Capítulo 4

Gráficos de Controle

Gustavo Mello Reis

José Ivo Ribeiro Júnior

Universidade Federal de Viçosa

Departamento de Informática

Setor de Estatística

Viçosa 2007

1. Introdução

Os gráficos ou cartas de controle idealizados por Shewhart, são ferramentas utilizadas para o monitoramento da média e da variabilidade de um processo ao longo do tempo ou de diferentes amostras, constituídos de uma linha média (LM) e dos limites de controle inferior (LIC) e superior (LSC).

Para construir os gráficos de controle no R, deverá ser ativado o pacote qcc, utilizando o seguinte comando:

```
library(qcc)
```

2. Para Atributos

2.1. Gráficos de Controle de Shewart

Os gráficos de controle para atributos são utilizados para variáveis respostas Ys expressas por um número em uma escala discreta de medidas, resultante de contagens ou de valores que representam qualidades ou atributos (Tabela 1).

Tabela 1. Limites dos gráficos para atributos

	Média e desvio padrão conhecidos	Médias e desvio padrão desconhecidos
LM	μ_Y	$\overline{Y}$
LC	$\mu_Y \pm k\sigma_Y$	$\overline{Y} \pm ks_Y$

Tabela 2. Parâmetros e estimativas dos gráficos para atributos

	np	p	c	u
μ_Y	np	p	c	u
σ_Y	$\sqrt{np(1-p)}$	$\sqrt{p(1-p)/n}$	$\sqrt{c}$	$\sqrt{u/r}$
$\overline{Y}$	$n\bar{\hat{p}}$	$\bar{\hat{p}}$	$\bar{\hat{c}}$	$\bar{\hat{u}}$
s_Y	$\sqrt{n\bar{\hat{p}}(1-\bar{\hat{p}})}$	$\sqrt{\bar{\hat{p}}(1-\bar{\hat{p}})/n}$	$\sqrt{\bar{\hat{c}}}$	$\sqrt{\bar{\hat{u}}/r}$

Das tabelas 1 e 2, podem ser feitas as seguintes definições:

k = número de desvios padrões;

μ_Y = média paramétrica ou especificada de acordo com o interesse;

σ_Y = desvio padrão paramétrico ou especificado de acordo com o interesse;

$\overline{Y}$ = média amostral;

s_Y = desvio padrão amostral;

n = número de repetições por amostra;

p = média paramétrica da proporção de itens defeituosos ou especificada de acordo com o interesse;

$\bar{\hat{p}}$ = média amostral da proporção de itens defeituosos;

c = média paramétrica do número de itens defeituosos por amostra ou especificada de acordo com o interesse;

$\bar{\hat{c}}$ = média amostral do número de itens defeituosos por amostra;

u = média paramétrica do número de itens defeituosos por unideda de inspeção constituída em cada amostra ou especificada de acordo com o interesse;

$\bar{\hat{u}}$ = média amostral do números de itens defeituosos por unidade de inspeção constituída em cada amostra ou especificada de acordo com o interesse;

r = número de unidades de inspeção em cada amostra.

Para esses gráficos, os argumentos que podem ser usados na especificação dos parâmetros são: center, std.dev, nsigmas e limits = c(LIC, LSC).

2.1.1. Gráfico np

É um gráfico para classificação que monitora o número de itens defeituosos em amostras de tamanhos variáveis ou constantes.

Como exemplo, considere o arquivo de dados “C:\Rdados\gc_np.csv”, onde foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis, em que cada item foi avaliado como defeituoso ou não. Posteriormente, foi obtido o número de itens defeituosos por amostra (Y) cujo arquivo de dados será lido pelo R da seguinte forma:

```
dados.np<-read.csv2(“gc_np.csv”, dec=“.”)
dados.np
   n    Y
 300    9
 300    3
 320   16
 350    7
```

325	13
350	21

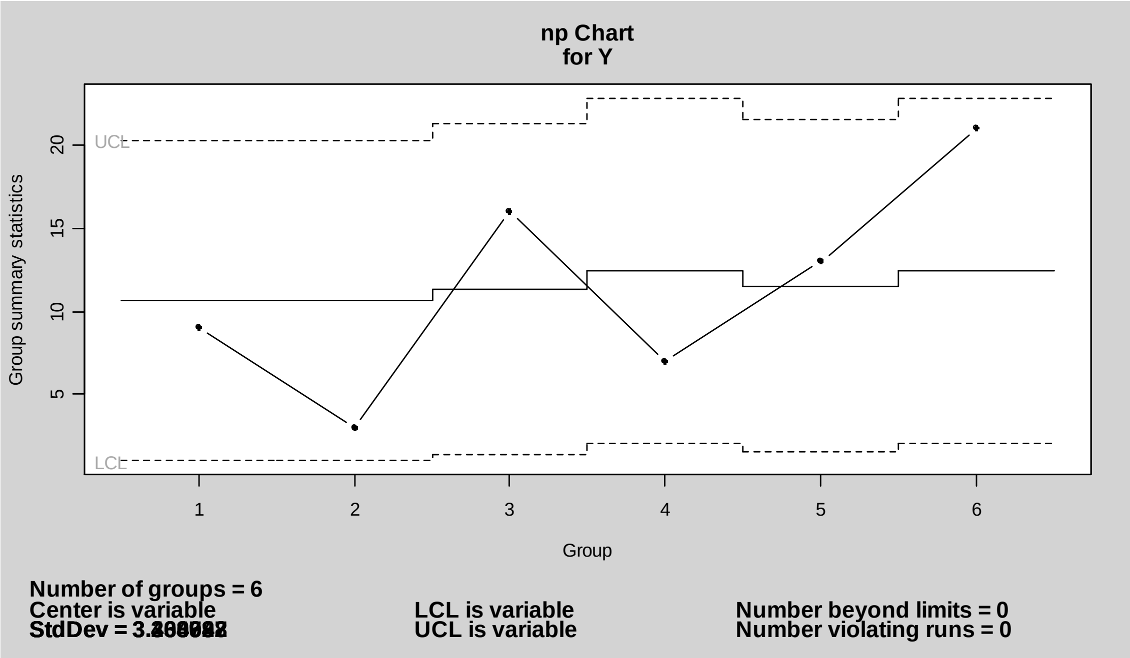
attach(dados.np)

Para construir o gráfico np (figura 1) em função de k=3 (default) e de p estimado com base nos dados, será utilizado o seguinte comando:

qcc(Y, type="np", sizes=n)

```
Call:
qcc(data = Y, type = "np", sizes = n)

np chart for Y

Summary of group statistics:
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
   3.00    7.50   11.00   11.50   15.25   21.00

Summary of group sample sizes:
  sizes  300 320 325 350
  counts   2   1   1   2

Number of groups:  6
Center  of  group  statistics:  10.64267  10.64267  11.35219  12.41645
11.52956 12.41645
Standard  deviation:  3.203922  3.203922  3.308997  3.460632  3.334748
3.460632

Control limits:
      LCL      UCL
 1.030906 20.25444
 1.030906 20.25444
 1.425195 21.27918
 2.034557 22.79835
 1.525319 21.53381
 2.034557 22.79835
```

Figura 1. Gráfico np



Caso haja interesse em construir o gráfico np em função de k = 2 e de p = 0,01 para $\bar{n}$ = 324,17, deve-se, a priori, obter os valores de μ_Y = 3,24 e de σ_Y = 1,79.

Desse modo, o comando é:

qcc(Y, type="np", sizes=n, nsigmas=2, center=3.24, std.dev=1.79)

Caso o interesse seja em ter LIC = 0, LM = 3 e LSC = 6, para k = 3 (default), então tem-se:

qcc(type="np", sizes=n, center=3, limits=c(0,6))

2.1.2. Gráfico p

É um gráfico para classificação que monitora a proporção de itens defeituosos ou a fração defeituosa em amostras de tamanhos variáveis ou constantes.

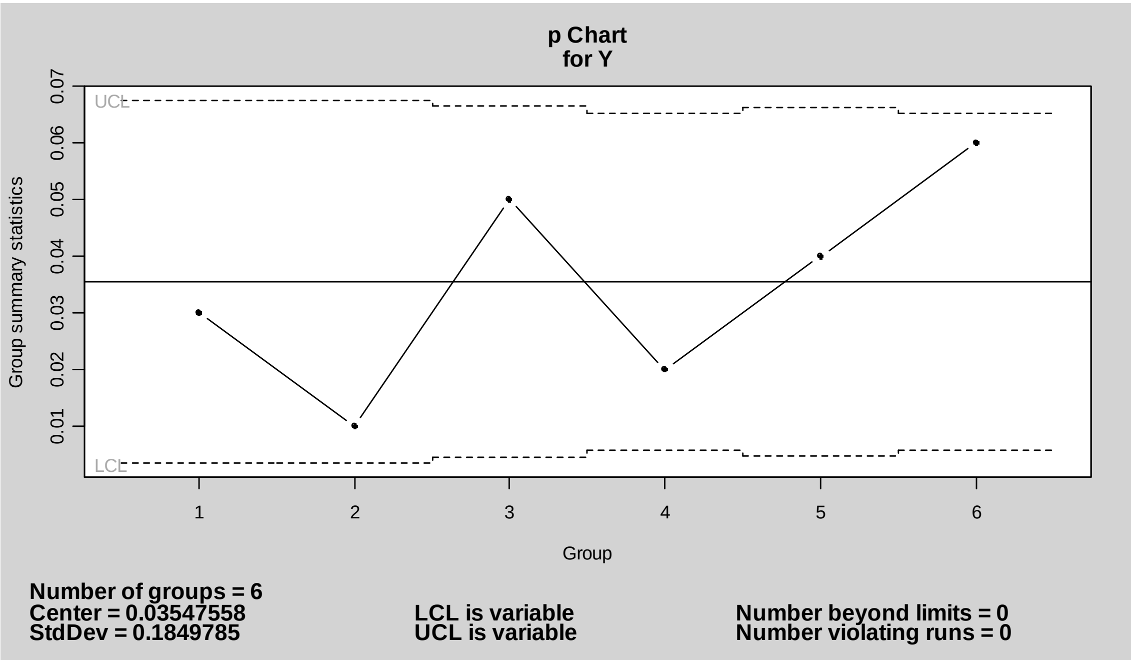
Como exemplo, considere o arquivo de dados "C:\Rdados\gc_np.csv".

Para construir o gráfico p (figura 2) em função de k=3 (default) e de p estimado com base nos dados, têm-se:

qcc(Y, type=“p”, sizes=n)

```
Call:
qcc(data = Y, type = "p", sizes = n)

p chart for Y

Summary of group statistics:
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.0100  0.0225  0.0350  0.0350  0.0475  0.0600

Summary of group sample sizes:
  sizes  300 320 325 350
  counts   2   1   1   2

Number of groups:  6
Center of group statistics:  0.03547558
Standard deviation:  0.1849785

Control limits:
         LCL        UCL
 0.003436355 0.06751480
 0.003436355 0.06751480
 0.004453733 0.06649742
 0.005813021 0.06513814
 0.004693288 0.06625787
 0.005813021 0.06513814
```

Figura 2. Gráfico p



Caso haja interesse em construir o gráfico p em função de k = 2 e de p = 0,01 para $\bar{n}$ = 324,17, deve-se, a priori, obter os valores de μ_Y = 0,01 e σ_Y = 0,0055.

Desse modo, o comando é:

qcc(Y, type="p", sizes=n, nsigmas=2, center=0.01, std.dev=0.0055)

Caso o interesse seja em ter LIC = 0, LM = 0,02, e LSC = 0,04, para k = 3 (default), então tem-se:

qcc(Y, type="p", sizes=n, center=0.02, limits=c(0,0.04))

2.1.3. Gráfico c

É um gráfico para contagem que monitora o número de defeitos por amostra em amostras de tamanhos constantes. No gráfico c, tem-se r=1 pois todas as amostras têm o mesmo tamanho de amostra (ta) e de unidade de inspeções (tu).

Como exemplo, considere o arquivo de dados "C:\Rdados\gc_c.csv", onde foram coletadas seis amostras de tamanhos constantes (n=10), sendo o número de defeitos por amostra representado por Y. No R o arquivo de dados será lido da seguinte forma:

dados.c<-read.csv2("gc_c.csv", dec=".")
dados.c

Y	Ta	Tu	r
10	10	10	1
8	10	10	1
14	10	10	1
23	10	10	1
18	10	10	1
20	10	10	1

attach(dados.c)

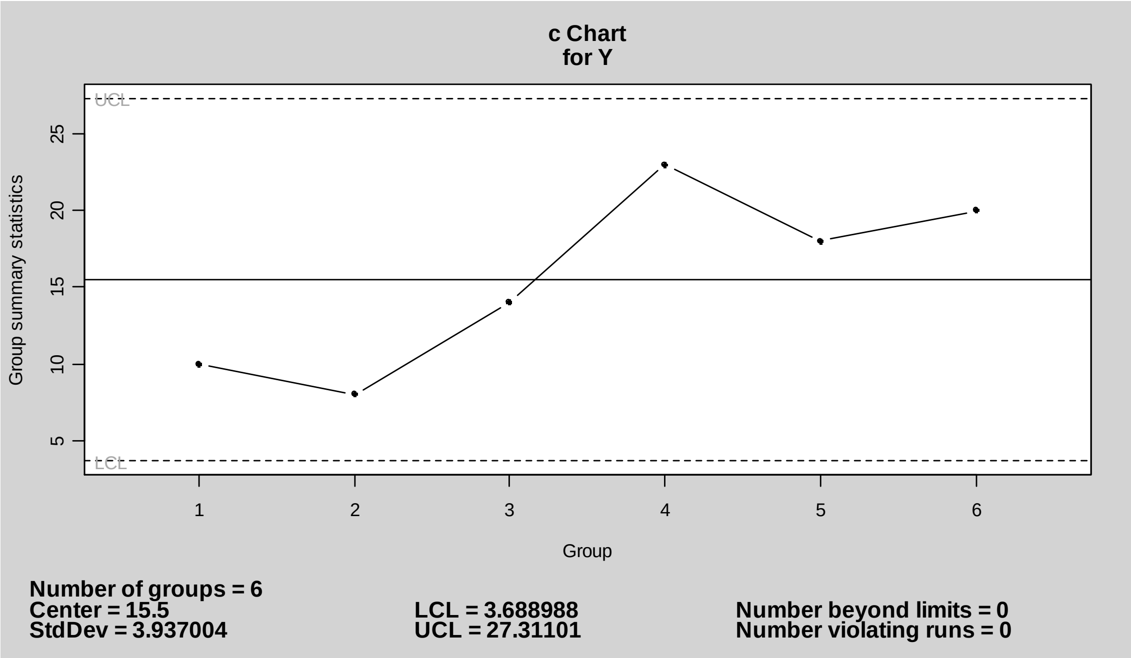
Para construir o gráfico c (figura 3) em função de k=3 (default) e de c estimado com base nos dados, será utilizado o seguinte comando:

qcc(Y, type="c", sizes=r)

```
Call:
qcc(data = Y, type = "c", sizes = n)

c chart for Y

Summary of group statistics:
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
    8.0    11.0    16.0    15.5    19.5    23.0

Group sample size:  10
Number of groups:  6
```

```
Center of group statistics:  15.5
Standard deviation:  3.937004

Control limits:
      LCL      UCL
 3.688988 27.31101
```

Figura 3. Gráfico c



Caso haja interesse em construir o gráfico c em função de k = 2 e de c = 10 (μ_Y), tem-se o seguinte comando no R:

qcc(Y, type="c", sizes=r, nsigmas=2, center=10)

2.1.4. Gráfico u

É um gráfico para contagem que monitora o número de defeitos corrigido por amostra (Y) em amostras de tamanhos variáveis ou constantes.

