

# Simulador Whole Life Integral

Documentação técnica para estudo do produto

Walter C. Neto

5 de dezembro de 2025

## Resumo

Este documento descreve o simulador atuarial *Whole Life Integral*, desenvolvido em R por meio de um aplicativo [3] integrado ao pacote `LifeInsureR` [1]. O objetivo do protótipo é permitir a análise interativa de seguros de vida inteira com prêmio limitado, utilizando tábuas de mortalidade paramétricas, taxas de juros parametrizáveis e estrutura de custos típica da SUSEP. O simulador apresenta valores de prêmio, reservas futuras (PMBaC), valor de resgate, benefícios prolongados e um gráfico descritivo da evolução atuarial do contrato.

## Sumário

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                      | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Base Teórica</b>                                    | <b>3</b> |
| 2.1      | Anuidade de prêmio . . . . .                           | 3        |
| 2.2      | Provisão Matemática de Benefícios a Conceder . . . . . | 3        |
| 2.3      | Valor de Resgate . . . . .                             | 4        |
| 2.4      | Benefício Prolongado . . . . .                         | 4        |
| <b>3</b> | <b>Construção do Motor Atuarial</b>                    | <b>4</b> |
| 3.1      | Ambiente e custos . . . . .                            | 4        |
| 3.2      | Precificação . . . . .                                 | 4        |
| 3.3      | Contrato Atuarial . . . . .                            | 5        |
| <b>4</b> | <b>Interface</b>                                       | <b>5</b> |
| <b>5</b> | <b>Tabela Atuarial Gerada</b>                          | <b>6</b> |
| <b>6</b> | <b>Gráfico de Evolução</b>                             | <b>6</b> |

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>7</b> | <b>Arquitetura do Pacote LifeInsureR</b>              | <b>7</b> |
| 7.1      | Motivação e Conceito Central . . . . .                | 7        |
| 7.2      | Estrutura Geral: Precificação e Contratos . . . . .   | 7        |
| 7.2.1    | InsuranceTarif . . . . .                              | 7        |
| 7.2.2    | InsuranceContract . . . . .                           | 8        |
| 7.3      | Modelagem de Custos . . . . .                         | 9        |
| 7.4      | Reservas, Resgates e Benefícios Prolongados . . . . . | 9        |
| 7.5      | Exportação e Grids Contratuais . . . . .              | 10       |

# 1 Introdução

O aplicativo foi desenhado como um ambiente experimental para:

- estudar a modelagem atuarial de seguros de vida inteira;
- testar tábuas de mortalidade em diferentes perfis;
- analisar o efeito de custos, carregamentos e taxas;
- produzir tabelas e gráficos de projeção atuarial;
- comparar resultados com a concorrência.

Do ponto de vista computacional, o protótipo faz uso dos pacotes `LifeInsureR` e `MortalityTables` [2] para a parte atuarial, e do `shiny` [3] para a interface interativa em navegador. Trata-se de um simulador voltado para análise e verificação de consistência, além de auxiliar na explicação visual de conceitos como prêmio limitado, PMBaC, valor de resgate e benefício prolongado.

## 2 Base Teórica

O produto modelado é um seguro de vida inteira (whole life) com prêmio limitado, cujo pagamento de benefício ocorre na morte do segurado independentemente do momento, seguindo a formulação clássica de seguros de vida, por exemplo, em [1].

### 2.1 Anuidade de prêmio

Seja  $P$  o prêmio anual e  $a_{\overline{n}|}^{(x)}$  a anuidade atuarial para  $n$  anos, dependente das probabilidades de sobrevivência e da taxa de juros. O prêmio puro é:

$$P_{\text{líquido}} = \frac{\text{EPV}(\text{Benefícios})}{\text{EPV}(\text{Prêmios})} = \frac{A_x}{a_{\overline{n}|}^{(x)}}$$

onde  $A_x$  é o seguro de vida inteira.

