

# Contributos da Simulação para a Excelência Operacional das Empresas



**Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira**

**Instituto Politécnico do Porto (Instituto Superior de Engenharia do Porto)**

# Sumário da Apresentação

A presente Lição encontra-se organizada em três grandes partes:

**Parte I – Objetivo, Fundamentação teórica e Revisão de literatura**, constituída pela presente apresentação da Lição e respetivos objetivos, bem como pela apresentação de diversos tópicos associados à simulação, tais como: conceito de simulação, vantagens e desvantagens da simulação, a implementação com sucesso de projetos de simulação, a simulação como um dos pilares da indústria 4.0, os 3 paradigmas de simulação (simulação discreta, dinâmica de sistemas e simulação baseada em agentes) e respetiva comparação, aplicações da simulação e modelos híbridos de simulação.

**Parte II – Casos de Estudo implementados em Empresas Industriais ou de Serviços**, constituída pela apresentação de diversos casos de estudo na área da simulação.

**Parte III – Considerações finais**, em que será efetuada uma reflexão geral sobre os tópicos abordados nesta lição.

# Parte I – Objetivo, Fundamentação teórica e Revisão de literatura

# 1. Apresentação e Objetivo

Os objetivos da Lição intitulada “Contributos da Simulação para a Excelência Operacional das Empresas” são os seguintes:

- Apresentar uma fundamentação teórica e revisão de literatura sobre diversos tópicos associados à simulação.
- Evidenciar a importância da simulação como uma ferramenta de apoio à decisão para a excelência operacional das Empresas.
- Apresentação de diversos casos de estudo em empresas industriais ou de Serviços na área da simulação.

## 2. Conceito de Simulação

- A simulação constitui uma técnica para analisar o comportamento de sistemas bastante complexos através de um modelo computacional e permite avaliar o impacto que determinadas alterações podem ter no sistema, contribuindo para a redução dos custos e dos riscos associados à tomada de decisões.
- De acordo com **(Lorou et al, 2021)**, a simulação constitui uma ferramenta de apoio à decisão, amplamente utilizada para a análise e melhoria dos processos, particularmente no setor da produção, com o intuito de permitir melhorias de eficiência e redução de custos. Por outro lado, **(Silva et al., 2021)** salientam que a simulação contribui para a análise do fluxo de materiais numa empresa, para o escalonamento da produção e melhoria dos processos de armazenagem de uma empresa.

### 3. Razões pelas quais é útil utilizar a simulação como ferramenta de apoio à decisão

Os modelos de simulação não constituem os únicos modelos que podem ser utilizados para compreender e melhorar o funcionamento dos mais diversos sistemas. Outras abordagens de modelação vão desde o desenvolvimento de modelos simples em excel, a modelos mais complexos de programação matemática ou métodos heurísticos (por exemplo, programação linear e dinâmica, algoritmos genéticos, etc). Seguidamente são apresentadas algumas razões pelas quais é útil utilizar a simulação como ferramenta de apoio à decisão, em detrimento das outras abordagens mencionadas anteriormente **(Robinson, 2004)**:

- Permite modelar a variabilidade dos sistemas. Se o sistema que está a ser modelado está sujeito a níveis significativos de variabilidade, então a simulação frequentemente é o único meio para prever com exactidão o desempenho do sistema.
- Simplificações restritivas. A simulação requer poucas ou nenhuma simplificações.
- Transparência. A componente visual da simulação torna esta ferramenta mais apelativa e contribui para uma melhor compreensão do funcionamento do sistema que está a ser estudado.

## 4. Vantagens e Desvantagens da Simulação

Assim, a utilização da simulação como uma ferramenta de apoio à decisão apresenta inúmeras vantagens:

- Fomenta a criatividade. A simulação permite ao utilizador testar diversas alternativas, sem ter o receio de falhar; estimulando desta forma a imaginação e contribuindo para o aparecimento de soluções inovadoras **(Robinson, 2004)**.
- A simulação permite-nos realizar análises de sensibilidade para avaliar o impacto que determinadas variáveis podem ter no desempenho de um sistema, contribuindo para uma melhor compreensão da realidade **(Law and Kelton, 1991; Ferreira et al., 2003; Ferreira et al., 2011; Ferreira et al., 2012; Mefteh, 2018)**.
- A forte componente visual dos modelos de simulação permite um melhor entendimento do funcionamento do sistema, contribuindo para a validação e verificação dos modelos **(Robinson, 2004; Greasley, 2017)**.
- A simulação permite testar novas configurações do processo produtivo e testar diferentes estratégias de funcionamento sem ser necessário comprometer recursos, contribuindo desta forma para a tomada de decisões devidamente fundamentadas **(Shannon, 1998)**.

## 4. Vantagens e Desvantagens da Simulação

- A simulação pode contribuir para o consenso dentro de uma organização, pois através dos modelos de simulação os seus membros podem avaliar o impacto de determinadas decisões no desempenho do sistema **(Robinson, 2004)**.
- A simulação proporciona a capacidade de controlar o período de tempo durante o qual pretendemos analisar o sistema em estudo. Desta forma, podemos estudar o funcionamento de um sistema durante vários meses ou anos numa questão de segundos ou simplesmente abranda a simulação para desenvolver uma análise mais minuciosa **(Shannon, 1998)**.
- A simulação contribui para o melhorar o processo de tomada de decisões, pois permite avaliar, num ambiente controlado, melhor as consequências associadas a diferentes decisões e é muito útil na resolução de problemas complexos. Desta forma, a simulação contribui para a redução dos custos e para a compreensão do funcionamento do sistema, razão pela qual a simulação é cada vez mais utilizada na fase da conceção dos sistemas **(Pekarčíková et al., 2015; Mefteh, 2018; Mourtzis, 2020)**.
- A simulação constitui uma ferramenta didática e de comunicação eficaz que pode ser utilizada nos mais variados contextos dentro das organizações.

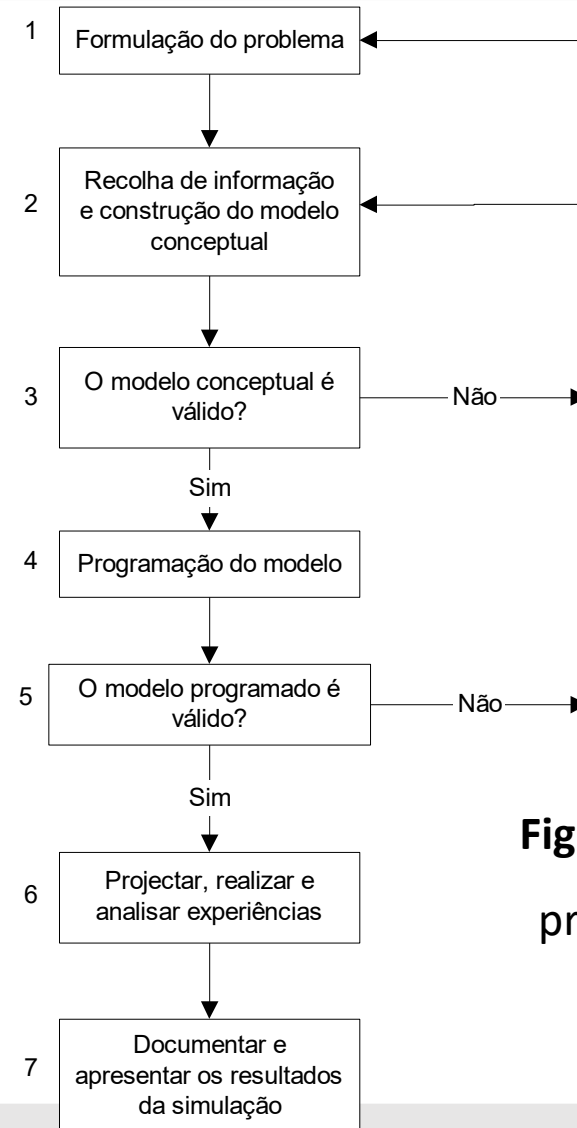
## 4. Vantagens e Desvantagens da Simulação

