

# Prefácio

A preocupação com o tempo, entre filósofos e matemáticos, vem desde a antiguidade. A contribuição mais conhecida desse período foi a de Zenon cujo o paradoxo sobre o tempo e o espaço<sup>1</sup> levanta questões de continuidade e de atomicidade no tempo e no espaço.

No mundo atual, a rapidez nas decisões, nas comunicações e nas atividades em geral, se tornou um dos paradigmas dominantes na Sociedade da Informação. Utiliza-se cada vez mais o termo *Tempo Real* em diversas situações, as vezes com propriedade, outras apenas com objetivo comercial. De fato, o tempo está sempre presente em todas as atividades mesmo que não seja de forma explícita; as atividades computacionais seguem também essa regra.

Um número crescente de aplicações de importância na sociedade atual apresentam comportamentos definidos segundo restrições temporais. Alguns exemplos dessas aplicações se encontram no controle de plantas industriais, de tráfego aéreo ou ferroviário, nas telecomunicações, na eletrônica embarcada em carros e aviões, na robótica, em sistemas de multimídia, etc. Essas aplicações que apresentam a característica adicional de estarem sujeitas a restrições temporais, são agrupados no que é normalmente identificado como *Sistemas de Tempo Real*.

A maior parte dos sistemas de tempo real são projetados e implementados com ferramentas convencionais de verificação e de implementação. Por exemplo, na prática corrente, são usadas linguagens de alto nível com construções não deterministas ou mesmo linguagens de baixo nível, mas sem a preocupação de tratar o tempo de uma forma mais explícita o que torna difícil a garantia da implementação das restrições temporais. Os sistemas operacionais e suportes de tempo de execução geralmente utilizados apresentam mecanismos para implementar escalonamentos dirigidos a prioridades; estas nunca refletem as restrições temporais definidas para essas aplicações. Na prática usual, a importância em termos das funcionalidades presentes nessas aplicações são determinantes nas definições dessas prioridades; o que pode ser contestado, pois os possíveis graus de importância de funções em uma aplicação nem sempre se mantém na mesma ordem relativa durante todo o tempo de execução desta. Essas práticas têm permitido resolver de forma aceitável e durante muito tempo certas classes de problemas de tempo real nas quais as exigências de garantia sobre as restrições temporais não são tão estritas.

Entretanto, as necessidades de segurança num número cada vez maior de aplicações e a ligação dessa com a correção temporal desses sistemas colocam em xeque as metodologias e ferramentas convencionais, sob pena de perdas em termos financeiros,

---

<sup>1</sup>Conhecido como paradoxo de *Aquiles e da tartaruga* que, na essência, mostra uma máquina - Aquiles - que pode realizar cálculos infinitos num tempo finito.

ambiental ou humano. Essas aplicações exigem toda uma demanda de algoritmos, de suportes computacionais e de metodologias que ultrapassa as ferramentas até então utilizadas e lançam de certa forma novos desafios para os projetistas desse tipo de sistemas.

Apesar da evolução nos últimos anos, em termos de conceitos e métodos, para tratar a problemática de sistemas de tempo real, a adoção no setor produtivo, desses novos algoritmos, suportes e metodologias não se dá no mesmo ritmo. Na prática, o uso de meios mais convencionais continua, mesmo no caso de aplicações críticas, o que pode ser a causa de muitas situações desastrosas. Essa lacuna foi constatada em diversas oportunidades de contato com profissionais que atuam diretamente no mercado.

A primeira motivação desse livro se encontra nessa dicotomia entre os avanços teóricos na área de Sistemas de Tempo Real e a prática no mundo real. Esse livro visa introduzir os conceitos básicos de programação tempo real, apresentar duas abordagens metodológicas para a construção das aplicações de tempo real e mostrar a aplicabilidade dos avanços mais recentes da área contidos nessas abordagens a partir da programação de exemplos de aplicações de tempo real.