### 2.2 Provisão Matemática de Benefícios a Conceder

A PMBaC no ano  $t$  segue o princípio prospectivo:

$$\text{PMBaC}_t = \text{EPV}(\text{benefícios futuros}) - \text{EPV}(\text{prêmios futuros}).$$

Isto aparece no aplicativo como a coluna “PMBaC” na tabela gerada a partir dos objetos de reserva do `LifeInsureR` [1].

## 2.3 Valor de Resgate

Foi incluída uma função linear para simular contratos de prêmio nivelado com resgates que começam menores que a reserva e aumentam com o tempo, aproximando-se da PMBaC após o prazo de pagamento:

$$\text{Resgate}(t) = \text{PMBaC}(t) \left( 0.9 + 0.1 \cdot \frac{t}{n} \right),$$

representando um resgate crescente entre 90% e 100% da PMBaC ao longo do plano. A função de resgate é passada como `surrenderValueCalculation` ao objeto `InsuranceTarif`, em linha com a arquitetura proposta em [1].

## 2.4 Benefício Prolongado

Quando o pagamento de prêmio cessa por antecipação, ocorre o benefício prolongado (*paid-up insurance*), calculado automaticamente pelo pacote `LifeInsurer` via campo `PremiumFreeSumInsured`:

$$\text{Capital Prolongado}(t) = \frac{\text{PMBaC}(t)}{A_{x+t}},$$

onde  $A_{x+t}$  é o valor atuarial de um seguro de vida inteira a partir da idade  $x + t$ .

# 3 Construção do Motor Atuarial

## 3.1 Ambiente e custos

A função `setup_ambiente_lifeinsurer()` define:

- carregamentos: custo de aquisição ( $\alpha = 5\%$ ), custo administrativo anual ( $\gamma = 1\%$ ), *unit costs* = 10;
- tábuas de mortalidade `Austria_Census` via pacote `MortalityTables` [2];
- função de resgate parametrizada, aplicada sobre a reserva prospectiva.

## 3.2 Precificação

A função `criar_tarif_whole_life()` cria um objeto `InsuranceTarif` com características:

- tipo: **wholelife** (seguro de vida inteira);
- taxa técnica ajustável pelo usuário (default 2% a.a.);

- política de resgate conforme função definida;
- tábua masculina, feminina ou mista (*mixed table* de [2]).

Esse motor é a base atuarial do app e segue a estrutura modular de `InsuranceTarif` descrita em [1].

### 3.3 Contrato Atuarial

Com base nas escolhas do usuário, cria-se um objeto `InsuranceContract` contendo:

- idade, sexo e capital segurado;
- prazo de pagamento (`premiumPeriod`);
- vigência total (`policyPeriod`);
- data de início e frequência de pagamento.

O pacote retorna valores como:

- prêmio anual líquido e carregado;
- reservas anuais (net, Zillmer, etc.);
- valor de resgate;
- benefício prolongado;
- decomposição de prêmio em risco, poupança e custos.

## 4 Interface

A interface foi desenvolvida utilizando `shiny` [3] com:

- painel lateral com inputs (idade, sexo, capital, taxa, prazo, data);
- painel principal com:
  - cálculo da contribuição mensal (derivada do prêmio anual);
  - total de contribuições acumuladas;
  - tabela atuarial completa;
  - gráfico da evolução da reserva e do capital segurado.

## 5 Tabela Atuarial Gerada

A tabela exibida no app contém, para cada ano de vigência:

- idade do segurado;
- contribuição do ano (diferença ano a ano de `PremiumsPaid`);
- contribuições acumuladas;
- capital segurado vigente;
- valor de resgate projetado;
- PMBaC (reserva matemática prospectiva);
- benefício prolongado (capital reduzido sem novos prêmios).

Esse formato de tabela é análogo às projeções exigidas em notas técnicas atuariais e nas demonstrações internas de provisões, em linha com as práticas usuais de SUSEP para seguros.