Como exemplo, considere o arquivo de dados "C:\Rdados\gc_u.csv", onde foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis. O número de defeitos por amostra está representado por Y, o tamanho da amostra por ta, o tamanho da unidade de inspeção por tu e o número de unidades de inspeção por r. No R, o arquivo será lido da seguinte forma:

dados.u<-read.csv2("gc_u.csv", dec=".")
dados.u

Y	ta	tu	r
14	500	50	10
20	650	50	13
7	475	50	9.5
21	600	50	12
19	600	50	12
23	625	50	12.5

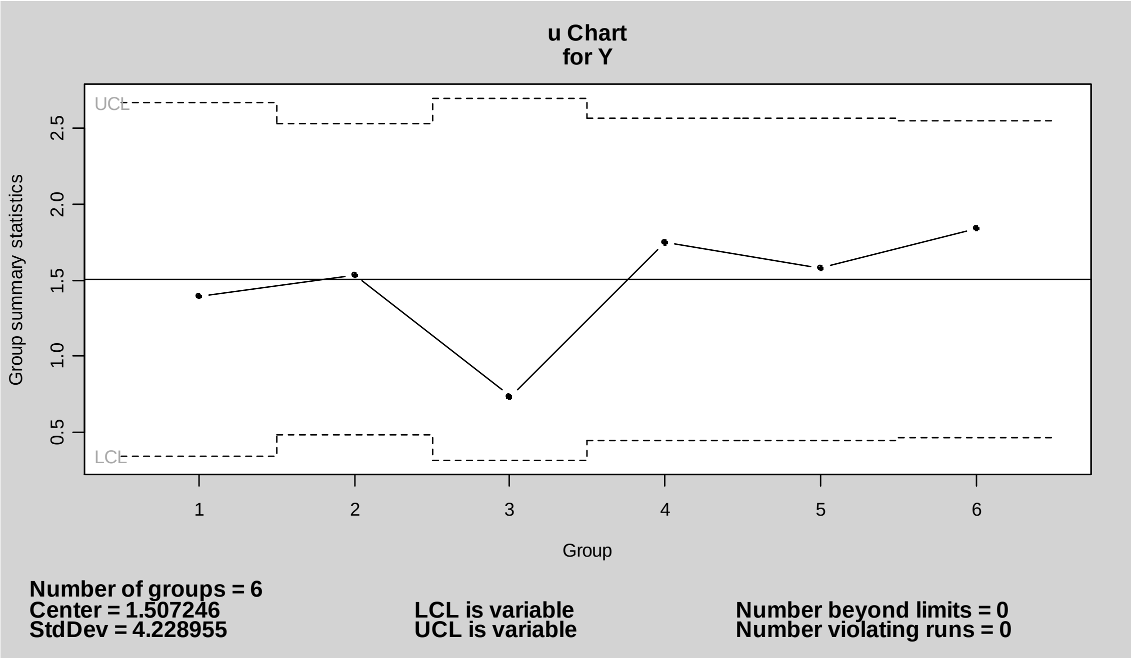
attach(dados.u)

Para construir, o gráfico u (figura 4) em função de k=3 (default) e de u estimado com base nos dados, têm-se:

qcc(Y, type="u", sizes=r)

```
Call:
qcc(data = Y, type = "u", sizes = r)

u chart for Y

Summary of group statistics:
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.7368  1.4350  1.5610  1.4750  1.7080  1.8400

Summary of group sample sizes:
  sizes  9.5 10 12 12.5 13
  counts 1.0  1  2  1.0  1

Number of groups:  6
Center of group statistics:  1.507246
Standard deviation:  4.228955

Control limits:
       LCL      UCL
 0.3425482 2.671945
 0.4857385 2.528754
 0.3122913 2.702201
 0.4440273 2.570465
 0.4440273 2.570465
 0.4655087 2.548984
```

Figura 4. Gráfico u



Caso haja interesse em construir o gráfico u em função de k = 2 e de u = 6,7807 (μ_Y), para $\bar{r}$ = 1,4748, tem-se o seguinte comando no R:

qcc(Y, type="u", sizes=r, nsigmas=2, center=6,7807)

2.2. Gráfico CUSUM tabular

O gráfico de controle da soma acumulativa (CUSUM) é usado com base nas observações das amostras que contêm uma ou mais unidades (n ≥ 1) de tamanhos constantes ou variáveis. Para construir o gráfico CUSUM para atributos, deve-se utilizar o comando para um dos gráficos np, p, c ou u de Shewhart, armazená-lo em um objeto, e construir o gráfico utilizando este objeto (tabela 3).

Tabela 3. Limites e CUSUMs tabulares padronizados dos gráficos para atributos

	Média e desvio padrão conhecidos	Média e desvio padrão desconhecidos
LM	0	0
LC	± h*	± h*
$S_H(i)^*$	máximo $\left[0; \dfrac{Y_i - \mu_Y}{\sigma_Y} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \dfrac{Y_i - \bar{Y}}{s_Y} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$

$S_L(i)^*$	máximo $\left[0; \frac{\mu_Y - Y_i}{\sigma_Y} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{\overline{Y} - Y_i}{s_Y} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$

Na Tabela 3, as constantes são definidas por:

h^* = intervalo de decisão padronizado;

$k^* = \frac{\delta}{2}$ = valor de referência padronizado;

δ = número de desvios padrões que se desejar detectar como variação especial da média;

$S_H(i)^*$ = CUSUM tabular superior padronizado da amostra i;

$S_L(i)^*$ = CUSUM tabular inferior padronizada da amostra i;

y_i = valor da variável Y observada na amostra i.

Com relação aos valores de y_i plotados no gráfico np, eles devem ser substituídos por $\hat{p}_i$, $\hat{c}_i$ e $\hat{u}_i$, quando forem construídos os gráficos p, c, e u, respectivamente.

No R, o gráfico gerado é o CUSUM tabular padronizado. Nele, os argumentos usados para especificar os parâmetros são: std.dev, center, se.shift (δ) e decision.int (h*).

2.2.1. CUSUM tabular padronizada de np

Como exemplo, considere o arquivo de dados “C:\Rdados\gc_np.csv” e o objeto dados.np utilizados para a construção do gráfico np, em que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis.

Para construir o gráfico CUSUM (figura 5) tabular de np, h* = 5, δ = 1 (default), do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos no R:

attach(dados.np)

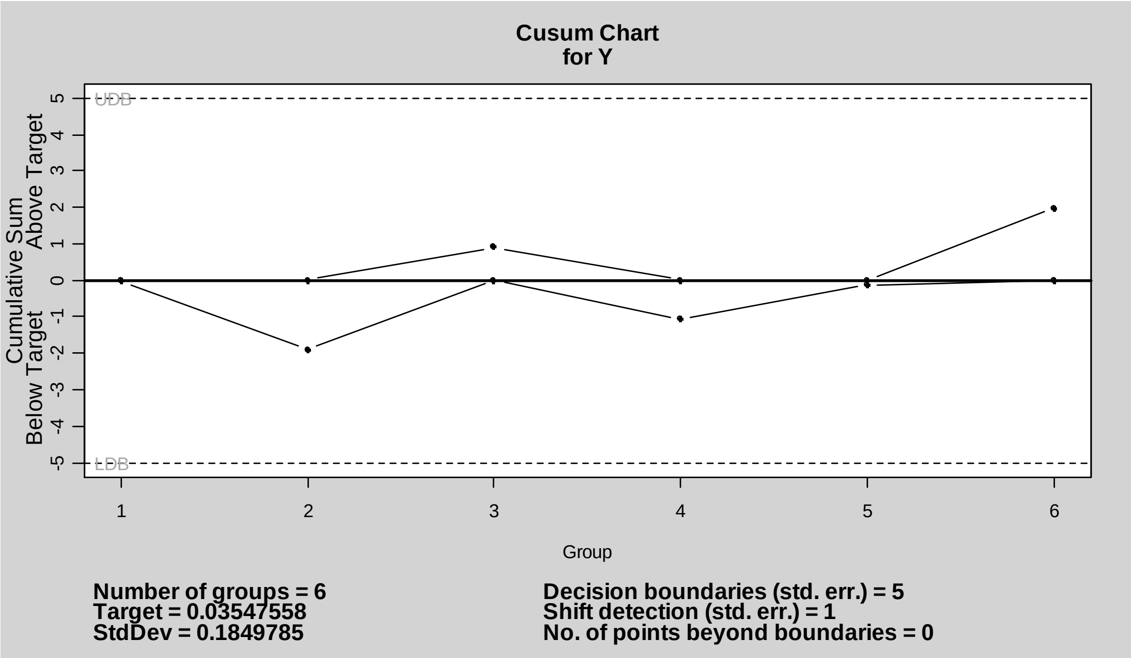
dados.cusum.np<-qcc(Y, type=“p”, sizes=n, plot=F)

_ O argumento plot=F indica para não construir o gráfico np.

_ No R, as CUSUMs tabulares de np foram obtidas por meio do argumento “type=p”, em função de serem iguais às CUSUMs tabulares de p.

re.cus.np<-cusum(dados.cusum.np) # Construir o gráfico CUSUM de np

Figura 5. Gráfico CUSUM tabular de np



re.cus.np$cusum   # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0.0000000 0.0000000 0.9045994 0.0000000 0.0000000 1.9803413

$neg
[1]  -0.01270703  -1.89811861    0.00000000  -1.06516294  -0.12421899
0.00000000

$decision.int
[1] 5

$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular de np, com δ = 1,5, h* = 4, μ_Y = 3,24 e σ_Y = 1,79, então têm-se:

dados.cusum.np<-qcc(Y, type="p", sizes=n, center=3.24, std.dev=1.79, plot=F)
cusum(dados.cusum.np, se.shift=1.5, decision.int=4)

2.2.2. CUSUM tabular padronizada de p

Como exemplo, considere o objeto dados.np e, para construir o gráfico CUSUM (figura 6) em função de h* = 5 (default), δ = 1 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos:

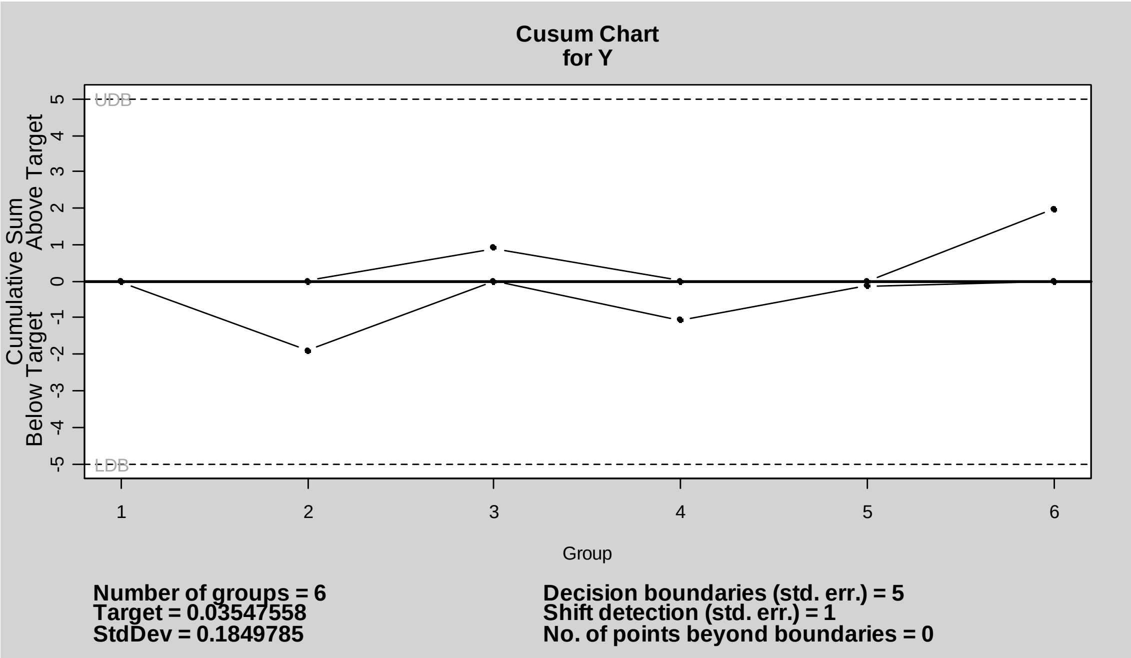
attach(dados.np)

dados.cusum.p<-qcc(Y, type="p", sizes=n, plot=F)