Apesar das vantagens anteriormente apresentadas, a simulação apresenta algumas desvantagens:

- Consome tempo. O desenvolvimento de modelos de simulação é um processo que demora tempo; desde a definição dos objetivos, a recolha de dados, ao desenvolvimento do modelo de simulação, sua validação e análise dos cenários **(Robinson, 2004)**.
- Exige uma quantidade significativa de dados para que seja possível desenvolver um modelo de simulação que seja uma representação fiel da realidade **(Robinson, 2004; Collins et al.,2023)**.
- Requer conhecimentos especializados, não só ao nível da linguagem de simulação que está a ser utilizada, mas também conhecimentos de estatística e do sistema que está a ser estudado **(Shannon, 1998; Robinson, 2004)**.
- A simulação não fornece soluções óptimas para o problema que está a ser analisado, pois apenas apresenta resultados para o cenário que foi criado. Assim, de uma forma iterativa o analista de simulação deve testar diversos cenários para identificar quais os parâmetros que realmente influenciam o desempenho do sistema **(Shannon, 1998; Ingalls, 2001; Ingalls, 2011)**.

## 6. A implementação com sucesso de projetos de simulação

O desenvolvimento de um projeto de simulação envolve diversas tarefas e exige muito esforço, tempo e conhecimentos técnicos por parte dos investigadores e profissionais para planear, desenvolver e analisar os vários cenários obtidos no final de uma simulação. Assim, é indispensável ter uma metodologia claramente definida para reduzir a possibilidade de erros (**Anagnostou and Taylor, 2014**). Para implementar com sucesso um projecto de simulação é possível encontrar na literatura diversas abordagens; nesta Lição fazemos referência à proposta apresentada por (**Law, 2003**), segundo o qual um projeto de simulação deve envolver um conjunto de 7 etapas (ver **figura 1**).



**Figura 1** - Etapas de um projecto de simulação (**Law, 2003**).

## 7. Simulação e o Lean Manufacturing como Ferramentas de melhoria contínua na área da Engenharia e Gestão Industrial

- A simulação e o lean manufacturing constituem ferramentas de melhoria contínua que promovem a excelência operacional. No contexto da excelência operacional, a simulação constitui uma ferramenta essencial para a melhoria do funcionamento das empresas, pois permite testar e validar diferentes cenários, antes de serem implementados no mundo real **(Cañas et al., 2021)**.
- A Simulação pode ser usada juntamente com as ferramentas *lean* na melhoria do funcionamento de uma linha de produção, com o intuito de melhorar o escalonamento dos recursos, reduzir os stocks de matéria-prima, aumentar a produção, entre outras melhorias **(Detty and Yingling, 2020; Dotoli et al., 2012)**. Assim, enquanto através das ferramentas *lean* se procura reduzir desperdícios e melhorar os processos, a simulação permite testar e validar as alterações antes destas serem implementadas em ambiente real **(Omogbai and Salonitis, 2016; Tokola et al., 2015)**.

## 8. A Simulação como um dos Pilares da Indústria 4.0

- O conceito Indústria 4.0 apareceu pela primeira vez num artigo publicado pelo governo alemão em Novembro de 2011, como uma estratégia de alta tecnologia para 2020. Depois da mecanização, eletrificação e informação, a quarta fase da industrialização foi designada por indústria 4.0. O objetivo da Indústria 4.0 é desenvolver um modelo de produção altamente flexível, com interações em tempo real entre pessoas, produtos e dispositivos durante o processo de produção (**Zhou et al., 2015**).

## 8. A Simulação como um dos Pilares da Indústria 4.0

Tabela 2 - Os nove pilares da Indústria 4.0.