## 6 Gráfico de Evolução

O gráfico gerado apresenta quatro séries principais:

1. contribuições acumuladas (fluxo de prêmio do segurado);
2. valor de resgate (resgate disponível ao segurado);
3. PMBaC (reserva técnica sob melhores estimativas);
4. capital segurado (benefício em caso de morte).

A visualização permite ao usuário compreender:

- quando o plano atinge equilíbrio atuarial;
- como a reserva cresce com a idade, especialmente após o fim do período de prêmio;
- o impacto do prazo de pagamento (prêmio limitado versus prêmios mais longos);
- o comportamento do benefício prolongado após o fim dos pagamentos.

## 7 Arquitetura do Pacote LifeInsureR

O motor atuarial utilizado no simulador é baseado no pacote `LifeInsureR`, cujo objetivo é fornecer uma estrutura genérica para modelagem de produtos de seguro de vida tradicionais, como seguros de vida inteira, pecúlios, rendas vitalícias e produtos dotais. A documentação completa encontra-se no manual técnico do pacote [4].

### 7.1 Motivação e Conceito Central

O `LifeInsureR` parte da premissa de que **todo contrato de seguro pode ser representado como um conjunto de fluxos contingentes**, isto é, vetores que descrevem:

- pagamentos de prêmio;
- benefícios por morte;
- benefícios por sobrevivência;
- restituições (ex.: resgate, devoluções);
- custos incorridos ao longo do contrato.

Esses fluxos são combinados com probabilidades de transição (mortalidade/invalidéz) e com uma base atuarial de descontos para determinar prêmios, reservas e valores de resgate de forma matematicamente consistente.

### 7.2 Estrutura Geral: Precificação e Contratos

A arquitetura do pacote possui dois pilares fundamentais:

1. **InsuranceTarif** — descreve o *produto*: mortalidade, custos, tipo de seguro, regras de prêmios e políticas de cálculo.
2. **InsuranceContract** — descreve a *instância individual*: idade, capital segurado, datas, duração, frequência de pagamento e demais características específicas.

#### 7.2.1 InsuranceTarif

Um objeto `InsuranceTarif` define:

- tábua de mortalidade (`mortalityTable`);
- taxa de juros garantida ( $i$ );
- estrutura completa de custos ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , Zillmer) conforme SUSEP/mercado;

- tipo de contrato (vida inteira, dotais, renda, temporário etc.);
- políticas de resgate e regras atuarialmente ajustáveis.

Todos os cálculos de prêmios utilizam o **princípio do valor presente equivalente**, isto é:

$$EPV(\text{benefícios}) + EPV(\text{custos}) = EPV(\text{prêmios}).$$

### 7.2.2 InsuranceContract

Ao criar um contrato via **InsuranceContract**, o pacote:

1. constrói os vetores de fluxos unitários (prêmios, benefícios, custos);
2. calcula probabilidades de morte e sobrevivência;
3. calcula valores presentes de todos os fluxos;
4. resolve o sistema linear que determina:
  - prêmio líquido (neutro a risco),
  - prêmio Zillmer (custo de financiamento do risco),
  - prêmio comercial,
  - reservas (net, Zillmer, administrativas, contábeis);
5. aplica política de resgate e valores prolongados;
6. monta uma base completa para exportação a Excel ou visualização.

O resultado é armazenado no campo **Values**, contendo:

- **cashflows**: vetores absolutos e unitários;
- **presentvalues**: valores presentes por tipo de fluxo;
- **premiums**: bruto, líquido, Zillmer etc.;
- **reserves**: todas as reservas prospectivas/retroativas;
- **surrender values**: valor de resgate sob diferentes métodos;
- **premium-free sum insured**: benefício prolongado;
- **premium composition**: risco, poupança, custos.

Essa abordagem modular permite que um único objeto contenha toda a evolução atuarial do contrato desde o início até o final da vigência.