_ O argumento plot=F indica para não gerar o gráfico p.

re.cus.p<-cusum(dados.cusum.p) # Construir o gráfico CUSUM de p

Figura 6. Gráfico CUSUM tabular de p



re.cus.p$cusum   # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0.0000000 0.0000000 0.9045994 0.0000000 0.0000000 1.9803413

$neg
[1]-0.01270703 -1.89811861 0.0000000 -1.06516294 -0.12421899 0.0000000

$decision.int
[1] 5

$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular de p, com δ = 1,5, h* = 4, μ_Y = 10 e σ_Y = 3,1623, então tem-se os seguintes comandos:

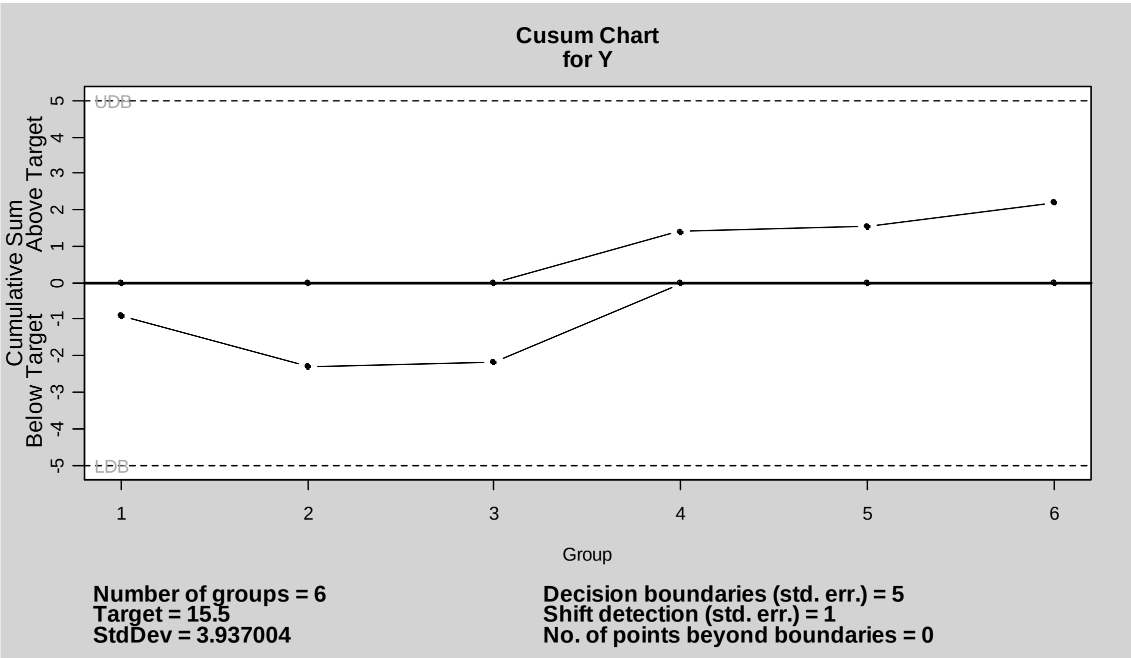
dados.cusum.p<-qcc(Y, type="p", sizes=n, center=10, std.dev=3.1623, plot=F)
cusum(dados.cusum.p, se.shift= 1.5, decision.int= 4)

2.2.3. CUSUM tabular padronizada de c

Como exemplo, considere o objeto dados.c e, para construir o gráfico CUSUM (figura 7) em função de h* = 5 (default), δ = 1 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos:

attach(dados.c)
dados.cusum.c<-qcc(Y, type="c", sizes=r, plot=F)
_ O argumento plot= F indica para não construir o gráfico c
re.cus.c<-cusum(dados.cusum.c) # Construir o gráfico CUSUM de c

Figura 7. Gráfico CUSUM tabular de c



re.cus.c$cusum   # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0.000000 0.000000 0.000000 1.405002 1.540003 2.183004
```

```
$neg
[1] -0.8970014 -2.3020033 -2.1830037  0.0000000  0.0000000  0.0000000


$decision.int
[1] 5

$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular de c, com $\delta = 1,5$, $h^* = 4$, $\mu_Y = 10$ e $\sigma = 3,1623$, então tem-se o seguinte comando:

```
dados.cusum.c<-qcc(Y, type="c", sizes=r, center=10, std.dev=3.1623, plot=F)
cusum(dados.cusum.c, se.shift=1.5, decision.int=4)
```

2.2.4. CUSUM tabular padronizada de u

Como exemplo, considere o arquivo de dados "C:\Rdados\gc_u.csv" e o objeto dados.u utilizados para a construção do gráfico u, em que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis.

Para construir o gráfico CUSUM (figura 8) em função de u, $h^* = 5$ (default), $\delta = 1$ (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos no R:

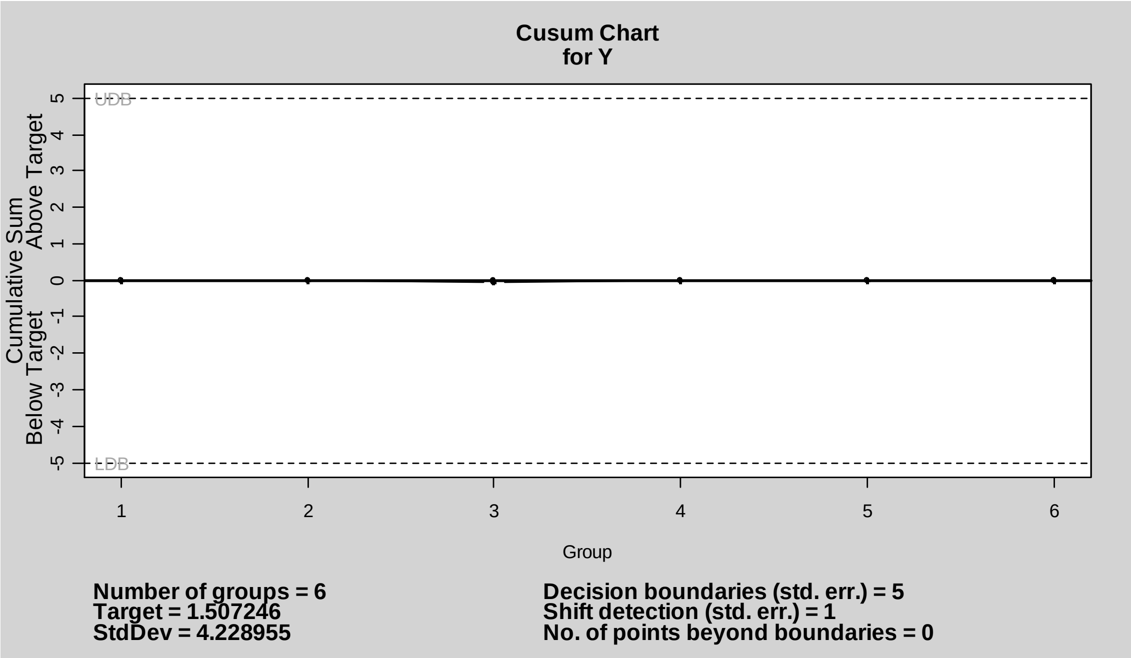
```
 attach(dados.u)
dados.cusum.u<-qcc(Y, type="c", sizes=r, plot=F)
```

_ O argumento plot= F indica para não construir o gráfico u

_ Como pode-se observar, as CUSUMs tabulares de u são obtidas por meio do procedimento type="c". A diferença está nos valores de r, que são diferentes de 1.

```
re.cus.u<-cusum(dados.cusum.u)  # Construir o gráfico CUSUM de u
```

Figura 8. Gráfico CUSUM tabular de u



re.cus.u$cusum   # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0 0 0 0 0 0

$neg
[1]   0.00000000   0.00000000  -0.06149701   0.00000000   0.00000000
0.00000000

$decision.int
[1] 5

$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular de u, com δ = 1,5, h* = 4, μ_Y = 6,7807 e σ_Y = 2,1442, para $\bar{r}$ = 1,4748, tem-se:

dados.cusum.u<-qcc(Y, type="c", sizes=r, center=6.7807, std.dev=2.1442, plot=F)
cusum(dados.cusum.u, se.shift=1.5, decision.int=4)

2.3. Gráfico de Controle EWMA

O gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente (EWMA) é usado com base nas observações das amostras que contêm uma ou mais unidades ($n \geq 1$) de tamanhos constantes ou variáveis.

Para construir o gráfico EWMA para atributos (tabela 4), deve-se utilizar o comando para construir um dos gráficos np, p, c ou u de Sherwhart, armazená-lo em um objeto e construir o gráfico utilizando este objeto.

Tabela 4. Limites dos gráficos EWMAs para atributos

	Média e desvio padrão conhecidos	Média e desvio padrão desconhecidos
LM	μ_Y	$\overline{Y}$
LC	$\mu_Y \pm k\sigma_{Wi}$	$\overline{Y} \pm ks_{Wi}$
	$\sigma_{Wi} = \sigma_Y \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$	$s_{Wi} = s_Y \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$

Na tabela 4, as constantes são definidas por:

λ = peso da amostra ($0 \leq \lambda < 1$);

$W_i = \lambda y_i + (1 - \lambda) W_{i-1}$;

i = número da amostra i.

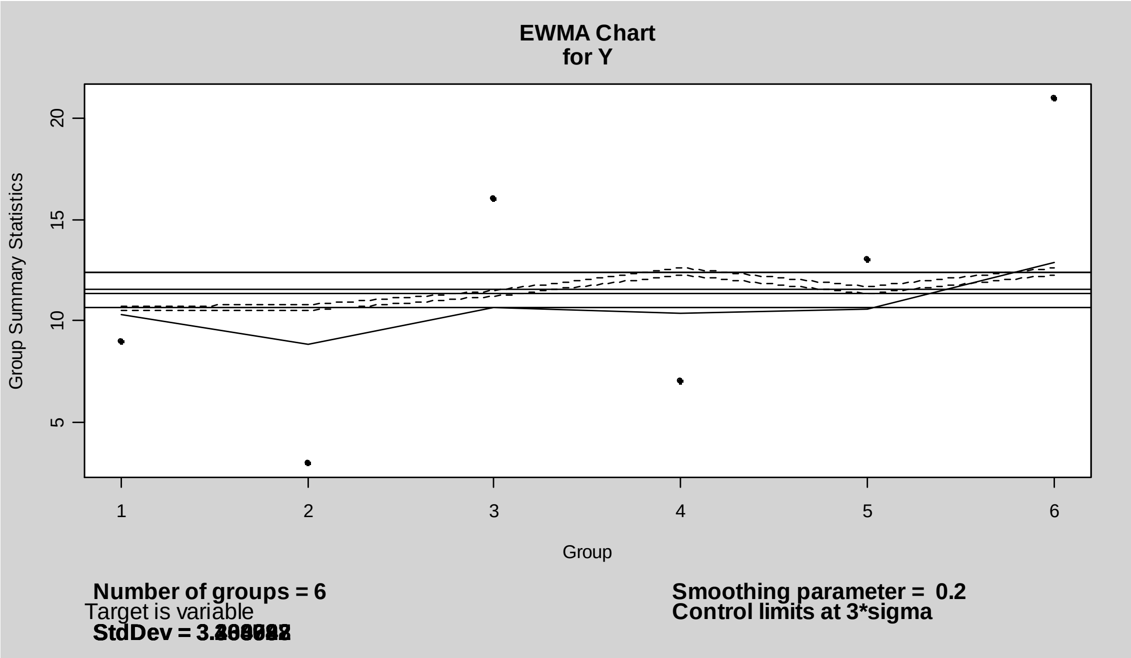
E os argumentos que podem ser usados para especificar os parâmetros são: center, std.dev, nsigmas e lambda.

2.3.1. EWMA de np

Com base no objeto dados.np, para construir o gráfico EWMA de np, $\lambda = 0,2$ (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados (figura 9), têm-se os seguintes comandos no R:

```
attach(dados.np)
dados.ewma.np<-qcc(Y, type="np", sizes=n, plot=F)
re.ewma.np<-ewma(dados.ewma.np) # Construir o gráfico EWMA de np
```

Figura 9. Gráfico EWMA de np



re.ewma.np$ewma # Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA de np

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$y
        1         2         3         4         5         6
10.314139  8.851311 10.644319 10.351379 10.590487 12.904883

$sigma
[1] 0.03699571 0.04737762 0.05296463 0.05624983 0.05825522 0.05950321

$nsigmas
[1] 3

$limits
          LCL      UCL
[1,] 10.53169 10.75366
[2,] 10.50054 10.78481
[3,] 11.19329 11.51108
[4,] 12.24770 12.58520
[5,] 11.35480 11.70433
[6,] 12.23794 12.5949
```

Caso haja interesse em construir o gráfico EWMA de np com λ = 0,25, k = 2, μ_Y = 3,24 e σ_Y = 1,79, têm-se:

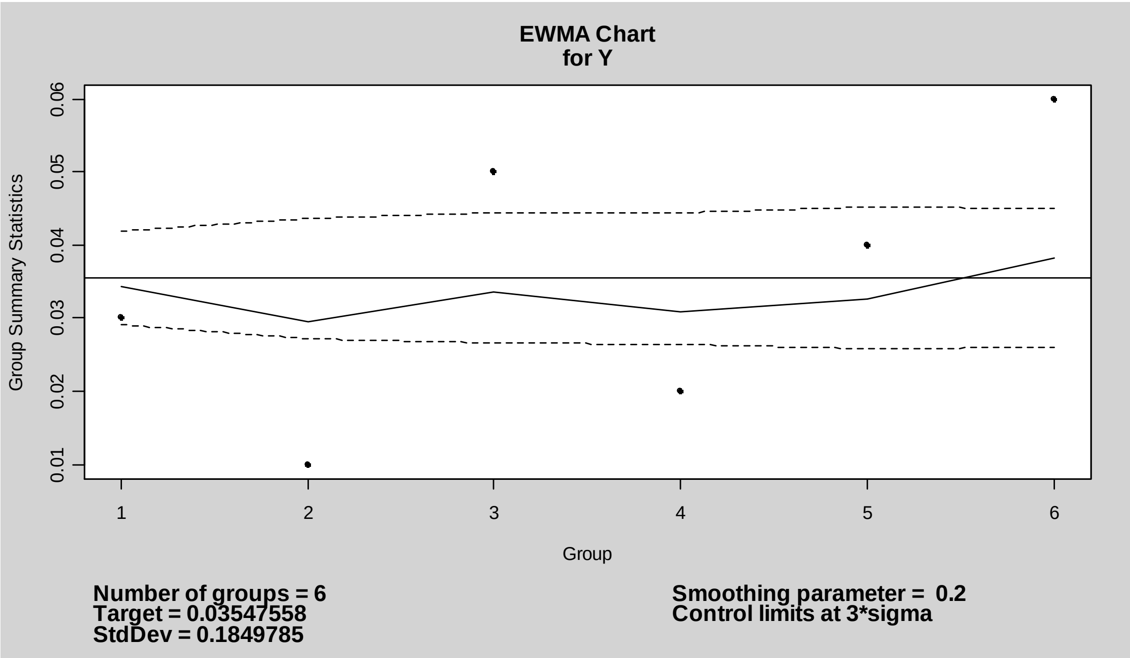
dados.emwa.np<-qcc(Y, type="np", sizes=n, center=3.24, std.dev=1.79, plot=F)
re.ewma.np<-ewma(dados.ewma.np, nsigmas=2, lambda=0.25)

2.3.2. EWMA de p

Com base no objeto dados.np, para construir o gráfico EWMA de p, λ = 0,2 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados (figura 10), têm-se os seguintes comandos no R:

```
attach(dados.np)
dados.ewma.p<-qcc(Y, type="p", sizes=n, plot=F)
re.ewma.p<-ewma(dados.ewma.p) # Construir o gráfico EWMA de p
```

Figura 10. Gráfico EWMA de p



re.ewma.p$ewma # Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA de p

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$y
         1          2          3          4          5          6
0.03438046 0.02950437 0.03360350 0.03088280 0.03270624 0.03816499

$sigma
[1]  0.002135948  0.002735348  0.002960813  0.003006680  0.003231418
0.003180580

$nsigmas
[1] 3

$limits
            LCL        UCL
[1,] 0.02906773 0.04188342
```

```
[2,] 0.02726953 0.04368162
[3,] 0.02659314 0.04435802
[4,] 0.02645554 0.04449562
[5,] 0.02578132 0.04516983
[6,] 0.02593384 0.04501732
```

Caso haja interesse em construir o gráfico EWMA de p, com $\lambda = 0{,}25$, $k = 2$, $\mu_Y = 10$ e $\sigma_Y = 3{,}1623$, têm-se:

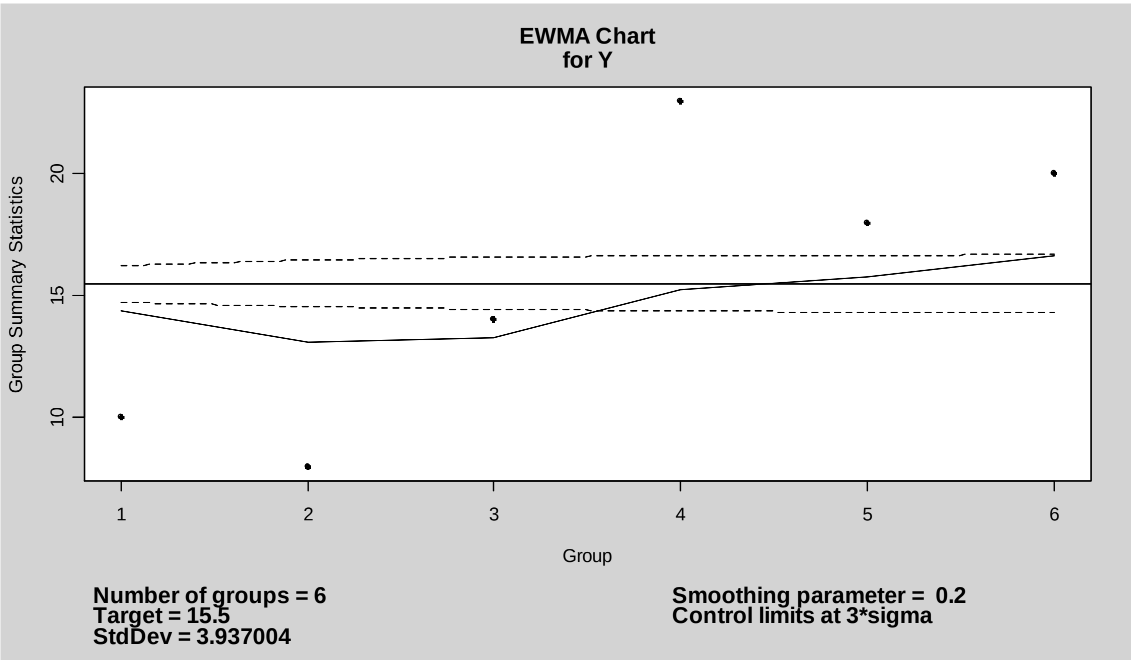
dados.emwa.p<-qcc(Y, type="p", sizes=n, center=10, std.dev=3.1623, plot=F)
re.ewma.p<-ewma(dados.ewma.p, nsigmas=2, lambda=0.25)

2.3.3. EWMA de c

Com base no objeto dados.c, para construir o gráfico EWMA de c, $\lambda = 0{,}2$ (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados (figura 11), têm-se os seguintes comandos no R:

attach(dados.c)
dados.ewma.c<-qcc(Y, type="c", sizes=r, plot=F)
re.ewma.c<-ewma(dados.ewma.c) # Construir o gráfico EWMA de c

Figura 11. Gráfico EWMA de c



re.ewma.c$ewma # Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA de c

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$y
       1        2        3        4        5        6
14.40000 13.12000 13.29600 15.23680 15.78944 16.63155

$sigma
[1] 0.2489980 0.3188730 0.3564761 0.3785870 0.3920842 0.4004837

$nsigmas
[1] 3

$limits
          LCL      UCL
[1,] 14.75301 16.24699
[2,] 14.54338 16.45662
[3,] 14.43057 16.56943
[4,] 14.36424 16.63576
[5,] 14.32375 16.67625
[6,] 14.29855 16.70145
```

Caso haja interesse em construir o gráfico EWMA de c, com λ = 0,25, k = 2, μ_Y = 10 e σ_Y = 3,1623, têm-se:

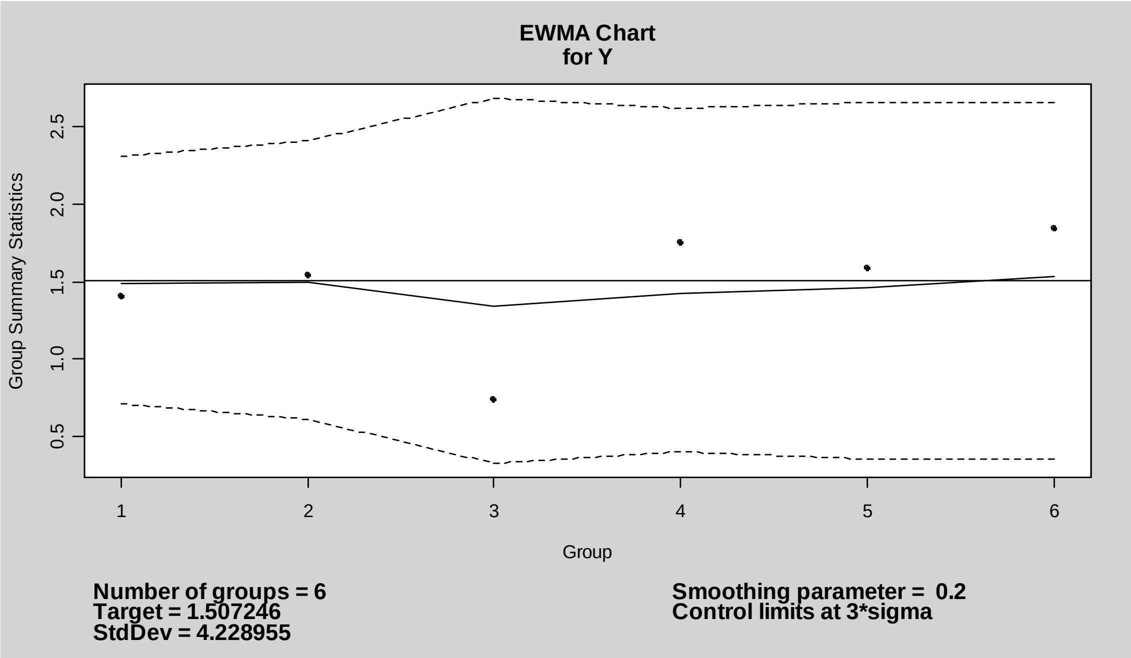
dados.emwa.c<-qcc(Y, type="c", sizes=n, center=10, std.dev=3.1623, plot=F)
re.ewma.c<-ewma(dados.ewma.c, nsigmas=2, lambda=0.25)

2.3.4. EWMA de u

Como exemplo, considere o arquivo de dados utilizados para a construção do gráfico u, em que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis. O arquivo de dados a ser utilizado é "C:\Rdados\gc_u.csv" e o objeto é dados.u (figura 12). No R, têm-se os seguintes comandos, para k = 3 (default), λ = 0,2 (default) e o valor alvo e o desvio padrão estimados com base nos dados:

attach(dados.u)
dados.ewma.u<-qcc(Y, type= "u", sizes=r, plot=F)
re.ewma.u<-ewma(dados.ewma.u) # Construir o gráfico EWMA de u

Figura 12. Gráfico EWMA de u



re.ewma.u$ewma   # Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA de u

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$y
       1        2        3        4        5        6 
1.485797 1.496330 1.344432 1.425546 1.457103 1.533683 

$sigma
[1] 0.2674626 0.3004092 0.3928582 0.3712293 0.3844642 0.3847663

$nsigmas
[1] 3

$limits
           LCL      UCL
[1,] 0.7048586 2.309634
[2,] 0.6060187 2.408474
[3,] 0.3286719 2.685821
[4,] 0.3935584 2.620934
[5,] 0.3538538 2.660639
[6,] 0.3529475 2.661545
```

Caso haja interesse de construir o gráfico EWMA de u em função de k = 2, λ = 0,25, μ_Y = 6,7807 e σ_Y = 2,1442, então tem-se:

dados.ewma.u<-qcc(Y, type="u", sizes=r, center=6.7807, std.dev=2.1442, plot=F)
re.ewma.u<-ewma(dados.ewma.u, lambda=0.25, nsigmas=2)

3. Para Variáveis

Esses gráficos são utilizados quando a variável Y é capaz de assumir diferentes valores um intervalo contínuo, como por exemplo, as variáveis obtidas por medição ou pesagem.

Os gráficos de controle para variáveis são utilizados para o monitoramento da variabilidade (R, s, CUSUM tabular de R, CUSUM tabular de s, EWMA de R e EWMA de s) e da média (x, $\overline{X}$, CUSUM tabular de x, CUSUM tabular de $\overline{X}$, EWMA de x e EWMA de $\overline{X}$), em amostras de tamanhos constantes ou variáveis, com $n \geq 1$.

Para esses gráficos, os argumentos que podem ser utilizados para especificar os parâmetros são: center, std.dev, nsigmas e limits = c(LIC, LSC).

3.1. Gráficos de Shewhart para Monitorar a Variabilidade

Para esses gráficos (tabela 5), os argumentos que podem ser utilizados para especificar os parâmetros são: center, std.dev, nsigmas e limits=c(LIC,LSC).

Tabela 5. Limites dos gráficos para variáveis com monitoramento da variabilidade

	Média e desvio padrão conhecidos		Média e desvio padrão desconhecidos	
	R	s	R	s
LM	μ_R	μ_s	$\overline{R}$	$\overline{s}$
LC	$\mu_R \pm k\sigma_R$	$\mu_s \pm k\sigma_s$	$\overline{R} \pm s_R$	$\overline{s} \pm ks_s$

De acordo com os gráficos, os parâmetros ou estimadores são apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros e estimadores dos gráficos para variáveis com monitoramento da variabilidade

	R		s
μ_R	$d_2\sigma_Y$	μ_s	$c_4\sigma_Y$
σ_R	$d_3\sigma_Y$	σ_s	$\sqrt{1-c_4^2}\sigma_Y$
$\overline{R}$	d_2s_Y	$\overline{s}$	c_4s_Y
s_R	d_3s_Y	s_s	$\sqrt{1-c_4^2}s_Y$

Na tabela 6, d_2, d_3, e c_4 representam constantes tabeladas em função do tamanho da amostra.

3.1.1. Gráfico R

O gráfico de controle da amplitude (R) de Shewhart é usado com base nas observações das amostras que contêm mais de uma unidade (n > 1) de tamanhos constantes ou variáveis.