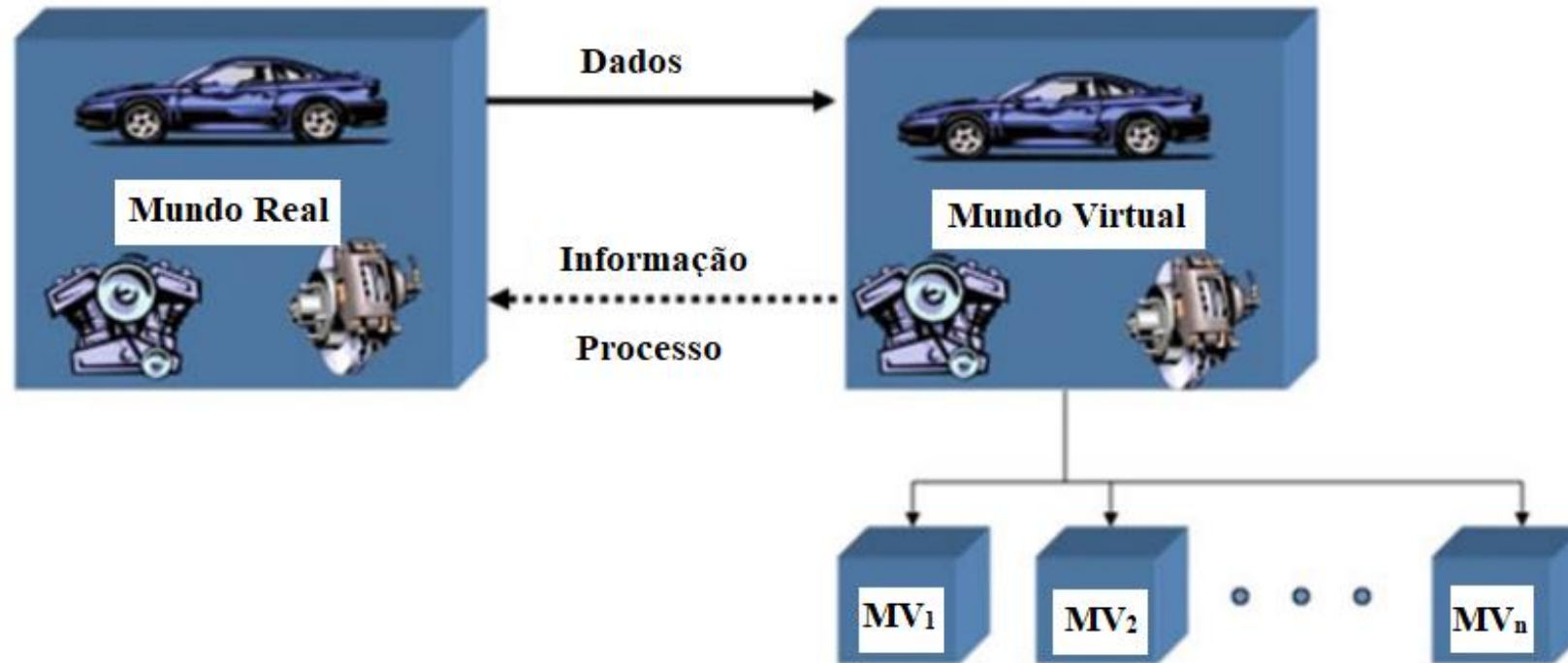
Pilares da Indústria 4.0	Descrição
Big Data and Analytics	Processamento e análise de grandes volumes de dados provenientes de diferentes fontes para apoiar a tomada de decisões em tempo real <b>(Vaidya et al., 2018)</b> .
Sistemas Autónomos	As máquinas vão-se tornar cada vez mais autónomas, flexíveis e cooperativas, reduzindo a necessidade de intervenção humana <b>(Vaidya et al., 2018)</b> .
Simulação	É uma ferramenta de apoio à decisão que permite a análise de um processo real ou de um sistema através do desenvolvimento de um modelo em computador com o intuito de melhorar o seu desempenho <b>(Ferreira et al., 2012; Ferreira et al., 2013)</b> .
Sistemas Integrados	A integração dos sistemas permite melhorar a eficiência operacional das empresas, pois a conexão de diversos sistemas num sistema unificado melhora o desempenho das organizações, reduz os custos e contribui para um melhor fluxo de informação <b>(Xu et al., 2018)</b> .
Internet of Things	Esta tecnologia permite a comunicação entre as máquinas reduzindo a contribuição humana no ambiente de fabrico <b>(Oztemel and Gursev, 2020)</b> .
Cyber security e Cyber Physical Systems	Os sistemas ciber-físicos são conhecidos como uma nova geração de sistemas com capacidades computacionais, físicas, de comunicação e controlo para realizar tarefas complexas. Estes tipos de sistemas têm sido utilizados para melhorar a saúde e o bem-estar de pessoas a viver em zonas remotas, controlar as redes eléctricas, desenvolver a próxima geração de automóveis, auto-estradas inteligentes, gestão do espaço aéreo, etc <b>(Ali et al., 2018)</b> . Por outro lado, com o aumento da conectividade a necessidade de proteger sistemas industriais críticos e as linhas de fabrico contra ameaças de cibersegurança aumentou drasticamente <b>(Vaidya et al., 2018)</b> .
Cloud Computing	O armazenamento e processamento de dados numa nuvem permite uma maior flexibilidade, escalabilidade, fiabilidade, sustentabilidade e redução dos custos <b>(Parast et al., 2022)</b> .
Manufatura Aditiva	Manufatura Aditiva ou Impressão 3D é o conjunto de Tecnologias que permitem a criação de protótipos físicos a partir de modelo virtual <b>(Gibson et al., 2021)</b> .
Realidade Aumentada	Tecnologia que permite modificar a perceção das imagens do mundo real, sobrepondo-lhes dados digitais. Constitui desta forma uma ferramenta de interação homem-máquina que permite sobrepor ao mundo físico informação virtual <b>(Rüßmann et al. 2015; Dargan et al., 2023)</b> .

## 9. Simulação e Digital Twins

- Com o desenvolvimento da nova geração de tecnologias de informação, mais dados podem ser recolhidos e desta forma no contexto da simulação o conceito de digital twins tem emergido como sendo uma representação virtual dinâmica de objetos, processos ou sistemas do mundo real, alimentados por dados em tempo real (**Liu et al., 2021**).
- **Um digital twin é uma tecnologia de ponta que cria uma réplica virtual de um objeto, processo ou sistema com o intuito de monitorizar e analisar o seu funcionamento em tempo real.**
- De acordo com (**Rosen et al., 2015, Boschert and Rosen, 2016**), o digital twins constitui a próxima vaga na tecnologia da simulação, pois a integração de dados com modelos virtuais vai além da simulação convencional, permitindo a realização de análises em tempo real e a imediata identificação de problemas.

# 9. Simulação e Digital Twins

*Digital Twins: Minimizar o efeito de comportamentos imprevisíveis e indesejáveis em...*



**Figura 3** - Ideia conceitual para a gestão do ciclo de vida dos produtos. Dr. Michael Grieves, Universidade de Michigan. Lurie Engineering Center, 3 de Dezembro de 2002 (Grieves and Vickers, 2017).

## 9. Simulação e Digital Twins

Os **digitais twins** têm desempenhado um papel importante em múltiplos setores, impulsionando inovações e melhorias no funcionamento dos sistemas:

- **Nos setores automóvel e aeronáutico** têm tido um papel fundamental para melhorar todas as atividades relacionadas com a produção e com a concepção de novos produtos.
- **No setor da energia** têm sido usados na monitorização e melhoria do funcionamento de redes eléctricas.
- **No setor da saúde**, designadamente na área cardiovascular estão a ser criados digital twins altamente precisos do coração humano para diagnóstico clínico, educação e formação.
- **E na gestão de cidades inteligentes**, Singapura utiliza um modelo virtual detalhado de si própria no planeamento urbano, manutenção e preparação para catástrofes (**Parrott et al., 2020**).

Outros setores salientados por (**Tao et al., 2022**), são os setores da produção, agricultura, construção civil, robótica, monitorização de sismos, conservação do património, reparação de navios, logística, militar, vestuário, etc.

De acordo com a consultora internacional (**Markets and Markets, 2023b**) o mercado do digital twins deverá atingir os 110.1 biliões de dólares em 2028, sendo impulsionado sobretudo pelo setor da saúde e o crescente foco na manutenção preditiva.

## 10. Os 3 Paradigmas de Simulação

- A simulação constitui uma metodologia de resolução de problemas muito eficaz para estudar o comportamento de sistemas complexos do mundo real ao longo do tempo.
- Na literatura da especialidade muitos autores referem que a **simulação discreta (SD)**, a **dinâmica de sistemas (DS)** e a **simulação baseada em agentes (SBA)** constituem as mais importantes técnicas de simulação (Sumari et al., 2013; Borshchev and Filippov, 2004) para auxiliar os engenheiros industriais na tomada de decisão. Enquanto que a DS e a SD constituem abordagens mais tradicionais, a SBA é relativamente recente.