### 7.3 Modelagem de Custos

O pacote segue a estrutura internacional de custos para produtos tradicionais, baseada nos componentes:

- $\alpha$ : custo de aquisição, proporcional ao prêmio;
- Zillmer: ajuste técnico no prêmio e reserva;
- $\beta$ : custo de cobrança;
- $\gamma$ : despesas administrativas;
- unitcosts: custo fixo anual por apólice.

O construtor `initializeCosts()` permite definir custos em função:

- do período (inicial, durante prêmio, durante vigência inteira);
- da base (soma de prêmios, capital segurado, valor constante).

Isso garante compatibilidade com práticas de SUSEP, CNSP e mercados internacionais.

### 7.4 Reservas, Resgates e Benefícios Prolongados

O cálculo da reserva segue o método prospectivo padrão:

$$\text{Reserva}_t = EPV_t(\text{benefícios futuros}) - EPV_t(\text{prêmios futuros}).$$

O valor de resgate é calculado aplicando-se uma função definida como:

$$SV_t = f(\text{Reserva}_t),$$

que no simulador foi parametrizada como função linear crescente de 90% até 100% do valor da reserva, conforme descrito no manual do pacote.

O benefício prolongado utiliza automaticamente:

$$\text{Paid-Up Capital}(t) = \frac{\text{Reserva}_t}{A_{x+t}},$$

onde  $A_{x+t}$  é o valor atuarial de um seguro de vida inteira a partir da idade futura.

## 7.5 Exportação e Grids Contratuais

O pacote oferece:

- função `exportInsuranceContract.xlsx()` para exportar todo o contrato em Excel;
- função `contractGrid()` para gerar grades multidimensionais (ex.: idade  $\times$  capital  $\times$  prazo);
- compatibilidade nativa com o pacote `MortalityTables`.

Esses recursos foram utilizados para as tabelas e gráficos do simulador desenvolvido.

## Acesso ao Aplicativo Online

O simulador *Whole Life Integral* está disponível para uso diretamente no navegador, por meio da plataforma `shinyapps.io`. A versão publicada do aplicativo pode ser acessada em:

**`https://walter-cn.shinyapps.io/seg-app/`**

Este link permite que o usuário explore todas as funcionalidades descritas neste documento, incluindo:

- parametrização interativa do contrato (idade, sexo, capital, taxa técnica, prazo);
- visualização da tabela atuarial completa;
- projeção gráfica da PMBaC, valor de resgate e contribuições;
- análise didática dos mecanismos de seguro de vida inteira e prêmio limitado.

## Conclusão

Esse estudo permite explorar funcionalidades existentes no mercado para compreensão da modelagem do prêmio dos produtos. Modelos na visão carteira para adequação de ativos e passivos, hedge, sensibilidade a variação de taxas de juros podem ser estudados para a análise da gestão de riscos do produto.

## Referências

- [1] Kainhofer, R. *LifeInsureR: A framework for classical life insurance products in R*. Vignette e documentação do pacote `LifeInsureR`, disponível em: <https://cran.r-project.org/package=LifeInsureR>. Acesso em: 5 de dezembro de 2025.
- [2] Kainhofer, R. *MortalityTables: Mortality Tables in R*. Vignette e documentação do pacote `MortalityTables`, disponível em: <https://cran.r-project.org/package=MortalityTables>. Acesso em: 5 de dezembro de 2025.
- [3] Chang, W. et al. *shiny: Web Application Framework for R*. Documentação do pacote `shiny`, disponível em: <https://cran.r-project.org/package=shiny>. Acesso em: 5 de dezembro de 2025.
- [4] Kainhofer, R. *LifeInsureR: Modelling Traditional Life Insurance Contracts*. Manual técnico do pacote, 2025. Disponível no PDF fornecido. Acesso em: 5 de dezembro de 2025. :contentReference[oaicite:1]index=1