5
Gramatura	75
Impressão	Frente e verso
Margens	Espelhadas: superior 2, Inferior: 1,5, Externa 1,5 e Externa: 2.
Cabeçalho	0,7
Rodapé	0,7
Paginação	Externa
Alinhamento vertical	Superior
Alinhamento do texto	Justificado
Fonte sugerida	Times New Roman
Tamanho da fonte	10,5 para o texto incluindo os títulos das seções e subseções. As citações com mais de três linhas as legendas das ilustrações e tabelas, fonte 9,5.
Espaçamento entre linhas	Um (1) simples
Espaçamento entre parágrafos	Anterior 0,0; Posterior 0,0
Numeração da seção	As seções primárias devem começar sempre em páginas ímpares. Deixar um espaço (simples) entre o título da seção e o texto e entre o texto e o título da subseção.

Fonte: Universidade Federal de Santa Catarina (2011)

### 5.1.1.2 Equações e fórmulas

As equações e fórmulas devem ser destacadas no texto para facilitar a leitura. Para numerá-las, deve-se usar algarismos arábicos entre parênteses e alinhados à direita. Pode-se usar uma entrelinha maior do que a usada no texto

Exemplo: A equação 5.1

$$x^2 + y^2 = z^2 \quad (5.1)$$

e a equação 5.2

$$x^2 + y^2 = n \quad (5.2)$$

### 5.1.2 Exemplo de como gerar a lista de símbolos e abreviaturas

Para gerar a lista de símbolos (como  $\int$  e  $\prod$ ) e abreviaturas (como ABNT e IBGE) ...

É também possível incluir blocos de código da seguinte forma:

```
#include <stdio.h>
#define N 10
/* Block
 * comment */

int main()
{
    int i;

    // Line comment.
    puts("Hello world!");

    for (i = 0; i < N; i++)
    {
        puts("LaTeX is also great for programmers!");
    }

    return 0;
}
```

### 5.1.2.1 Exemplo de citações no L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Segundo ... De acordo com



## 6 CONCLUSÃO

As conclusões devem responder às questões da pesquisa, em relação aos objetivos e hipóteses. Devem ser breves podendo apresentar recomendações e sugestões para trabalhos futuros. Conforme



## REFERÊNCIAS

- 1 GROSSMAN, P. Depth from focus. **Pattern Recognition Letters**, v. 5, p. 63–69, jan. 1987.
- 2 DARRELL, T.; WOHN, K. Pyramid based depth from focus. **Proc. Computer Vision and Proc. Computer Vision and Pattern Recognition**, p. 504–509, 1988.
- 3 OLIVEIRA, M. A. F. de. **Correlacionamento Estéreo de Complexidade Linear Baseado em Indexação de Regiões**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, nov. 2006.
- 4 WIKIPEDIA. **Focal Length**. agosto 2013. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Focal\\_length](http://en.wikipedia.org/wiki/Focal_length)>.
- 5 HECHT, E. **Óptica**. 2. ed. [S.l.]: Addison Wesley Longman, 2002.
- 6 WIKIPEDIA. **Depth of Field**. agosto 2013. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Depth\\_of\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field)>.
- 7 PEREIRA, H. **Círculo de Confusão**. Disponível em: <<http://www.tudosobrefotografar.com/2011/01/circulo-de-confusao-parte-ii.html>>.
- 8 SMITH, W. **Modern Optical Engineering**. 4th. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Professional, 2007.



## **APÊNDICE A – Exemplificando um Apêndice**

Texto do Apêndice aqui.



## **ANEXO A – Exemplificando um Anexo**

Texto do anexo aqui.