## 10.1. Simulação Discreta

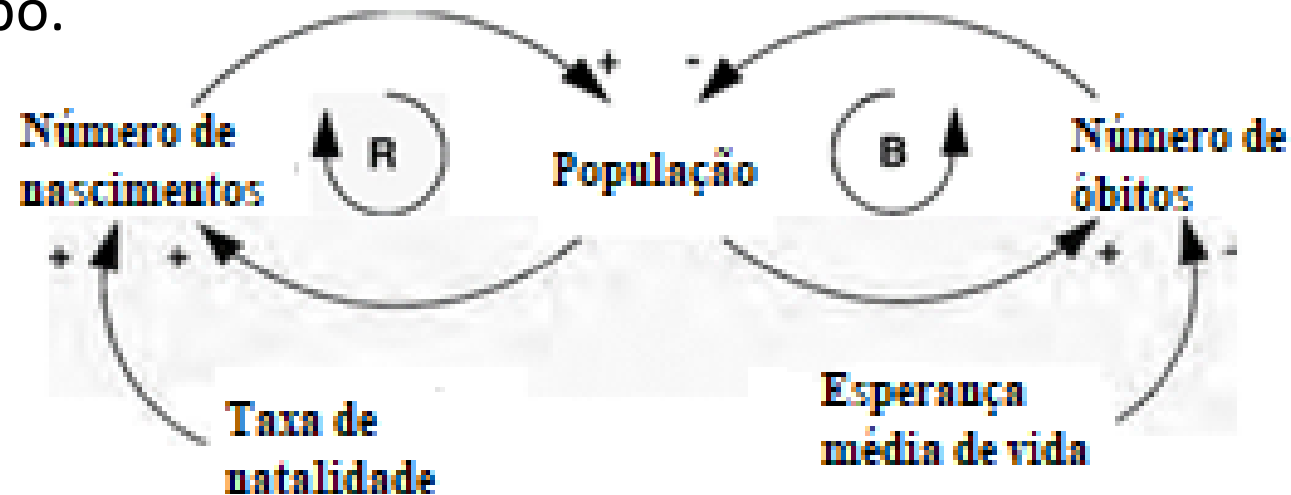
- A simulação discreta é um dos mais populares paradigmas da simulação e apareceu na década de 1950 e tem sido usada para resolver problemas nos mais variados domínios. Desde do setor militar, aos transportes, saúde, produção a simulação discreta tem contribuído para a melhoria do seu funcionamento.
- Ao longo da sua história, a simulação de eventos discretos tem mudado devido aos avanços tecnológicos e a novos requisitos (**Collins et al., 2023**). De acordo com (**Robinson, 2004**) e (**Tako and Robinson, 2018**), a simulação discreta modela um sistema como um conjunto de entidades individuais através de uma série (rede) de filas de espera e de atividades, onde o estado do sistema muda em instantes discretos no tempo.

## 10.2. Dinâmica de Sistemas

- A **Dinâmica de sistemas (DS)** é uma técnica de simulação que foi originalmente introduzida pelo Professor Jay W. Forrester do Massachusetts Institute of Technology nos meados da década de 1950, para compreender o comportamento de sistemas complexos. **Desde então a dinâmica de sistemas tem sido utilizada em diversas áreas, tais como economia, finanças, marketing, estudos ambientais, saúde, tecnologias de informação, biologia, sistemas ecológicos e sociais entre outras (Sapiri et al., 2017; Any Logic, 2023).**
- Segundo **(McHaney et al., 2014; Forrester, 1961)** a DS é uma metodologia e uma técnica de modelação que ajuda a definir, analisar e a entender o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo, através da utilização de ciclos de causa e efeito e pequenos atrasos temporais que afectam dinamicamente o comportamento de todo o sistema. **A dinâmica de sistemas para representar a complexidade de um sistema, usa ciclos de causa e efeito (*feedback loops*), stocks e fluxos.**

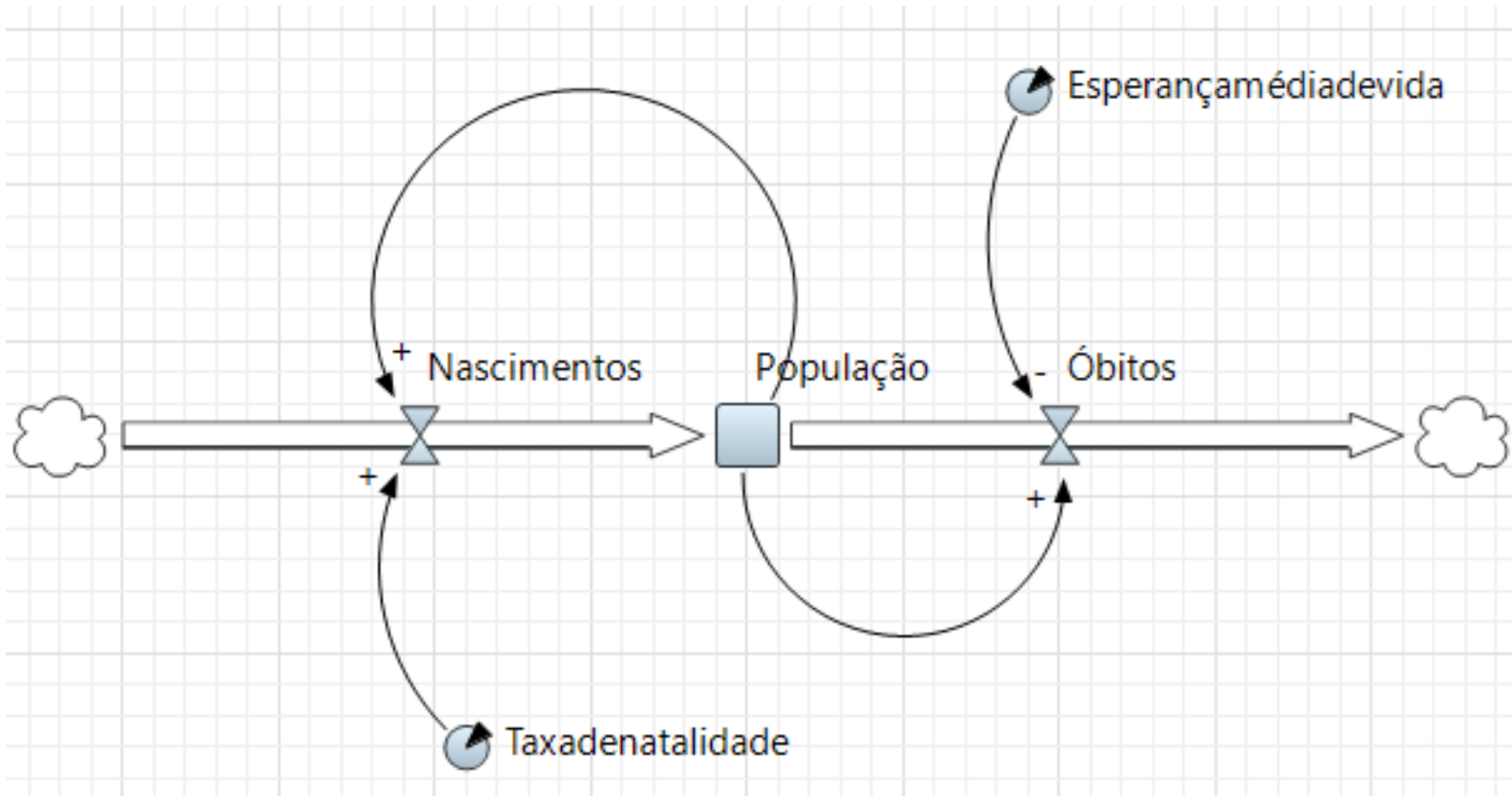
## 10.2. Dinâmica de Sistemas

Para representar as relações de causalidade entre as diferentes variáveis do sistema a dinâmica de sistemas usa diagramas de loop causais que constituem ferramentas gráficas usadas para entender melhor como as diferentes partes de um sistema interagem entre si e como as mudanças numa variável podem afetar outras variáveis ao longo do tempo.