O livro é escrito com a motivação de servir de guia e de apoio nas atividades de formação na área de Sistemas de Tempo Real e é o resultado da reunião das respectivas experiências de ensino dos autores, envolvendo cursos de graduação, pós-graduação e de reciclagem ministrados nesses últimos anos. Os leitores não necessitam ter um conhecimento prévio do assunto, sendo que os conceitos necessários ao seu entendimento serão introduzidos no início dos diversos capítulos do livro e que o conteúdo de cunho mais teórico será sempre acompanhado por figuras e pequenos exemplos ilustrativos. Uma experiência ou um conhecimento básico sobre os mecanismos tradicionais de escalonamento de processos e gerenciamento de recursos, encontrados nos cursos de sistemas operacionais ou de programação concorrente é interessante mas não indispensável para o bom entendimento do conteúdo desse livro.

## **Apresentação do Conteúdo do Livro**

O objetivo desse livro é tratar os principais aspectos relacionados a Sistemas de Tempo Real, dentro de uma visão fundamentada em conceitos e novas técnicas presentes na literatura relacionada, destacando a aplicabilidade concreta das mesmas. Dois tipos de abordagens envolvendo a programação de aplicações de tempo real são introduzidas nesse livro: a abordagem assíncrona baseada no escalonamento de tarefas e a abordagem baseada na hipótese síncrona.

A organização desse livro leva em conta o caráter desse objetivo e as duas abordagens citadas. Após um primeiro capítulo de definições e conceitos, apresenta-se um segundo capítulo que trata do escalonamento de tarefas, um terceiro capítulo que trata de suportes de tempo real e de suas utilizações na abordagem assíncrona, um quarto capítulo que apresenta a abordagem síncrona, um quinto capítulo que discute

essas duas abordagens ao visto de exemplos ilustrativos e um último capítulo de conclusões e perspectivas.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução geral ao problema da programação em tempo real. Nesse, é estabelecido o entendimento da noção de tempo real, destacando a terminologia e os conceitos a serem usados em particular os de correção temporal e de previsibilidade. Em seguida, é discutida a problemática de tempo real considerando as aplicações de tempo real mais comuns.

No livro são caracterizados os segundo e terceiro capítulos como definindo uma linha metodológica para a programação de aplicações de tempo real, na qual é priorizado a determinação de uma escala de execução de tarefas que possa atender as restrições de tempo da aplicação (abordagem assíncrona).

O segundo capítulo concentra sua atenção sobre a conceituação e os algoritmos de escalonamento de tempo real, essenciais na garantia da correção temporal dos sistemas de tempo real. Inicialmente conceitos, objetivos, hipóteses e métricas são claramente apresentados no sentido de introduzir o problema de escalonamento. A seguir, diferentes classes de problemas aplicáveis em diferentes contextos de aplicação são tratadas em suas soluções algorítmicas.

O terceiro capítulo discute principalmente aspectos de sistemas operacionais e de núcleos cujo propósito é suportar aplicações de tempo real. Na abordagem apresentada no capítulo anterior, os requisitos temporais são atendidos com algoritmos de escalonamento adequados mas deve levar em conta também as funcionalidades de suportes de tempo de execução no sentido de permitir a previsibilidade ou pelo menos um desempenho satisfatório da aplicação. Entre os aspectos desenvolvidos está a definição da funcionalidade mínima que vai caracterizar os núcleos de tempo real a partir de demandas específicas da aplicação. Finalmente, são apresentados e discutidos padrões, soluções comerciais existentes, protótipos notórios presentes na literatura.

No quarto capítulo, é apresentada a abordagem alternativa na programação de sistemas de tempo real fundamentada na chamada hipótese síncrona e num conjunto de ferramentas integradas de especificação, verificação e implementação. Essa abordagem é particularmente adaptada para sistemas de tempo real concebidos dentro de uma visão de sistemas reativos e que se baseia na hipótese da instantaneidade da reação do sistema a eventos externos. Os conceitos, ferramentas e metodologias relacionadas com essa abordagem são apresentados nesse capítulo, particularizando nas descrições os mesmos para o modelo de programação usado na linguagem síncrona Esterel.

O quinto capítulo confronta as abordagens apresentadas anteriormente (a assíncrona e a síncrona). Essas duas abordagens são utilizadas em exemplos de aplicação do mundo real. Inicialmente é dado destaque para as linhas metodológicas que permitem projetar e implementar essas aplicações nesses dois casos. A seguir são discutidos vantagens e limitações das duas abordagens e a adequação dessas em diferentes situações. No último capítulo, conclusões, desafios e perspectivas complementam esse livro, apontando para os caminhos futuros de evolução da área de Sistemas de Tempo Real.