

Aula 19 Comutação- Seguros e Anuidades



Danilo Machado Pires
danilo.pires@unifal-mg.edu.br
Leonardo Henrique Costa
leonardo.costa@unifal-mg.edu.br

Funções de comutação

$$D_x = l_x v^x$$

$$C_x = v^{x+1} d_x$$

$$N_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} D_{(x+t)}$$

$$M_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} C_{x+t}$$

$$S_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} N_{x+t}$$

$$R_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} M_{x+t}$$

Comutação- Seguro vitalício

$$A_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} v^{t+1} {}_t p_x q_{x+t} = \sum_{t=0}^{\omega-x} v^{t+1} \frac{l_{x+t}}{l_x} \left(\frac{l_{x+t} - l_{x+t+1}}{l_{x+t}} \right)$$

$$A_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} v^{t+1} \left(\frac{l_{x+t} - l_{x+t+1}}{l_x} \right) = \sum_{t=0}^{\omega-x} \frac{v^{x+t+1}}{v^x} \left(\frac{l_{x+t} - l_{x+t+1}}{l_x} \right)$$

$$A_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} \frac{v^{x+t+1} (l_{x+t} - l_{x+t+1})}{l_x v^x} = \frac{1}{l_x v^x} \sum_{t=0}^{\omega-x} v^{x+t+1} (l_{x+t} - l_{x+t+1})$$

$$A_x = \frac{1}{D_x} \sum_{t=0}^{\infty} C_{x+t} = \frac{M_x}{D_x}$$

Comutação- Dotal Puro

$$A_{x:\overline{n}|1} = v^n {}_n p_x$$

$$A_{x:\overline{n}|1} = v^n \left(\frac{l_{x+n}}{l_x} \right)$$

$$A_{x:\overline{n}|1} = \frac{v^{n+x} (l_{x+n})}{v^x l_x}$$

$$A_{x:\overline{n}|1} = \left(\frac{D_{x+n}}{D_x} \right) = {}_n E_x$$

Comutação- Seguro Vitalício Diferido

$${}_m|A_x = A_{x:\overline{m}|^1}A_{x+m}$$

$${}_m|A_x = \left(\frac{D_{x+m}}{D_x} \right) \left(\frac{M_{x+m}}{D_{x+m}} \right) = \left(\frac{M_{x+m}}{D_x} \right)$$

Comutação- Seguro Temporário

$${}_n|A_x = A_x - A_{x^{1:\overline{n}|}}$$

$$\left(\frac{M_{x+n}}{D_x}\right) = \frac{M_x}{D_x} - A_{x^{1:\overline{n}|}}$$

$$A_{x^{1:\overline{n}|}} = \frac{M_x}{D_x} - \left(\frac{M_{x+n}}{D_x}\right) = \left(\frac{M_x - M_{x+n}}{D_x}\right)$$

Comutação- Dotal Misto

$$A_{x:\overline{n}|} = A_{x^1:\overline{n}|} + A_{x:\overline{n}|^1}$$

$$A_{x:\overline{n}|} = \frac{M_x - M_{x+n}}{D_x} + \frac{D_{x+n}}{D_x}$$

$$A_{x:\overline{n}|} = \frac{M_x - M_{x+n} + D_{x+n}}{D_x}$$

Comutação- Seguro de vida

$$A_x = \frac{M_x}{D_x}$$

$$A_{x^{1:\overline{n}|}} = \frac{M_x - M_{x+n}}{D_x}$$

$$A_{x:\overline{n}|}^1 = \frac{D_{x+n}}{D_x}$$

$$A_{x:\overline{n}|} = \frac{M_x - M_{x+n} + D_{x+n}}{D_x}$$

$${}_m|A_x = \frac{M_{x+m}}{D_x}$$

$${}_m|A_{x^{1:\overline{n}|}} = \frac{M_{x+m} - M_{x+m+n}}{D_x}$$

$$(IA)_x = \frac{R_x}{D_x}$$

$$(IA)_{x^{1:\overline{n}|}} = \frac{R_x - R_{x+n} - n \times M_{x+n}}{D_x}$$

EXEMPLO Considerando a taxa anual de juros igual a 3% e que o tempo de vida de um segurado de 47 anos de idade possa ser modelado pela tábua AT-49. Qual será o prêmio puro único que deverá ser pago por um dotal misto com cobertura de 5 anos, com o benefício pago **no momento** da morte?



EXEMPLO Considerando a taxa anual de juros igual a 3% e que o tempo de vida de um segurado de 47 anos de idade possa ser modelado pela tábua AT-49. Qual será o prêmio puro único que deverá ser pago por um dotal misto com cobertura de 5 anos, com o benefício pago **no momento** da morte?