**Figura 4** - Diagrama de Loop causal da evolução da população (Sterman, 2000; Neto, 2003).

## 10.2. Dinâmica de Sistemas



**Figura 5** - Diagrama stock-fluxo representativo da evolução da população.

## 10.3. Simulação Baseada em Agentes

- A **simulação baseada em Agentes (SBA)** permite a modelação de sistemas complexos compostos por agentes autónomos que interagem entre si. Estes agentes têm comportamentos que é possível configurar através de regras simples e interagem com outros agentes que por sua vez influenciam o seu comportamento (**Macal and North, 2010**).
- Os agentes são entidades ativas e comportam-se de uma forma autónoma dependendo da sua base de conhecimentos. Além disso, durante uma simulação baseada em agentes, novos agentes podem entrar no sistema e/ou alguns agentes podem desaparecer (**Gürçan et al., 2013**). Um agente é considerado uma entidade que pode tomar uma decisão independente para alcançar os seus objetivos.
- A SBA tem vindo a ganhar crescente utilização nas mais variadas áreas, tais como (**Onggo and Foramitti, 2021**): marketing, epidemiologia, mercado financeiro, logística, etc. De acordo com (**Daly et al., 2022**) a simulação baseada em agentes está a ser cada vez mais utilizada nas áreas da ecologia, biologia, ciências sociais, economia, planeamento urbano para a modelação de sistemas complexos cujos componentes interagem entre si.

## 10.4. Comparação entre os 3 paradigmas de simulação

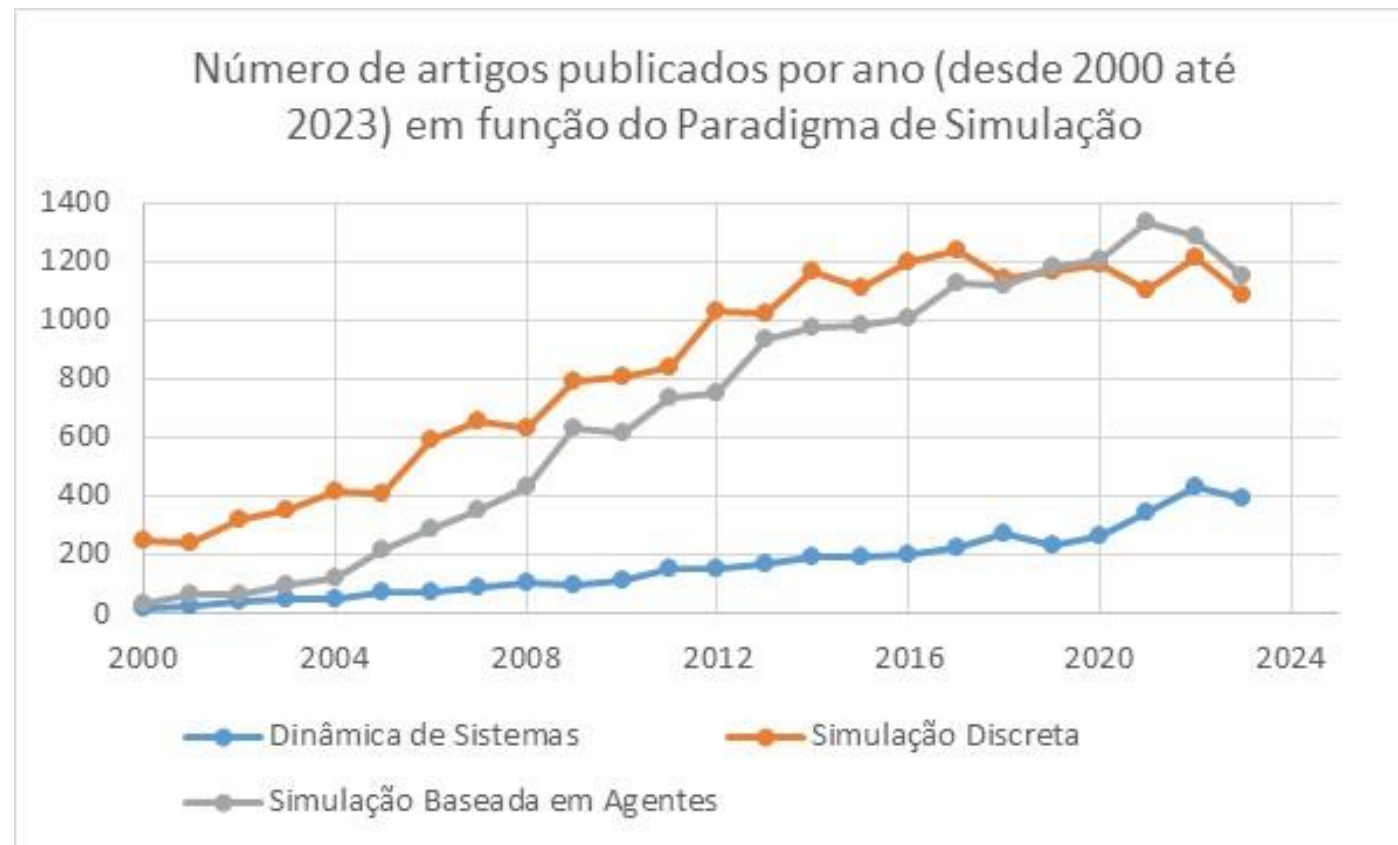
**Tabela 3** - Quadro comparativo com as principais diferenças entre os diferentes paradigmas de simulação.

Características a comparar	Simulação Discreta	Dinâmica de Sistemas	Simulação Baseada em Agentes	Referências
Natureza dos problemas modelados	Operacional / Tático	Estratégico	Em função do contexto pode variar (Operacional, Tático e Estratégico).	(Tako and Robinson, 2010; Borshchev, 2013; Sumari et al., 2013; Tako and Robinson, 2018; Scheidegger et al., 2018)
Abordagem de modelação	De cima para baixo (Top-down)	De cima para baixo (Top-down)	De baixo para cima (Bottom-up)	(Bonabeau, 2002; Siebers et al., 2010; Abdelghany et al., 2016; Scheidegger et al., 2018)
Nível de Abstracção	Baixo / médio nível de abstracção (geralmente com muito detalhe)	Alto nível de abstracção (geralmente com pouco detalhe)	Em função do contexto pode variar (baixo, médio, alto nível de Abstracção)	(Tako and Robinson, 2010; Borshchev, 2013)
Orientação	Orientado ao processo. O foco está em modelar o sistema com detalhe e não nas entidades.	Orientada ao sistema. O Foco está na modelação do sistema.	Baseado no Indivíduo. O foco está na modelação das entidades e das interacções entre elas.	(Siebers et al., 2010; Sumari et al., 2013; Abdelghany et al., 2016; Scheidegger et al., 2018)
Natureza dos modelos	Geralmente de natureza estocástica	Geralmente de natureza determinística	Os modelos podem ser determinísticos, estocásticos ou mesmo uma combinação de ambos	(Brailsford and Hilton, 2001; Tako and Robinson, 2010; McHaney et al., 2014)
Conceito chave (mudança de estado)	O estado do sistema muda de uma forma discreta no tempo. A mudança de estado no sistema é provocada por eventos externos ou internos.	O estado do sistema muda continuamente	O estado do sistema geralmente muda em pontos discretos no tempo, mas essa mudança também pode ocorrer continuamente.	(Brailsford and Hilton, 2001; Lätilä et al., 2010; Tako and Robinson, 2010; McHaney et al., 2014; Baldwin et al., 2015; Scheidegger et al., 2018)
Software (exemplos)	Simio®, ProModel®, Arena®, Anylogic®, FlexSim®, Simul8®, JaamSim®	iThink/Stella®, Vensim® PLE, Anylogic®	NetLogo®, AnyLogic®, EXODUS packages, Pathfinder®	(Macal and North, 2009; Scheidegger et al., 2018)