Como exemplo, considere que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis, em que X representa o número da amostra e, Y, a característica de qualidade avaliada. Os dados serão lidos através do arquivo “C:\Rdados\gc_r.csv”, da seguinte forma:

```
dados.r<-read.csv2("gc_r.cs", dec= ".")
dados.r
  X    Y
  1 7.10
  1 7.09
  2 7.12
  2 7.11
  2 7.10
  3 7.09
  3 7.10
  3 7.11
  3 7.12
  4 7.11
  4 7.10
  4 7.10
  5 7.07
  5 7.09
  5 7.11
  6 7.10
  6 7.11
attach(dados.r)
```

Para construir o gráfico R (figura 13), deve-se utilizar os dados com as repetições postas em colunas e não em linhas. Assim, para reorganizar os dados dentro do próprio R será utilizado o comando a seguir:

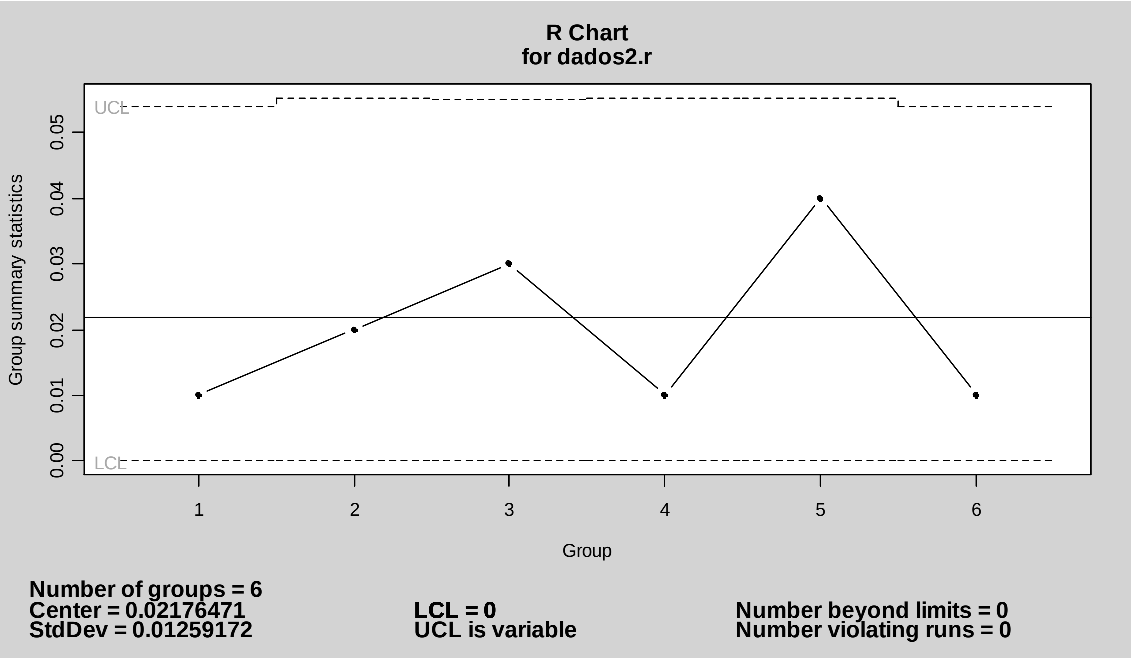
```
dados2.r<-qcc.groups(Y, X)
dados2.r
      [,1]  [,2]  [,3]  [,4]
  1   7.10  7.09    NA    NA
  2   7.12  7.11  7.10    NA
  3   7.09  7.10  7.11  7.12
  4   7.11  7.10  7.10    NA
  5   7.07  7.09  7.11    NA
  6   7.10  7.11    NA    NA
```

Deste modo, o gráfico R em função de k=3 (default) e de R estimado com base nos dados, será construido pelo seguinte comando:

qcc(dados2.r, type=“R”)

```
Call:
qcc(data = dados2.r, type = "R")

R chart for dados2.r

Summary of group statistics:
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.0100  0.0100  0.0150  0.0200  0.0275  0.0400

Summary of group sample sizes:
  sizes  2 3 4
  counts 2 3 1

Number of groups:  6
Center of group statistics:  0.02176471
Standard deviation:  0.01259172

Control limits:
 LCL        UCL
   0 0.05396814
   0 0.05532300
   0 0.05499969
   0 0.05532300
   0 0.05532300
   0 0.05396814
```

Figura 13. Gráfico R



Caso haja interesse em construir o gráfico R em função de k = 2, μ_R = 0,02, σ = 0,01, tem-se o seguinte comando no R:

qcc(dados2.r, type="R", nsigmas=2, center=0.02, std.dev=0.01)

Caso o interesse seja em LIC = 0, LM = 0,03 e LSC = 0,06, então:

qcc(dados2.r, type="R", center=0.03, limits=c(0, 0.06))

3.1.2. Gráfico s

O gráfico de controle do desvio padrão (s) de Shewhart é usado com base nas observações das amostras que contêm mais de uma unidade (n > 1) de tamanhos constantes ou variáveis.

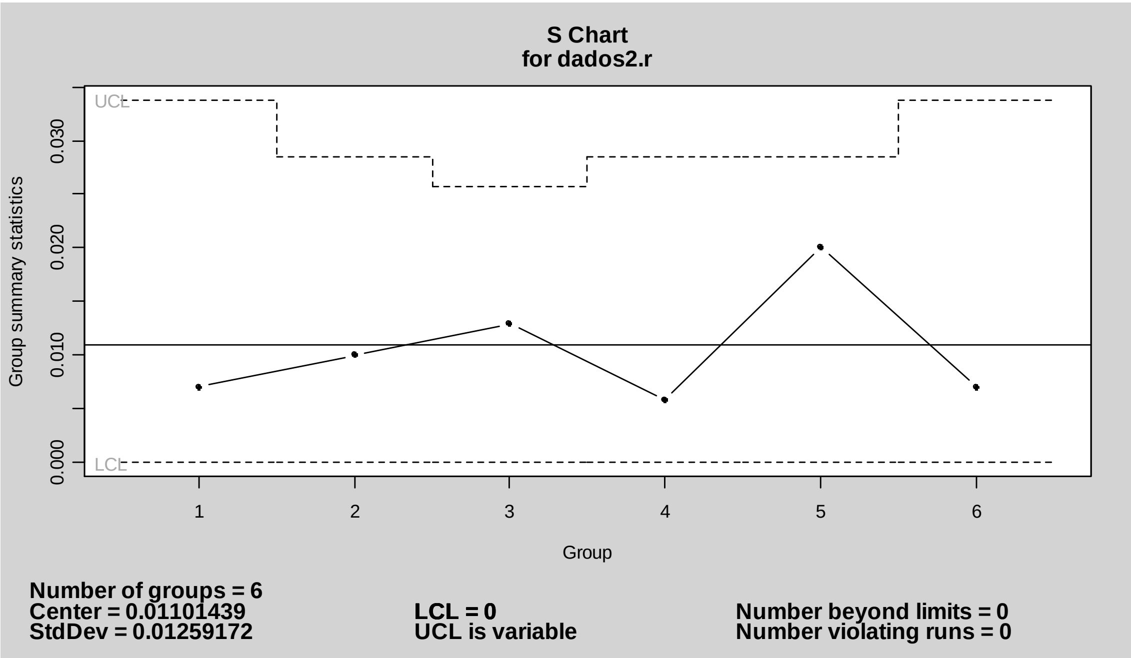
Como exemplo, considere o arquivo objeto "dados2.r" e, para construir o gráfico s (figura 14) em função de k = 3 (default) e de s estimado com base nos dados, será utilizado o seguinte comando:

qcc(dados2.r, type="S")

```
Call:
qcc(data = dados2.r, type = "S")

S chart for dados2.r

Summary of group statistics:
    Min.  1st Qu.   Median     Mean  3rd Qu.     Max.
```

```
0.005774 0.007071 0.008536 0.010470 0.012180 0.020000

Summary of group sample sizes:
  sizes  2 3 4
  counts 2 3 1

Number of groups:  6
Center of group statistics:  0.01101439
Standard deviation:  0.01259172

Control limits:
 LCL        UCL
   0 0.03378563
   0 0.02851377
   0 0.02570176
   0 0.02851377
   0 0.02851377
   0 0.03378563
```

Figura 14. Gráfico s



Caso haja interesse em construir o gráfico S em função de k = 2, μ_s = 0,02, σ_s = 0,01, então tem-se o seguinte comando no R:

qcc(dados2.r, type="S", nsigmas=0.02, std.dev=0.01)

3.2. Gráficos de Shewhart para Monitorar a Média

Do mesmo modo, para esses gráficos (tabela 7), os argumentos dos parâmetros são: center, std.dev, nsigmas e limits = c(LIC, LSC).

Tabela 7. Limites dos gráficos para variáveis com monitoramento da média

	Média e desvio padrão conhecidos		Média e desvio padrão desconhecidos	
	x	Xbarra	x	Xbarra
LM	μ_Y	μ_Y	$\overline{Y}$	$\overline{\overline{Y}}$
LC	$\mu_Y \pm k\sigma_Y$	$\mu_Y \pm k\sigma_{\overline{Y}}$	$\overline{Y} \pm ks_Y$	$\overline{\overline{Y}} \pm ks_{\overline{Y}}$

Na tabela 3.7, $\overline{\overline{Y}}$ é a média geral de todas as médias amostrais e $\sigma_{\overline{Y}}$ e $s_{\overline{Y}}$ são dados, respectivamente, por:

$\sigma_{\overline{Y}} = \frac{\sigma_Y}{\sqrt{n}}$ e $s_{\overline{Y}} = \frac{s_Y}{\sqrt{n}}$

3.2.1. Gráfico x

O gráfico de controle da medida individual (x) de Shewhart é usado com base nas observações das amostras que contêm uma unidade (n = 1).

Como exemplo, considere que foram coletadas seis amostras de um item. Os valores da variável resposta Y estão apresentados no arquivo “C:\Rdados\gc_x.csv”, que será lido da seguinte forma:

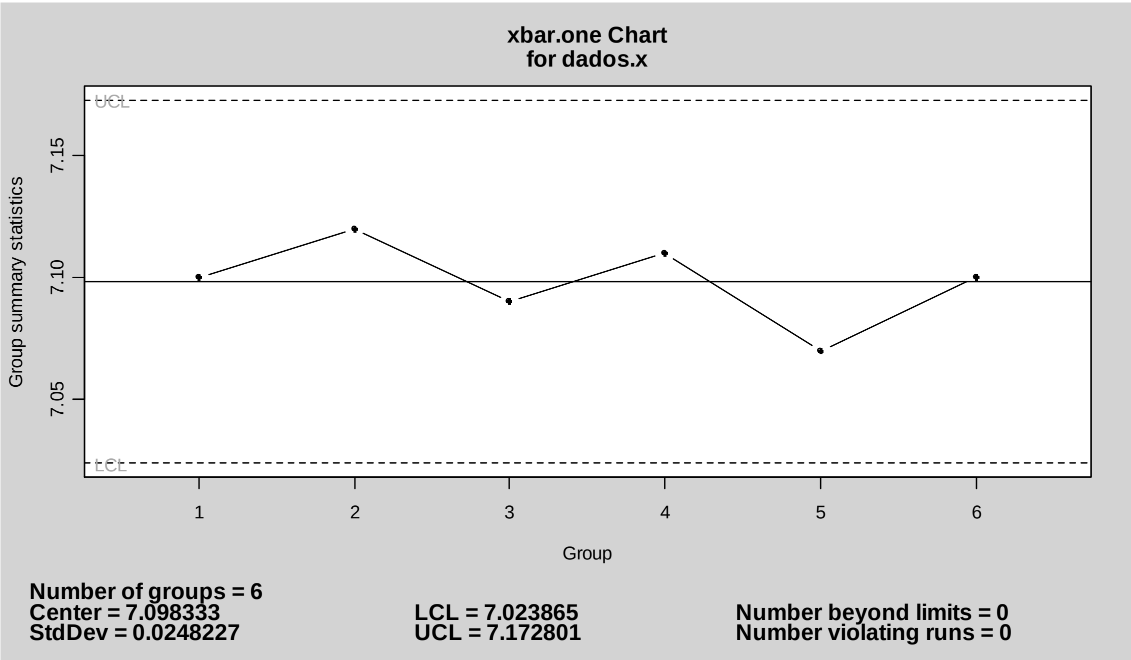
```
dados.x<-read.csv2(“gc_x.csv”, dec= “.”)
dados.x
   Y
7.10
7.12
7.09
7.11
7.07
7.10
```

Para construir o gráfico x (figura 15) em função de k=3 (default) e da média e desvio padrão estimados com base nos dados, tem-se o seguinte comando no R:

qcc(dados.x, type="xbar.one")

```
Call:
qcc(data = dados.x, type = "xbar.one")

xbar.one chart for dados.x

Summary of group statistics:
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  7.070   7.092   7.100   7.098   7.108   7.120

Group sample size:  1
Number of groups:  6
Center of group statistics:  7.098333
Standard deviation:  0.02482270

Control limits:
      LCL      UCL
 7.023865 7.172801
```

Figura 15. Gráfico x



Caso haja interesse em construir o gráfico x em função de k = 2, μ_Y = 7 e σ_Y = 0,01, então tem-se o seguinte comando no R:

qcc(dados.x, type="xbar.one", nsigmas=2, center=7, std.dev=0.01)

3.2.2. Gráfico Xbarra

O gráfico de controle Xbarra da média de Shewhart é usado com base nas observações das amostras que contêm mais de uma unidade (n > 1) de tamanhos constantes ou variáveis.