Solução:

$$\bar{A}_{47:\bar{5}|} = A_{47^1:\bar{5}|} \frac{i}{\delta} + A_{47:\bar{5}|}^1.$$

Assim

$$\bar{A}_{47:\bar{5}|} = \left(\frac{M_{47} - M_{52}}{D_{47}} \right) \left[\frac{0,03}{\ln(1,03)} \right] + \left(\frac{D_{52}}{D_{47}} \right)$$

$$\bar{A}_{47:\bar{5}|} \approx (0,02665)(1,0149) + (0,837349) \approx 0,8643961.$$

Comutação-Anuidades

➤ Renda vitalícia imediata antecipada:

$$\ddot{a}_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} v^t {}_t p_x = \sum_{t=0}^{\omega-x} v^t \frac{l_{x+t}}{l_x}$$

$$\ddot{a}_x = \frac{\sum_{t=0}^{\omega-x} l_{x+t} v^x v^t}{l_x v^x} = \frac{\sum_{t=0}^{\omega-x} l_{x+t} v^{x+t}}{l_x v^x} = \frac{\sum_{t=0}^{\omega-x} D_{(x+t)}}{l_x v^x}$$

$$\ddot{a}_x = \frac{N_x}{D_x}$$

Comutação-Anuidades

➤ Renda vitalícia Postecipada:

$$a_x = \sum_{t=1}^{\omega-x} v^t {}_t p_x = \sum_{t=1}^{\omega-x} v^t \frac{l_{x+t}}{l_x}$$

$$a_x = \frac{\sum_{t=1}^{\omega-x} l_{x+t} v^{x+t}}{l_x v^x} = \frac{\sum_{t=1}^{\omega-x} D_{(x+t)}}{l_x v^x} = \frac{\sum_{t=0}^{\omega-x} D_{(x+1+t)}}{l_x v^x} = \frac{N_{x+1}}{D_x}$$

$$a_x = \frac{N_{x+1}}{D_x}$$

Comutação-Anuidades

- Renda Vitalícia diferida antecipada e postecipada:

$${}_m|\ddot{a}_x = A_{x:\overline{m}|^1} \ddot{a}_{x+m}$$

$${}_m|\ddot{a}_x = \left(\frac{D_{x+m}}{D_x} \right) \left(\frac{N_{x+m}}{D_{x+m}} \right) = \left(\frac{N_{x+m}}{D_x} \right)$$

Logo

$${}_m|a_x = \left(\frac{N_{x+m+1}}{D_x} \right)$$

Comutação-Anuidades

➤ Renda temporária imediata antecipada e postecipada:

$$\ddot{a}_{x:\bar{n}|} = \ddot{a}_x - n| \ddot{a}_x$$

$$\ddot{a}_{x:\bar{n}|} = \frac{N_x}{D_x} - \frac{N_{x+n}}{D_x}$$

$$\ddot{a}_{x:\bar{n}|} = \frac{N_x - N_{x+n}}{D_x}$$

Logo

$$a_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+1} - N_{x+n+1}}{D_x}$$

Comutação-Anuidades

$$\ddot{a}_x = \frac{N_x}{D_x}$$

$$\ddot{a}_{x:\bar{n}|} = \frac{N_x - N_{x+n}}{D_x}$$

$$a_x = \frac{N_{x+1}}{D_x}$$

$$a_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+1} - N_{x+n+1}}{D_x}$$

$${}_m|\ddot{a}_x = \left(\frac{N_{x+m}}{D_x} \right)$$

$${}_m|\ddot{a}_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+m} - N_{x+m+n}}{D_x}$$

$${}_m|a_x = \left(\frac{N_{x+m+1}}{D_x} \right)$$

$${}_m|a_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+m+1} - N_{x+m+n+1}}{D_x}$$

$$(I\ddot{a})_x = \frac{S_x}{D_x}$$

$$(I\ddot{a})_{x:\bar{n}|} = \frac{S_x - S_{x+n} - n \times N_{x+n}}{D_x}$$

$$(Ia)_x = \frac{S_{x+1}}{D_x}$$

$$(Ia)_{x:\bar{n}|} = \frac{S_{x+1} - S_{x+n+1} - n \times N_{x+n+1}}{D_x}$$

EXEMPLO : Considerando a tábua AT-2000 feminina e uma taxa de juros de 5% ao ano, calcule o que se pede:

a) $a_{25:\overline{25}|}$

b) ${}_{30|}\ddot{a}_{25}^{(12)}$

c) $a_{30:\overline{10}|}^{(48)}$

SOLUÇÃO

$$a) a_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+1} - N_{x+n+1}}{D_x}$$

$$b) {}_k|\ddot{a}_x^{(m)} \approx A_{x:\bar{k}|^1} \left({}_k|\ddot{a}_x - \frac{m-1}{2 \times m} \right)$$

$$c) a_{x:\bar{n}|}^{(m)} \approx a_{x:\bar{n}|} + \left(1 - A_{x:\bar{n}|^1} \right) \left(\frac{m-1}{2 \times m} \right)$$