# 11. Modelos Híbridos de Simulação

- Na literatura da especialidade Simulação Híbrida é definida como sendo a aplicação de duas ou mais abordagens de simulação como simulação discreta, dinâmica de sistemas e simulação baseada em agentes na fase de implementação do modelo de um estudo de simulação, com o objetivo de representar da melhor forma o sistema em análise **(Mustafee and Powell, 2018)**.
- A combinação de diferentes paradigmas num modelo de simulação permite aproveitar as vantagens de cada uma e desta forma estudar o funcionamento de sistemas que não poderiam ser modelados de uma forma realista através de uma única técnica **(Lättilä et al., 2010; Zulkepli et al., 2012; Mittal and Krejci, 2019)**.
- A flexibilidade dos modelos híbridos de simulação contribui para representar de uma forma mais precisa o comportamento de sistemas complexos, constituídos por elementos interactivos e interligados com comportamentos dinâmicos **(Howick and Megiddo, 2020)**. Assim, os modelos desenvolvidos serão mais ajustados à realidade e contribuirão para a tomada de decisões mais acertadas.

## 12. Dados referentes às publicações científicas na área da simulação



**Figura 6** - Número de artigos publicados por ano (desde 2000 até 2023) em função do paradigma de simulação (Base de Dados Scopus).

# 12. Dados referentes às publicações científicas na área da simulação

Base de Dados Scopus - Palavras chave nos campos de pesquisa	Total número de artigos / Número de publicações associadas a Portugal	Países com mais publicações	Áreas com mais publicações	Tipo de Documento
("System* dynamic* simulation" OR "system* dynamic* modeling")	4150 / 25	Estados Unidos da América (896) China (856) Reino Unido (307) Austrália (211) Canadá (167) Índia (160) Alemanha (150)	Engenharia (1800) Ciências dos Computadores (1147) Ciências do Ambiente (852) Negócios, Gestão e Contabilidade (745) Energia (676) Matemática (621) Ciências Sociais (615)	Artigo (2558) Artigo de Conferência (1474) Capítulo de Livro (118)
("Discrete event simulation" OR "Discrete event modeling")	22193 / 209	Estados Unidos da América (6074) China (2447) Alemanha (1687) França (1636) Reino Unido (1440) Canadá (1373) Itália (1289)	Engenharia (11990) Ciências dos Computadores (11244) Matemática (7938) Ciências da Decisão (1818) Negócios, Gestão e Contabilidade (1429) Medicina (1006)	Artigo de Conferência (12144) Artigo (9689) Capítulo de Livro (360)
("Agent-based simulation" OR "Agent-based modeling")	16698 / 258	Estados Unidos da América (4836) Reino Unido (1797) Alemanha (1578) China (1392) Holanda (914) Itália (846) França (830)	Ciências dos Computadores (8697) Engenharia (4704) Matemática (4616) Ciências Sociais (2822) Ciências do Ambiente (1714) Negócios, Gestão e Contabilidade (1395) Ciências da Decisão (1150)	Artigo (8462) Artigo de Conferência (7438) Capítulo de Livro (798)

**Tabela 4** - Informação referente aos trabalhos em que foram usados os 3 paradigmas de simulação (Dinâmica de Sistemas, Simulação Discreta e Simulação baseada em Agentes) de uma forma individual (Base de Dados Scopus, Período: Até 2023 - Inclusive)

# 13. O Futuro da Simulação

A constante evolução tecnológica nos mais diversos domínios, designadamente na área da inteligência artificial, realidade virtual e aumentada, computação quântica, hardware, digital twins, computação em nuvem e na análise de grandes volumes de dados irão contribuir para avanços significativos na área da simulação nas próximas décadas, designadamente no desenvolvimento de software de simulação cada vez mais avançado e especializado. **Assim, podemos destacar algumas tendências que serão expectáveis na área da simulação nos próximos anos:**

- A evolução da inteligência artificial e das técnicas de machine learning contribuirá para o desenvolvimento de ambientes virtuais mais representativos da realidade, onde as diversas entidades (agentes) serão capazes de tomar decisões complexas em tempo real.
- A evolução das tecnologias de realidade virtual e aumentada contribuirá para o desenvolvimento de modelos de simulação mais interativos, realistas e com uma forte componente visual. De acordo com **(Daling and Schlittmeier, 2024)** estas tecnologias estão a ser cada vez mais usadas no setor industrial e da saúde. Outros setores onde estas tecnologias podem trazer consideráveis benefícios é no setor do ensino **(Ruiz de la Torre Acha et al., 2024)**, aeronáutico **(Tadeja et al., 2020)** e financeiro **(Chukwuani, 2022)**.

# 13. O Futuro da Simulação

- A evolução do hardware e das tecnologias associadas vai contribuir para o desenvolvimento dos computadores usados pelos utilizadores para desenvolver os modelos de simulação. Assim, de acordo com **(Zhang, 2024)**, os avanços dos semicondutores vão permitir muitas inovações nos domínios da inteligência artificial, na velocidade de computação e na conectividade sem fios. Por outro lado, a evolução dos transístores e o aparecimento de novos materiais vão contribuir para aumentar a velocidade e eficiência dos processadores **(Borkar and Chien, 2011; Shalf, 2020; Yan et al., 2024)**.
- O desenvolvimento da computação quântica contribuirá para aumentar a rapidez dos computadores e a análise de grandes volumes de dados o que vai fazer com que seja possível simular sistemas altamente complexos de uma forma mais eficiente e realista.
- O desenvolvimento da computação em nuvem contribuirá para impulsionar a área da simulação, pois como todos os recursos são disponibilizados através da nuvem, será possível armazenar e gerir grande volumes de dados, reduzir os custos pois deixa de existir a necessidade de haver uma infraestrutura física e facilitará a colaboração remota entre utilizadores localizados em diferentes geografias no desenvolvimento de projetos de simulação e a partilha de dados em tempo real **(Mansouri et al., 2020; Darwish, 2024)**.

## Parte II – Casos de Estudo implementados em Empresas Industriais ou de Serviços

# Caso de Estudo – Empresa Duvalli Mattress Ticking (Indústria Têxtil) (Simulação Discreta)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho foi desenvolvido sob orientação do candidato pelo aluno Vítor Hugo Ferreira da Silva no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Sistemas e Planeamento Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (**Silva, 2018**) em colaboração com a empresa Duvalli Mattress Ticking (Indústria Têxtil) localizada em Santa Maria da Feira (<http://www.duvalli.com>). Esta empresa dedica-se à produção de malhas e tecidos para a indústria dos colchões.

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo a análise e melhoria do processo de abastecimento de diferentes secções da empresa. Assim, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação discreta para permitir ao utilizador testar e analisar o impacto que diferentes estratégias de controlo para os fluxos de materiais, desde o armazém de matérias primas até ao armazém de produto acabado, irão ter no desempenho da empresa (**Silva, 2018; Silva, 2021**).