Como exemplo, considere que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis. O arquivo de dados a ser utilizado é “C:\Rdados\gc_xb.csv”, que será lido da seguinte forma:

```
dados.xb<-read.csv2("gc_xb.csv", dec= ".")
dados.xb
```

Y1	Y2	Y3	Y4
7.10	7.09	NA	NA
7.12	7.11	7.10	NA
7.09	7.10	7.11	7.12
7.11	7.10	7.10	NA
7.07	7.09	7.11	NA
7.10	7.11	NA	NA

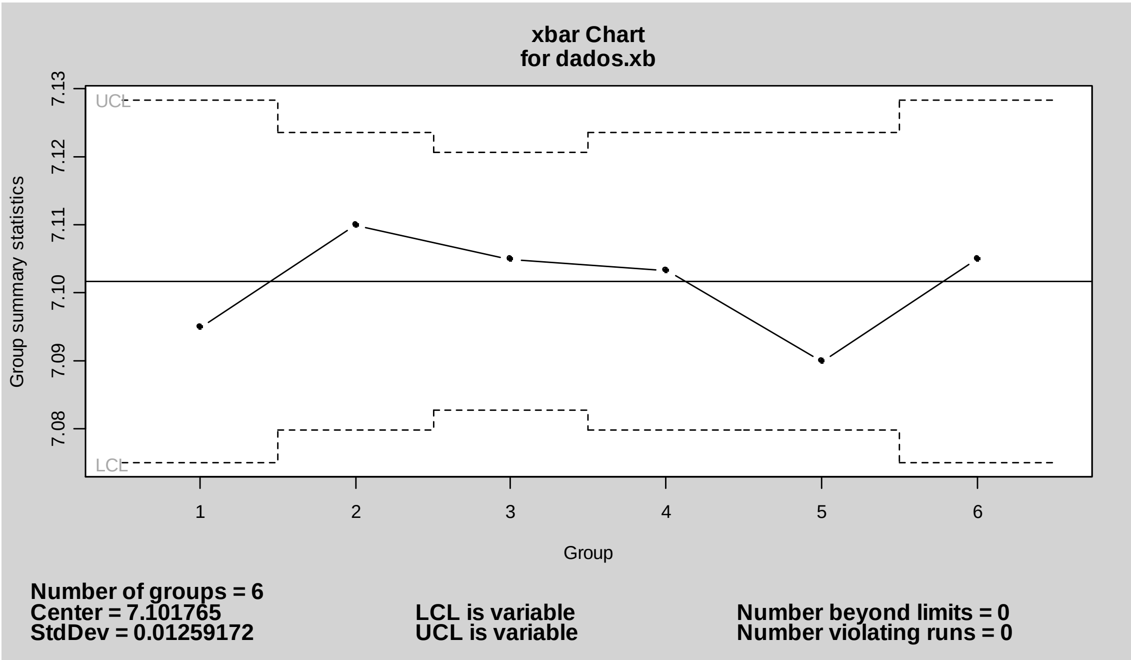
Para construir o gráfico Xbarra (figura 16) em função de k = 3 (default) e da média geral e desvio padrão estimados com base nos dados, tem-se o seguinte comando no R:

```
qcc(dados.xb, type="xbar")
```

```
Call:
qcc(data = dados.xb, type = "xbar")

xbar chart for dados.xb

Summary of group statistics:
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  7.090   7.097   7.104   7.101   7.105   7.110

Summary of group sample sizes:
  sizes  2 3 4
  counts 2 3 1

Number of groups:  6
Center of group statistics:  7.101765
Standard deviation:  0.01259172

Control limits:
      LCL      UCL
 7.075054 7.128476
 7.079955 7.123574
```

```
 7.082877 7.120652
 7.079955 7.123574
 7.079955 7.123574
 7.075054 7.128476
```

Figura 16. Gráfico Xbarra



Caso haja interesse em construir o gráfico Xbarra em função de k = 2, $\mu_Y = 7$ e $\sigma_Y = 0{,}01$, então tem-se o seguinte comando no R:

qcc(dados.xb, type="xbar", nsigmas=2, center=7, std.dev=0.01)

3.3. Gráfico CUSUM tabular para Monitorar a Variabilidade

Para construir o gráfico CUSUM tabular, deve-se utilizar o comando para construir um dos gráficos R ou s de Shewhart, armazená-lo em um objeto, e construir o gráfico utilizando este objeto. No R, o gráfico gerado é o CUSUM tabular padronizado (tabela 8). Nele, os argumentos usados para especificar os parâmetros são: std.dev, center, se.shift (δ) e decision.int (h*).

Tabela 8. Limites e CUSUMs tabulares padronizadas dos gráficos para variáveis com monitoramento da variabilidade

	Média e desvio padrão conhecidos	Médias e desvio padrão desconhecidos
LM	0	0
LC	±h*	±h*
$S_H(i)*$	máximo $\left[0; \frac{R_i - \mu_R}{\sigma_R} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{R_i - \overline{R}}{S_R} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$
	máximo $\left[0; \frac{s_i - \mu_S}{\sigma_S} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{s_i - \overline{s}}{s_S} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$
$S_L(i)*$	máximo $\left[0; \frac{\mu_R - R_i}{\sigma_R} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{\overline{R} - R_i}{s_R} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$
	máximo $\left[0; \frac{\mu_S - s_i}{\sigma_S} - K^* + S_L(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{\overline{s} - s_i}{s_S} - K^* + S_L(i-1)^*\right]$

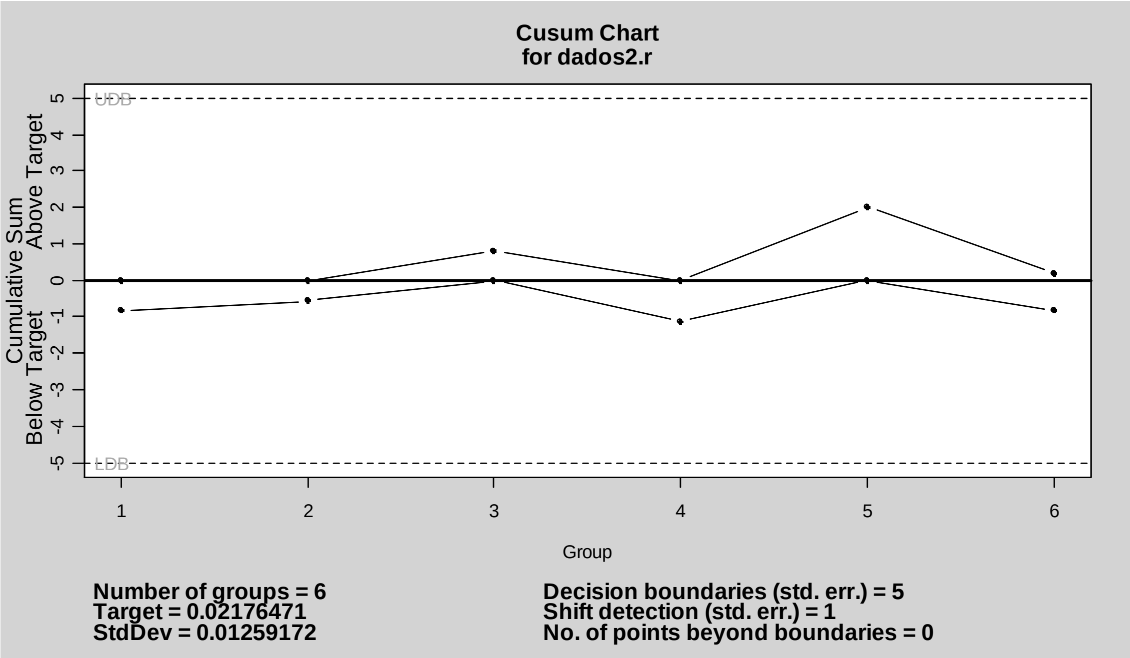
3.3.1. CUSUM tabular padronizada de R

Como exemplo, considere o objeto dados2.r utilizado para a construção do gráfico R, em que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis.

Para construir o gráfico CUSUM (figura 17) de R, h* = 5, δ = 1 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, tem-se os seguintes comandos no R:

```
dados.cusum.r<-qcc(dados2.r, type="R", plot=F)
	# O argumento plot=F indica para não construir o gráfico r
re.cus.r<-cusum(dados.cusum.r)  # Construir o gráfico CUSUM de R
```

Figura 17. Gráfico CUSUM tabular de R



re.cus.r$cusum   # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM de R

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0.0000000 0.0000000 0.8080496 0.0000000 2.0083521 0.1870225

$neg
[1] -0.8213296 -0.5640734  0.0000000 -1.1182917  0.0000000 -0.8213296

$decision.int
[1] 5

$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular de R, com δ = 1,5, h* = 4, μ_R = 0,02 e σ_R = 0,01, então tem-se:

dados.cusum.r<-qcc(dados2.r, type="R", center=0.02, std.dev=0.01, plot=F)
cusum(dados.cusum.r, se.shift=1.5, decision.int=4)

3.3.2. CUSUM tabular padronizada de s

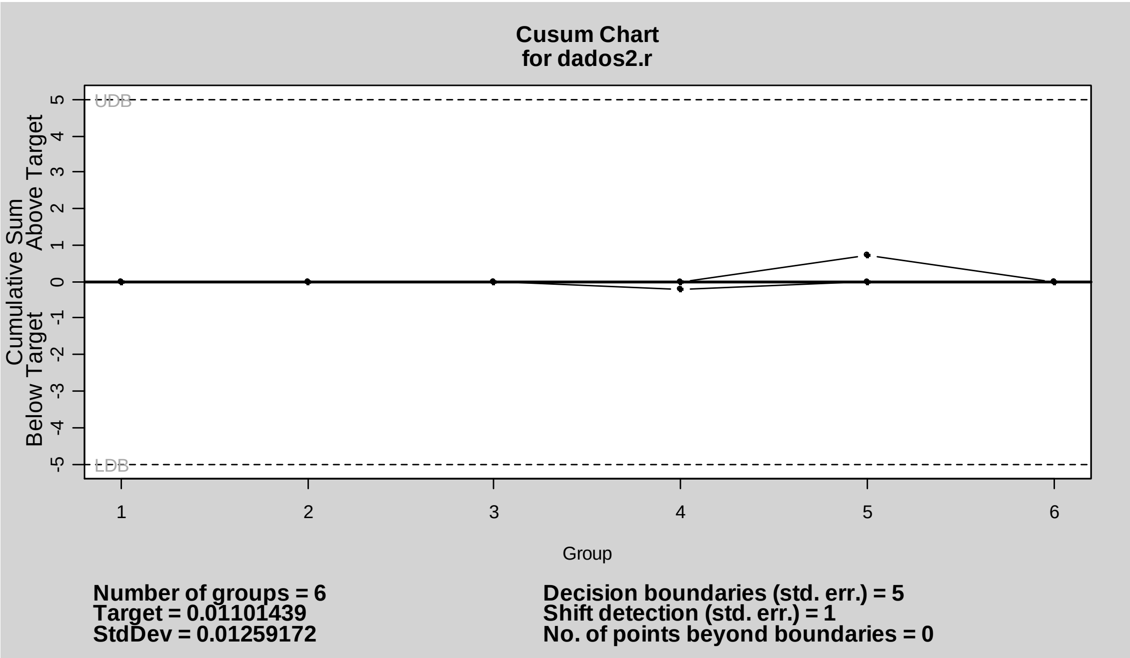
Como exemplo, considere o objeto dados2.r e, para construir o gráfico CUSUM (figura 18) em função de h* = 5 (default), δ = 1 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos:

dados.cusum.s<-qcc(dados2.r, type="S", plot=F)

_ O argumento plot=F indica para não construir o gráfico s

re.cus.s<-cusum(dados.cusum.s) # Gerar o gráfico CUSUM de s

Figura 18. Gráfico CUSUM tabular de s



re.cus.s$cusum # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM de s

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.7360143 0.0000000

$neg
[1]  0.0000000  0.0000000  0.0000000 -0.2209086  0.0000000  0.0000000

$decision.int
[1] 5

$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular de s, com δ = 1,5, h^* = 4, μ_s = 0,02 e σ_s = 0,01, então tem-se o seguinte comando:

dados.cusum.s<-qcc(dados2.r, type="S",center=0.02, std.dev=0.01, plot=F)

cusum(dados.cusum.s, se.shift=1.5, decision.int=4)

3.4. Gráfico CUSUM tabular para Monitorar a Média

Para construir o gráfico CUSUM tabular, deve-se utilizar o comando para construir um dos gráficos x ou xbarra de Shewhart, armazená-lo em um objeto, e construir o gráfico utilizando este objeto. No R, o gráfico gerado é o CUSUM tabular padronizado (tabela 9). Nele, os argumentos usados para especificar os parâmetros são: std.dev, center, se.shift (δ) e decision.int (h*).

Tabela 9. Limites e CUSUMs tabulares padronizados dos gráficos para variáveis com monitoramento da média

	Média e desvio padrão conhecidos	Médias e desvio padrão desconhecidos
LM	0	0
LC	±h*	±h*
$S_H(i)^*$	máximo $\left[0; \frac{Y_i - \mu_Y}{\sigma_Y} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{Y_i - \bar{Y}}{s_Y} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$
	máximo $\left[0; \frac{\bar{Y}_i - \mu_Y}{\sigma_{\bar{Y}}} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{\bar{Y}_i - \bar{\bar{Y}}}{s_{\bar{Y}}} - k^* + S_H(i-1)^*\right]$
$S_L(i)^*$	máximo $\left[0; \frac{\mu_Y - Y_i}{\sigma_Y} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{\bar{Y} - Y_i}{s_Y} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$
	máximo $\left[0; \frac{\mu_Y - \bar{Y}_i}{\sigma_{\bar{Y}}} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$	máximo $\left[0; \frac{\bar{\bar{Y}} - \bar{Y}_i}{s_{\bar{Y}}} - k^* + S_L(i-1)^*\right]$

3.4.1. CUSUM Tabular Padronizada da Medida Idividual

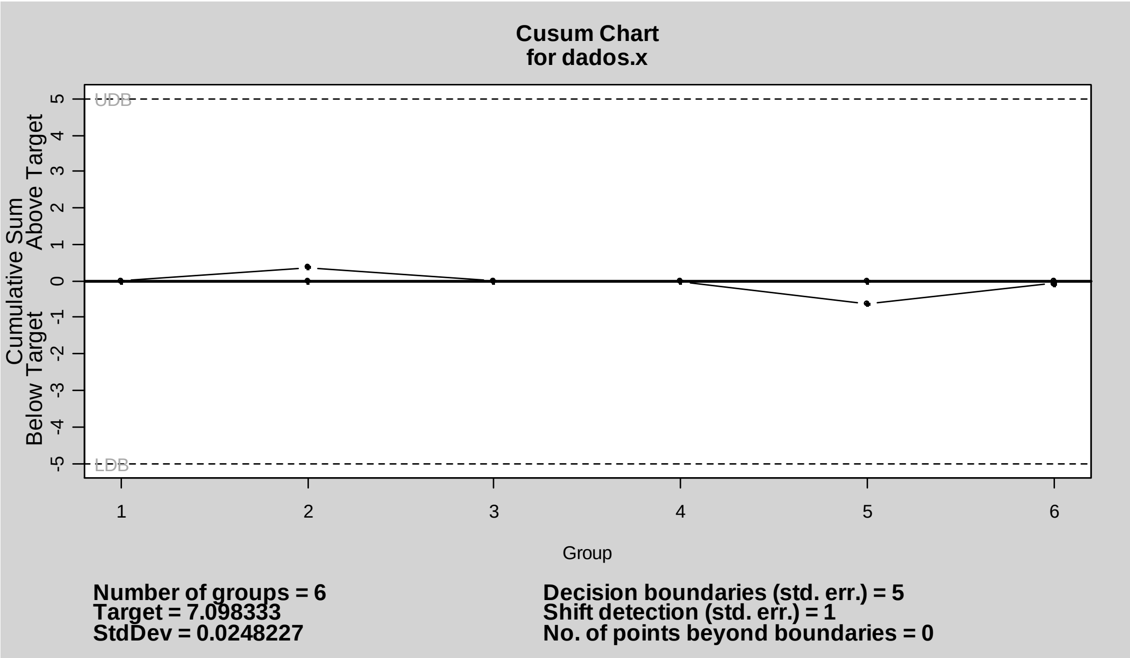
Como exemplo, considere o arquivo de dados “C:\Rdados\gc_x.csv” e o objeto dados.xb utilizados para a construção do gráfico x, em que foram coletadas seis amostras de um item.