EXEMPLO : Considerando a tábua AT-2000 feminina e uma taxa de juros de 5% ao ano, calcule o que se pede:

a) $a_{25:\overline{25}|}$

b) ${}_{30|}\ddot{a}_{25}^{(12)}$

c) $a_{30:\overline{10}|}^{(48)}$

SOLUÇÃO

a) $a_{25:\overline{25}|} = \frac{N_{26} - N_{51}}{D_{25}} \approx 14,01$

b) ${}_{30|}\ddot{a}_{25}^{(12)} \approx A_{25:\overline{30}|^1} \left({}_{30|}\ddot{a}_{25} - \frac{12-1}{2 \times 12} \right) \approx \left(\frac{D_{55}}{D_{25}} \right) \left[\frac{N_{55}}{D_{25}} - \left(\frac{12-1}{2 \times 12} \right) \right] \approx 0,6983$

c) $a_{30:\overline{10}|}^{(48)} \approx a_{30:\overline{10}|} + \left(1 - A_{30:\overline{10}|^1} \right) \left(\frac{48-1}{2 \times 48} \right) \approx \left(\frac{N_{31} - N_{41}}{D_{30}} \right) + \left(1 - \frac{D_{40}}{D_{30}} \right) \left(\frac{48-1}{2 \times 48} \right) \approx 7,8819$

Expectativa de vida

$$e_x = \sum_{t=1}^{\omega-x} {}_t p_x = \sum_{t=1}^{\omega-x} \frac{l_{x+t}}{l_x} = \frac{l_{x+1} + l_{x+2} + l_{x+3} + \cdots + l_{\omega}}{l_x}$$

$$e_x = \frac{2}{2} \left(\frac{l_{x+1} + l_{x+2} + l_{x+3} + \cdots + l_{\omega}}{l_x} \right)$$

$$l_x e_x = \frac{2(l_{x+1} + l_{x+2} + l_{x+3} + \cdots + l_{\omega})}{2}$$

$$l_x e_x = \frac{l_{x+1} + (l_{x+1} + l_{x+2}) + (l_{x+2} + l_{x+3}) + \cdots + (l_{\omega-1} + l_{\omega}) + l_{\omega}}{2}$$

$$l_x e_x = \frac{l_{x+1}}{2} + \frac{(l_{x+1} + l_{x+2}) + (l_{x+2} + l_{x+3}) + \cdots + (l_{\omega-1} + l_{\omega}) + (l_{\omega} + l_{\omega+1})}{2}$$

$$l_x e_x = \frac{l_{x+1}}{2} + \left[T_x - \left(\frac{l_x + l_{x+1}}{2} \right) \right]$$

Expectativa de vida

...

$$l_x e_x = \frac{l_{x+1}}{2} + \left[T_x - \left(\frac{l_x + l_{x+1}}{2} \right) \right]$$

$$l_x e_x = T_x + \frac{(l_{x+1} - l_x - l_{x+1})}{2} = T_x - \frac{l_x}{2}$$

$$e_x = \frac{T_x}{l_x} - \frac{1}{2}$$

Expectativa de vida completa

$$e_x^0 = \frac{T_x}{l_x}$$

- **Portal Halley** : <https://atuaria.github.io/portalhalley/>
- Bowers et al. **Actuarial Mathematics**, 2ª edição. SOA, 1997.
- D. C. M. Dickson, M. R. Hardy and H. R. Waters. **Actuarial Mathematics for Life Contingent Risks**. Cambridge University Press, 2019.
- CORDEIRO FILHO, Antônio. **Cálculo Atuarial Aplicado: teoria e aplicações, exercícios resolvidos e propostos**. São Paulo: Atlas, 2009.
- GARCIA, J. A.; SIMÕES, O. A. **Matemática actuarial – Vida e pensões**. 2. ed. Coimbra: Almedina, 2010.
- PIRES, M. D.; COSTA, L. H.; FERREIRA, L.; MARQUES, R. **Fundamentos da matemática atuarial: vida e pensões**. Curitiba :CRV, 2022.