**Na sequência deste trabalho foi publicado um artigo científico numa revista científica internacional.**

# Caso de Estudo – Empresa Setor da Aviação (Indústria Aeroespacial)

## (Simulação Discreta)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho foi desenvolvido sob orientação do candidato pelo aluno Hélio Gabriel Rocha Moreira no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Superior de Engenharia do Porto (**Moreira, 2021**) e enquadra-se no setor da aviação, que desempenha atualmente um papel muito importante no funcionamento da economia global, pois permite o transporte rápido de pessoas e bens.

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo analisar o impacto de diferentes estratégias de embarque num Airbus A320. Assim, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação discreta, com o objetivo de reduzir os tempos de embarque através da seleção da melhor estratégia para embarcar os passageiros no avião (**Moreira, 2021; Moreira, 2023a; Moreira, 2023b**).

# Caso de Estudo – Empresa TELEF – Transportes por Cabo e Concessões, S.A. (Setor dos Transportes) (Simulação Discreta)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho foi desenvolvido sob orientação do candidato pelo aluno Filipe Luís Nogueira no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Sistemas e Planeamento Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (Nogueira, 2019) em colaboração com a empresa TELEF – Transportes por Cabo e Concessões, S.A. (Setor dos Transportes), responsável entre outros empreendimentos, pela exploração do Teleférico da Zona Histórica de Gaia, Portugal (ver figura 9).

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação discreta que permite ao utilizador avaliar diferentes configurações de um sistema de transporte por cabo. Desta forma, é possível analisar o impacto que diferentes variáveis, tais como número de veículos e respetiva velocidade, distâncias entre as estações de entrada e de saída bem como outros parâmetros, vão ter na eficiência operacional do sistema (Nogueira, 2019).



Figura 9 – Teleférico de Gaia (Nogueira, 2019).

# Caso de Estudo – Empresa Unilabs Portugal (Setor da Saúde) (Simulação Discreta)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho foi desenvolvido sob orientação do candidato pela aluna Inês da Rocha Fidalgo no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Sistemas e Planeamento Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (**Fidalgo, 2021**) em colaboração com a empresa Unilabs Portugal (Setor da Saúde) cuja sede está localizada na cidade do Porto ([www.unilabs.pt](http://www.unilabs.pt)). Esta empresa desenvolve testes laboratoriais clínicos e serviços de diagnóstico em diversas especialidades na área da saúde.

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação discreta, implementados no software de simulação Arena, para avaliar o projeto de uma nova Unidade de Saúde localizada na cidade do Porto (Portugal). Desta forma, pretendeu-se com este trabalho melhorar o fluxo de pacientes dentro desta nova Unidade de Saúde, bem como o escalonamento dos recursos existentes e reduzir os custos operacionais de funcionamento (**Fidalgo, 2021**).

# Caso de Estudo – Empresa Indústria Eletrónica (Simulação Discreta)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho foi desenvolvido sob orientação do candidato pelo aluno José Alberto Alves Ferreira no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica - ramo Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (Ferreira, 2023) em colaboração com uma empresa da Indústria Eletrónica localizada no norte de Portugal. Esta empresa dedica-se a produção de controladores de potência e produtos ligados à eletrificação de veículos de transporte (denominados produtos Batpack).

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação discreta para análise e melhoria do funcionamento da linha de produção de uma empresa da indústria eletrónica. O modelo de simulação foi desenvolvido no software Arena e permite analisar a influência que diferentes variáveis vão ter no desempenho da linha de produção (Ferreira, 2023).

# Caso de Estudo – Empresa Casa de Saúde do Bom Jesus (Setor da Saúde) (Simulação Discreta)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho intitulado “Análise e Simulação dos Serviços da Unidade de Internamento São João de Deus da Casa de Saúde do Bom Jesus” foi desenvolvido sob orientação do candidato pela aluna Ana Beatriz de Azevedo Silva Santos no âmbito da unidade curricular Projecto/Estágio do Curso de Licenciatura em Engenharia Biomédica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (**Santos, 2018**) em colaboração com a Empresa Casa de Saúde do Bom Jesus ([www.irmashospitaleiras.pt/unidade-de-braga/](http://www.irmashospitaleiras.pt/unidade-de-braga/)) cuja unidade de saúde está localizada na cidade de Braga (Portugal).

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito da unidade curricular Projecto/Estágio do Curso de Licenciatura em Engenharia Biomédica do Instituto Superior de Engenharia do Porto teve como objetivo a análise e melhoria do funcionamento dos serviços das consultas de psiquiatria e de enfermagem da Unidade de Internamento São João de Deus na Casa de Saúde do Bom Jesus. Assim, pretendeu-se desenvolver um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação discreta, no software Arena, para melhorar a eficiência operacional da unidade de internamento em referência, através da análise de diferentes cenários.

# Caso de Estudo – Empresa Hotel Axis Porto (Indústria Hoteleira)(Simulação Baseada em Agentes)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho foi desenvolvido sob orientação do candidato pelo aluno Hugo Miguel Santos Costa no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Sistemas e Planeamento Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (Costa, 2021) em colaboração com o Hotel Axis Porto (Indústria Hoteleira) localizado na cidade do Porto. O Hotel Axis Porto é um hotel de 4 estrelas e tem 10 pisos (incluindo o piso 0), com 145 quartos, onde se incluem 16 suites júnior, 4 suites sénior e 1 suite presidencial, spa com 3 salas de massagens e tratamento, piscina dinâmica, sauna, banho turco, duche sensorial, 1 restaurante com capacidade para 120 pessoas e 4 salas de reunião. Neste hotel os quartos estão localizados entre o piso 2 e o piso 9, o spa e salas de reuniões no piso 1 e a receção, restaurante e bar no piso 0.



Figura 13 - Hotel Axis Porto (Costa, 2021).

# Caso de Estudo – Empresa Hotel Axis Porto (Indústria Hoteleira)(Simulação Baseada em Agentes)

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo a análise e melhoria do processo de evacuação do Hotel Axis Porto. Assim, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação para permitir ao utilizador testar e analisar diferentes estratégias de evacuação do hotel. Pretendeu-se desta forma identificar a estratégia que permitisse a evacuação em segurança de todos os ocupantes do hotel, no menor tempo possível. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o software Pathfinder comercializado pela empresa Thunderhead Engineering Consultants, Inc.

Este software específico para a simulação de edifícios é baseado no paradigma simulação baseado em agentes e permite que o utilizador configure o comportamento das pessoas (os agentes) durante o processo de evacuação. Cada pessoa atua como um agente com o seu próprio perfil (tamanho, velocidade de deslocação) e comportamento (escolha da saída, quando aguarda e seleção dos trajetos de evacuação).

## Caso de Estudo – Instituição de Ensino Superior: Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Instituto Politécnico do Porto (Simulação Baseada em Agentes)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho intitulado “Análise de diferentes estratégias de evacuação num edifício escolar usando simulação” foi desenvolvido sob orientação do candidato pelo aluno Luís Henrique da Cunha Ribeiro Pires Bernardes no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – Ramo Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (**Bernardes, 2023**) em colaboração com a Escola Superior de Hotelaria e Turismo (ESHT) do Instituto Politécnico do Porto localizada na cidade de Vila do Conde, Portugal ([www.esht.ipp.pt/](http://www.esht.ipp.pt/)).

- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo a análise e melhoria do processo de evacuação do edifício da Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Instituto Politécnico do Porto.