Para construir o gráfico CUSUM da medida idividual (figura 19), h* = 5 (default), δ = 1 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos no R:

```
dados.cusum.x<-qcc(dados.x, type=“xbar.one”, plot=F)
```

_ O argumento plot=F indica para não construir o gráfico x re.cus.x<-cusum(dados.cusum.x) # construir o gráfico CUSUM de x

Figura 19. Gráfico CUSUM tabular da medida individual



re.cus.x$cusum # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM da medida individual

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0.0000000 0.3728571 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000

$neg
[1] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.0000000 -0.64142857 -0.07428571

$decision.int
[1] 5

$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular da medida individual, com δ = 1,5, h* = 4, μ_Y = 7 e σ_Y = 0.01, tem-se:

dados.cusum.x<-qcc(dados.x, type="xbar.one", center=7, std.dev=0.01, plot=F)
cusum(dados.cusum.x, se.shift=1.5, decision.int=4)

3.4.2. CUSUM Tabular Padronizada da Média

Como exemplo, considere o arquivo de dados “C:\Rdados\gc_xb.csv” e o objeto dados.xb utilizados para a construção do gráfico Xbarra, em que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis.

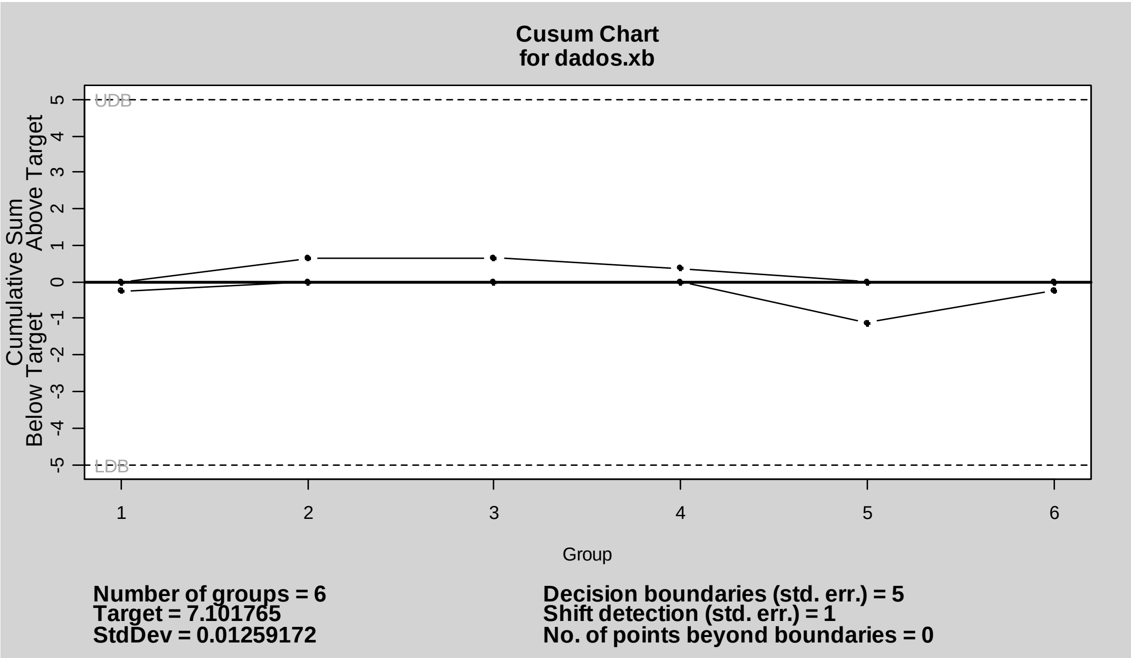
Para construir o gráfico CUSUM da média (figura 20), h* = 5 (default), δ = 1 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos no R:

dados.cusum.xbar<-qcc(dados.xb, type=“xbar”, plot=F)

O argumento plot=F indica para não construir o gráfico Xbarra

re.cus.xbar<-cusum(dados.cusum.xbar) # construir o gráfico CUSUM da média

Figura 20. Gráfico CUSUM tabular da média



re.cus.xbar$cusum   # Ver os resultados referentes ao gráfico CUSUM da média

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$pos
[1] 0.0000000 0.6328042 0.6466808 0.3624530 0.0000000 0.0000000

$neg
[1] -0.2597645  0.0000000  0.0000000  0.0000000 -1.1182917 -0.2549260

$decision.int
[1] 5
```

```
$se.shift
[1] 1
```

Caso haja interesse em construir o gráfico CUSUM tabular da média, com δ = 1,5, h* = 4, μ_Y = 7 e σ_Y = 0,01, tem-se:

```
dados.cusum.xbar<-qcc(dados.xb, type="xbar", center=7, std.dev=0.01, plot=F)
cusum(dados.cusum.xbar, se.shift=1.5, decision.int=4)
```

3.5. Gráfico EWMA para Monitorar a Variabilidade

Para construir o gráfico EWMA (tabela 10), deve-se utilizar o comando para construir um dos gráficos R ou s de Sherwhart, armazená-lo em um objeto e construir o gráfico utilizando este objeto.

Tabela 10. Limites dos gráficos EWMAs para variáveis com monitoramento da variabilidade

	Média e desvio padrão conhecidos		Média e desvio padrão desconhecidos	
	R	S	R	s
LM	μ_R	μ_s	$\overline{R}$	$\overline{s}$
LC	$\mu_R \pm k\sigma_{Wi}$	$\mu_s \pm k\sigma_{Wi}$	$\overline{R} \pm ks_{Wi}$	$\overline{s} \pm ks_{Wi}$
	$\sigma_{Wi} = \sigma_R \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$		$s_{Wi} = s_R \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$	
	$\sigma_{Wi} = \sigma_s \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$		$s_{Wi} = s_s \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$	

Na tabela 10, W_i é definido para os gráficos R e S, respectivamente, por:

$W_i = \lambda R_i + (1 - \lambda) R_{i-1}$;

$W_i = \lambda s_i + (1 - \lambda) s_{i-1}$;

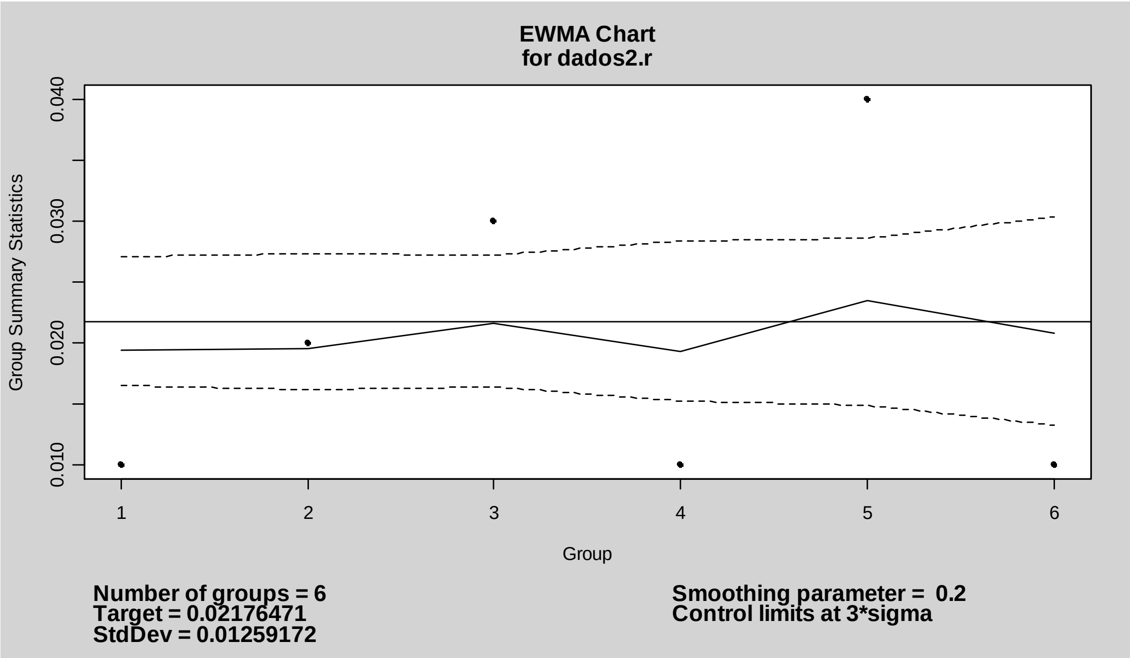
No gráfico EWMA, os argumentos que podem ser usados para especificar os parâmetros são: center, std.dev, nsigmas e lambda.

3.5.1. EWMA de R

Com base no objeto dados2.r, para construir o gráfico EWMA de R (figura 21), λ = 0,2 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos no R:

dados.ewma.r<-qcc(dados2.r, type="R", plot=F)
re.ewma.r<-ewma(dados.ewma.r) # Construir o gráfico EWMA de R

Figura 21. Gráfico EWMA de R



re.ewma.r$ewma # Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA de R

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$y
         1          2          3          4          5          6
0.01941176 0.01952941 0.02162353 0.01929882 0.02343906 0.02075125

$sigma
          1              2              3              4              5
6
0.001780737    0.001861985    0.001802683    0.002210671    0.002289485
0.002864105

$nsigmas
[1] 3

$limits
         LCL        UCL
1 0.01642249 0.02710692
```

```
2 0.01617875 0.02735066
3 0.01635666 0.02717276
4 0.01513269 0.02839672
5 0.01489625 0.02863316
6 0.01317239 0.03035702
```

E para construí-lo em função de λ = 0,25, k = 2, μ_R = 0,02 e σ_R = 0,01, têm-se:

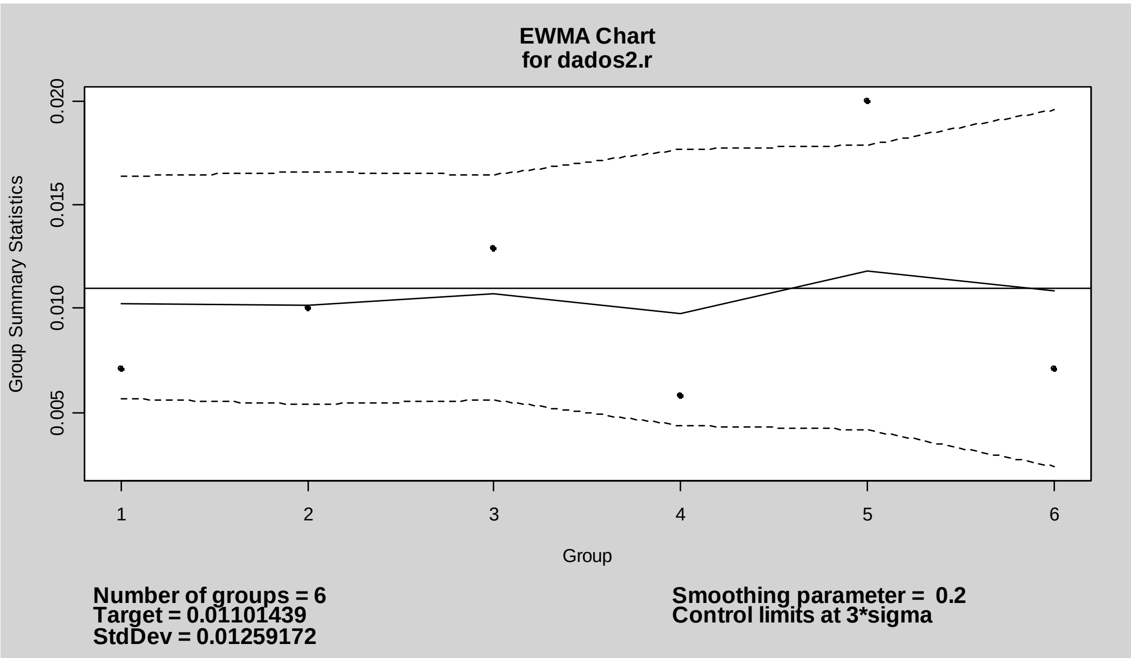
dados.emwa.r<-qcc(dados2.r, type="R", center=0.02, std.dev=0.01, plot=F)
re.ewma.r<-ewma(dados.ewma.r, nsigmas=2, lambda=0.25)

3.5.2. EWMA de s

Com base no objeto dados2.r, para construir o gráfico EWMA de s, λ = 0,2 (default) e do valor alvo e do desvio padrão estimados com base nos dados, têm-se os seguintes comandos no R:

dados.ewma.s<-qcc(dados2.r, type="S", plot=F)
re.ewma.s<-ewma(dados.ewma.s) # Construir o gráfico EWMA de s

Figura 22. Gráfico EWMA de s



re.ewma.s$ewma # Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA de s

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$y
```

```
         1            2            3            4            5
6
0.010225722  0.010180578  0.010726451  0.009735861  0.011788689
0.010845165

$sigma
         1            2            3            4            5
6
0.001780737  0.001861985  0.001802683  0.002210671  0.002289485
0.002864105

$nsigmas
[1] 3

$limits
          LCL        UCL
1 0.005672173 0.01635660
2 0.005428431 0.01660034
3 0.005606336 0.01642244
4 0.004382372 0.01764640
5 0.004145932 0.01788284
6 0.002422071 0.01960670
```

E para construí-lo em função de $\lambda = 0{,}25$, $k = 2$, $\mu_s = 0{,}02$ e $\sigma_s = 0{,}01$, têm-se:

dados.emwa.s<-qcc(dados2.r, type="S", center=0.02, std.dev=0.01, plot=F)
re.ewma.s<-ewma(dados.ewma.s, nsigmas=2, lambda=0.25)

3.6. EWMA para Monitorar a Média

Para construir o gráfico EWMA (tabela 11), deve-se utilizar o comando para construir um dos gráficos x ou Xbarra de Sherwhart, armazená-lo em um objeto e construir o gráfico utilizando este objeto.

Tabela 11. Limites dos gráficos EWMAs para variáveis com monitoramento da média

	Média e desvio padrão conhecidos		Média e desvio padrão desconhecidos	
	x	Xbarra	x	Xbarra
LM	μ_Y	μ_Y	$\overline{Y}$	$\overline{\overline{Y}}$
LC	$\mu_Y \pm k\sigma_{Wi}$	$\mu_Y \pm k\sigma_{Wi}$	$\overline{Y} \pm ks_{Wi}$	$\overline{\overline{Y}} \pm ks_{Wi}$
	$\sigma_{Wi} = \sigma_Y \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$		$s_{Wi} = s_Y \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$	
	$\sigma_{Wi} = \sigma_{\overline{Y}} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$		$s_{Wi} = s_{\overline{Y}} \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2i}\right]}$	

Na tabela 11, W_i é definido para os gráficos x e $\overline{X}$, respectivamente, por:

$W_i = \lambda y_i + (1 - \lambda) y_{i-1}$;

$W_i = \lambda \overline{Y}_{i-1} + (1 - \lambda) \overline{Y}_{i-1}$.

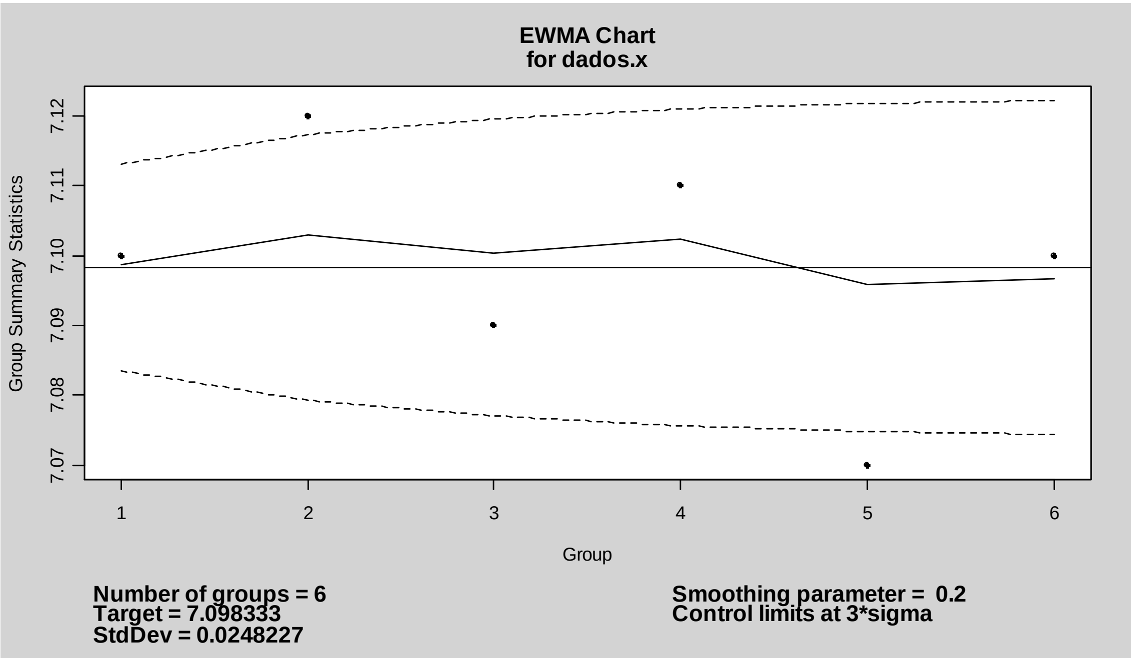
3.6.1. EWMA da Medida Individual

Como exemplo, considere o arquivo de dados utilizados para a construção do gráfico x, em que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis (figura 23). O arquivo de dados a ser utilizado é “C:\Rdados\gc_x.csv” e o objeto é dados.x. No R, têm-se os seguintes comandos, para k = 3 (default), λ = 0,2 (default) e o valor alvo e o desvio padrão estimados com base nos dados:

dados.ewma.x<-qcc(dados.x, type=“xbar.one”, plot=F)

re.ewma.x<-ewma(dados.ewma.x) # Construir o gráfico EWMA da medida individual

Figura 23. Gráfico EWMA da medida individual



re.ewma.x$ewma #Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA da medida individual

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6
```

```
$y
       1        2        3        4        5        6 
7.098667 7.102933 7.100347 7.102277 7.095822 7.096657 

$sigma
      1           2           3           4           5 
0.004964539 0.006357712 0.007107445 0.007548294 0.007817401 
     6 
0.007984872 

$nsigmas
[1] 3

$limits
       LCL      UCL
1 7.083440 7.113227
2 7.079260 7.117406
3 7.077011 7.119656
4 7.075688 7.120978
5 7.074881 7.121786
6 7.074379 7.122288
```

Caso haja interesse em construir o gráfico EWMA da medida individual em função de k = 2, λ = 0,25, μ_Y = 7 e σ_Y = 0,01, então tem-se:

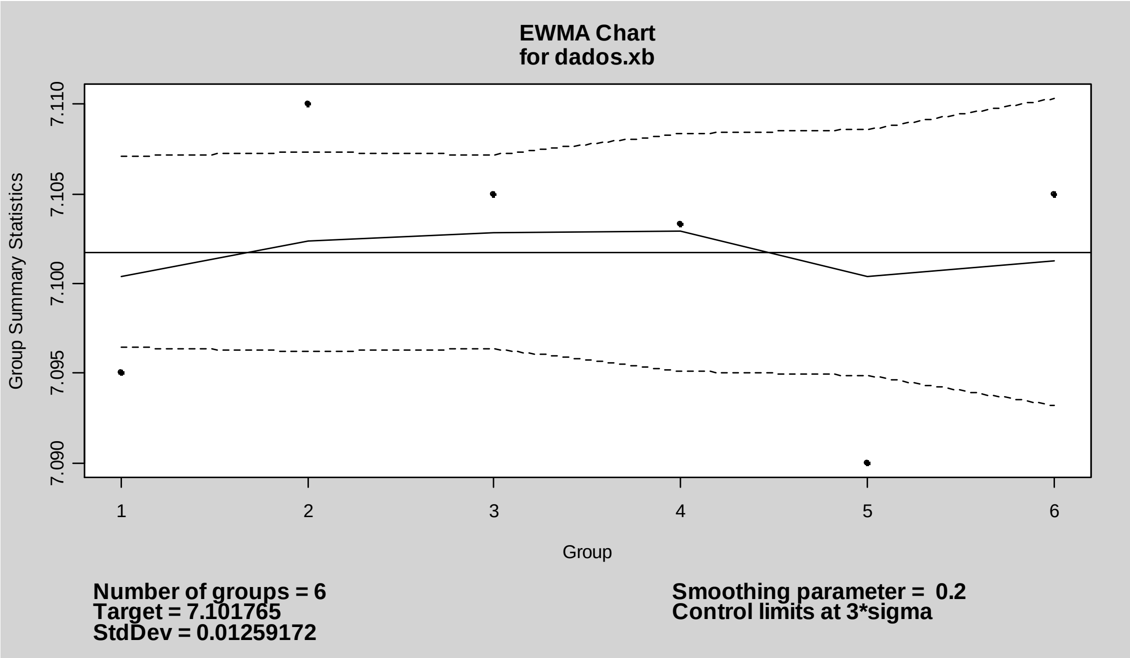
dados.ewma.x<-qcc(dados.x, type="xbar.one", center=7, std.dev=0.01, plot=F)
re.ewma.x<-ewma(dados.ewma.x, lambda=0.25, nsigmas=2)

3.6.2. EWMA da Média

Como exemplo, considere o arquivo de dados utilizados para a construção do gráfico Xbarra, em que foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis (figura 24). O arquivo de dados a ser utilizado é "C:\Rdados\gc_xb.csv" e o objeto é dados.xb. No R, têm-se os seguintes comandos, para k = 3 (default), λ = 0,2 (default) e o valor alvo e o desvio padrão estimados com base nos dados:

dados.ewma.xbar<-qcc(dados.xb, type="xbar", plot=F)
re.ewma.xbar<-ewma(dados.ewma.xbar) # Construir o gráfico EWMA da média

Figura 24. Gráfico EWMA da média



re.ewma.xbar$ewma   # Ver os resultados referentes ao gráfico EWMA da média

```
$x
[1] 1 2 3 4 5 6

$y
       1        2        3        4        5        6
7.100412 7.102329 7.102864 7.102957 7.100366 7.101293

$sigma
     1           2           3           4           5
0.001780737 0.001861985 0.001802683 0.002210671 0.002289485
     6
0.002864105

$nsigmas
[1] 3

$limits
       LCL      UCL
1 7.096422 7.107107
2 7.096179 7.107351
3 7.096357 7.107173
4 7.095133 7.108397
5 7.094896 7.108633
6 7.093172 7.110357
```

Caso haja interesse em construir o gráfico EWMA da média em função de k = 2, λ = 0,25, μ_Y = 7 e σ_Y = 0,01, então tem-se:

dados.ewma.xbar<-qcc(dados.xb, type=“xbar”, center=7, std.dev=0.01, plot=F)

re.ewma.xbar<-ewma(dados.ewma.xbar, lambda=0.25, nsigmas=2)

4. Capacidade de Processo

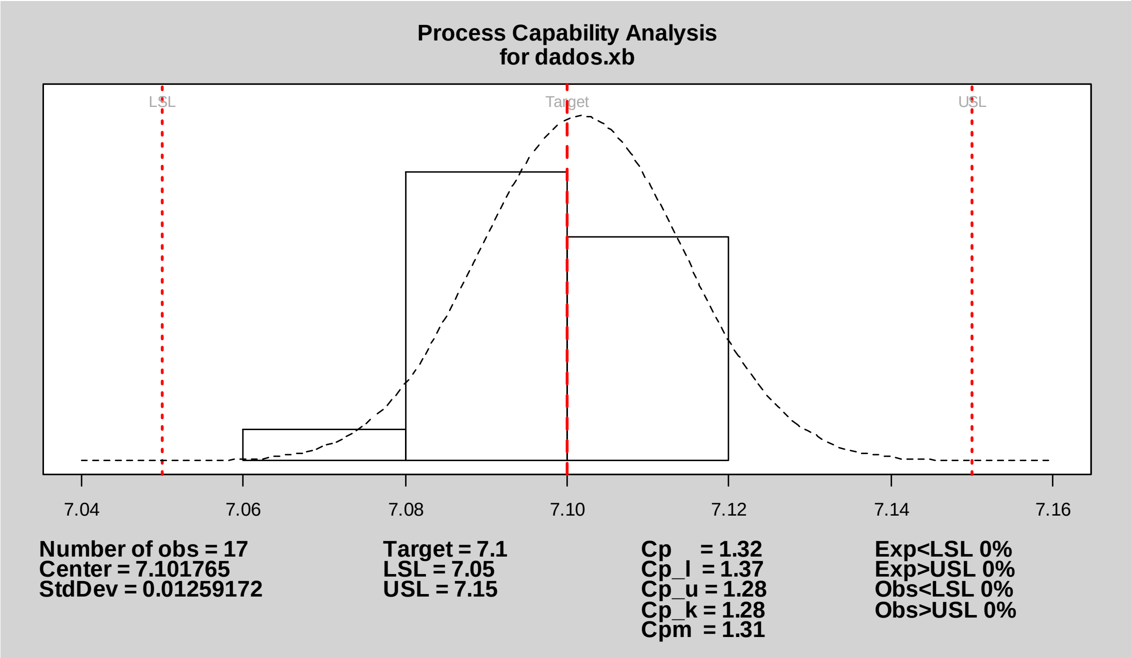
Na capacidade de processo, os argumentos que podem ser usados para especificar os parâmetros são: spec.limits, target e std.dev. O argumento spec.limits é obrigatório. Caso o valor alvo (target) não seja fornecido, este será calculado pela média dos limites. No R, deve-se utilizar o comando para construir o gráfico Xbarra de Sherwhart, armazená-lo em um objeto e construir o gráfico utilizando este objeto.

Como exemplo considere o objeto dados.xb utilizado na construção do gráfico Xbarra, onde foram coletadas seis amostras de tamanhos variáveis (figura 25). A estimativa da capacidade de processo com LIC = 7,05 e LSC = 7,15, com o desvio padrão e o valor alvo estimados, têm-se os seguintes comandos no R:

```
dados.cp<-qcc(dados.xb,type="xbar")
process.capability(dados.cp, spec.limits=c(7.05, 7.15))
```

```
Process Capability Analysis

Call:
process.capability(object = dados.cp, spec.limits = c(7.05, 7.15),
target = 7.1)

Number of obs = 17           Target = 7.1
       Center = 7.101765        LSL = 7.05
       StdDev = 0.01259172      USL = 7.15

Capability indices:

      Value    2.5%  97.5%
Cp    1.324  0.8697  1.777
Cp_l  1.370  0.9503  1.790
Cp_u  1.277  0.8825  1.671
Cp_k  1.277  0.8070  1.747
Cpm   1.311  0.8703  1.751

Exp<LSL 0%   Obs<LSL 0%
Exp>USL 0%   Obs>USL 0%
```

Figura 25. Gráfico da capacidade de processo



Caso haja interesse em fazer a capacidade de processo com LIC = 7,05, LSC = 7,13, μ_Y = 1,10 e σ_Y = 0,01, têm-se:

```
dados.cp<-qcc(dados.xb,type="xbar")
process.capability(dados.cp, spec.limits=c(7.05, 7.13), target=7.1, std.dev=0.01)
```