# Caso de Estudo – Empresas Setor Vinícola (Dinâmica de Sistemas)

- **Âmbito do Trabalho e apresentação da empresa**

Este trabalho intitulado “Indústria 4.0 no setor vinícola – desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão baseado em modelos de simulação” foi desenvolvido sob orientação do candidato pela aluna Jéssica Barbosa e Sá no âmbito da Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto **(Sá, 2020)** em colaboração com diversas empresas e especialistas nacionais do setor vinícola.

O Setor vinícola em Portugal desempenha um papel muito importante nos setores da economia, cultura e turismo. De acordo com **(Faria et al., 2020)**, em 2016 Portugal tinha cerca de 190467 hectares de área de vinha plantada, tendo sido produzidos cerca de 6 milhões de hectolitros de vinho. Nesse mesmo ano, em termos de produção de vinho, Portugal ocupava o 5º lugar no ranking europeu e 11º no ranking mundial, correspondendo a 2,3% da produção mundial.

# Caso de Estudo – Empresas Setor Vinícola (Dinâmica de Sistemas)

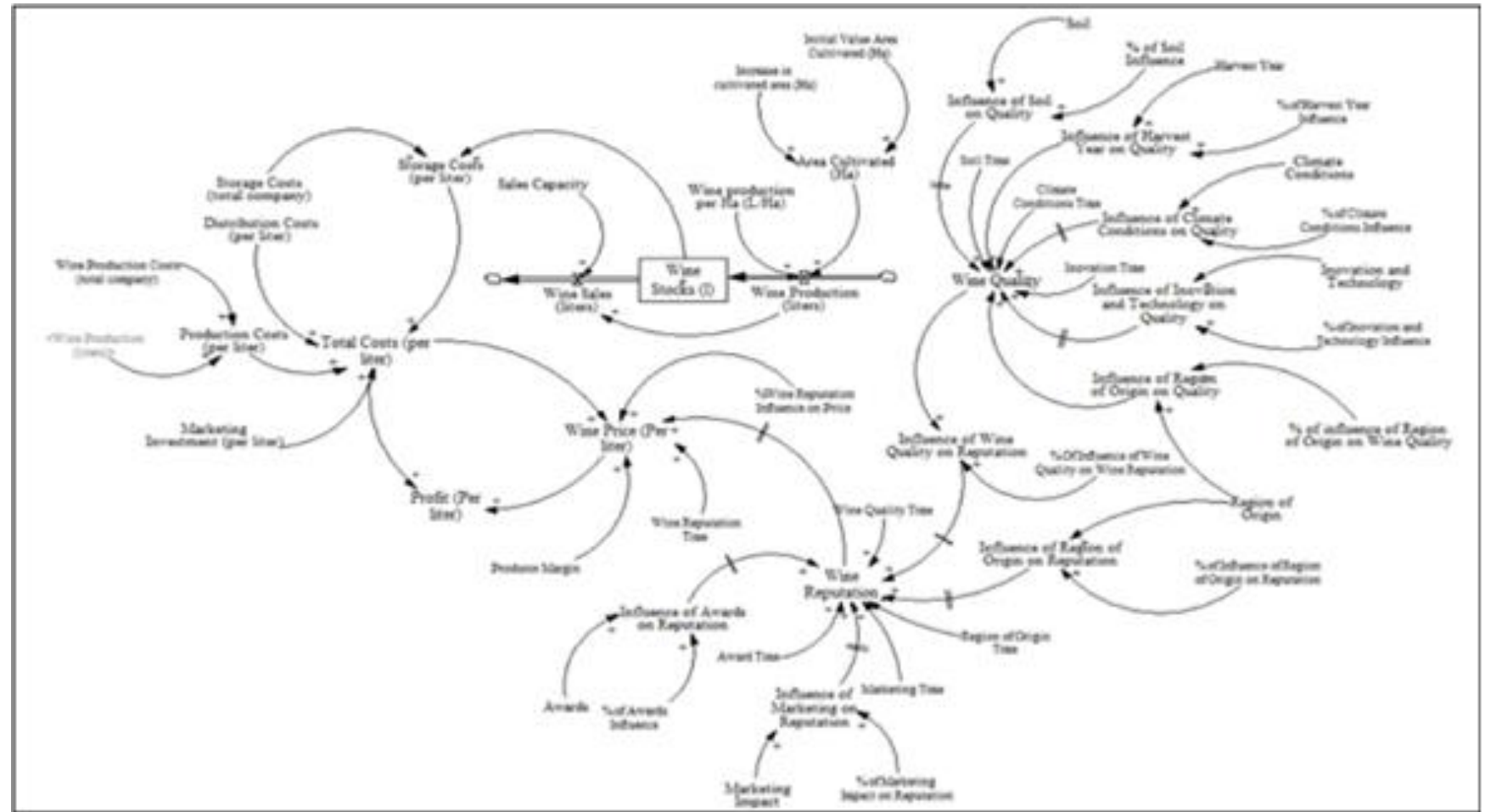
- **Objetivos do trabalho**

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão baseado no paradigma dinâmica de sistemas, para auxiliar os produtores e gestores do setor vinícola na definição das melhores estratégias de atuação. Foram realizadas várias entrevistas a especialistas do setor vinícola, bem como uma ampla revisão de literatura e foi desenvolvido um modelo de simulação no software Vensim ([www.vensim.com](http://www.vensim.com)) para permitir ao utilizador testar, analisar, validar e identificar os principais fatores que influenciam o desempenho das empresas deste setor tão importante para a economia portuguesas (Sá, 2020; Sá, 2021, Sá, 2022).

# Caso de Estudo – Empresas Setor Vinícola (Dinâmica de Sistemas)

- Breve descrição e resultados obtidos

Figura 24 - Diagrama stock-fluxo representativo da evolução do preço do vinho em função de diversas variáveis (Sá, 2020; Sá, 2022).



## Parte III – Considerações finais

## Parte III - Considerações finais e Contributos do Candidato

- Nesta Lição foi apresentado inicialmente uma extensa fundamentação teórica e revisão da literatura sobre o tópico da simulação, no qual o candidato descreveu os principais conceitos, vantagens e desvantagens da simulação, a implementação com sucesso de projetos de simulação, a simulação como um dos pilares da indústria 4.0, os 3 paradigmas de simulação (simulação discreta, dinâmica de sistemas e simulação baseada em agentes) e respetiva comparação, aplicações da simulação e modelos híbridos de simulação.
- Desta forma, procurou-se apresentar o estado atual do conhecimento sobre o tópico Simulação e salientar os seus contributos para a excelência operacional das empresas dos mais variados setores, demonstrando que contribui para a tomada de decisões mais fundamentadas, para o aumento da eficiência operacional, identificando possíveis problemas, reduzindo os custos e os riscos associados à tomada de determinadas decisões.

## Parte III - Considerações finais e Contributos do Candidato

- Na segunda parte desta Lição, foram apresentados diversos estudos **desenvolvidos em empresas industriais e de serviços**, na sua larga maioria localizadas em Portugal baseados nos 3 principais paradigmas da simulação existentes na literatura, a saber: simulação discreta, simulação baseada em agentes e dinâmica de sistemas.

"If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants"  
Isaac Newton

## Contributos da Simulação para a Excelência Operacional das Empresas



Muito Obrigado!

Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Instituto Politécnico do Porto (Instituto Superior de Engenharia do Porto)