

Maria Aparecida Fernandes Almeida



*Curso de Especialização em  
Building Information Modeling (BIM)  
Notas de Aulas da disciplina:  
Modelos Informacionais*

© 2020 Maria Aparecida Fernandes Almeida & PUC Minas Virtual  
Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte. 

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil

Almeida, Maria Aparecida Fernandes  
Curso de Especialização em  
Building Information Modeling (BIM)  
Notas de Aulas da disciplina:  
Modelos Informacionais. / Maria Aparecida Fernandes Almeida. – Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2020.  
Bibliografia.  
1. Modelagem. 2. Informação. 3. Construção. 4. Digital. 5. Building Information Modeling (BIM).

---

# **Lista de ilustrações**

Figura 1 – Duas mulheres operando o ENIAC (Exército dos E.U.A.). Fonte: (GUPTA, 2003) . . . . .	8
Figura 2 – Mainframe dos anos 60 Fonte: (GUPTA, 2003) . . . . .	8
Figura 3 – Mainframe dos anos 70 Fonte: (GUPTA, 2003) . . . . .	9
Figura 4 – Computadores VLSI Fonte: (GUPTA, 2003) . . . . .	9
Figura 5 – O PIM/m-1, um dos poucos "computadores de quinta geração" que chegaram a serem realmente produzidos Fonte: (GUPTA, 2003) . . . . .	10
Figura 6 – Superfícies. Fonte: Adaptada de (KRATOCHVIL, 2013) . . . . .	11
Figura 7 – Tipos de dados . . . . .	12
Figura 8 – Processamento . . . . .	15
Figura 9 – Dados, informação, conhecimento e sabedoria. Fonte: Adaptada de (LU; LAI; TSE, 2019) . . . . .	17
Figura 10 – Níveis BIM Fonte: (SACKS et al., 2018) . . . . .	20
Figura 11 – Sistema e subsistemas Fonte: Adaptada de (MCLEOD; SCHELL, 2003) . . . . .	22
Figura 12 – BIM como um Sistema Fonte: Adaptada de (GHOSH; CHASEY; MERGENS-CHOER, 2015) . . . . .	23
Figura 13 – Modelos análogo: sistema massa-mola . . . . .	24
Figura 14 – Modelos similares de uma molécula . . . . .	25
Figura 15 – Modelo de uma Rede PERT de um projeto. Fonte: (HILLIER; LIEBERMAN, 2013) . . . . .	26
Figura 16 – Modelo Pictográfico: fotografia . . . . .	26
Figura 17 – Exemplo de um Sistema, Modelagem e Simulação em BIM . . . . .	28
Figura 18 – Exemplo de Hierarquia de Dados. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002) . . . . .	29
Figura 19 – Modelo de dados hierárquico. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002) . . . . .	31
Figura 20 – Modelo de dados em redes. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002) . . . . .	32
Figura 21 – Diagrama UML simplificado . . . . .	34
Figura 22 – Modelo Objeto-relacional. Fonte: Adaptada de (VAISH, 2013) . . . . .	35
Figura 23 – Banco de dados operacionais: Data Warehouse . . . . .	36
Figura 24 – Elementos de um Data Warehouse. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	36

Figura 25 – DW BIM orientado a Projetos. Fonte: Adaptada de (RUJIRAYANYONG; SHI, 2006) . . . . .	37
Figura 26 – Grafo de um modelo hipermídia para ensino de Redes Neurais. Fonte: Almeida (ALMEIDA, 1999) . . . . .	38
Figura 27 – Modelos de dados para bancos de dados NoSQL. Fonte: Adaptada de (MICROSOFT, 2020) . . . . .	39
Figura 28 – Usuários do Twitter representados em um modelo de banco de dados gráfico. Fonte: Adaptada de (SASAKI, 2018) . . . . .	40
Figura 29 – Modelos de dados para bancos de dados NoSQL de uma rede social. Fonte: Adaptada de (SELLAMI; DEFUDE, 2018) . . . . .	40
Figura 30 – Abordagem orientada a arquivos. Fonte: (ROMMEY; STEINBART, 2003) . . . . .	41
Figura 31 – Enfoque GA: onde um ou mais arquivos são criados para cada aplicativo (STAIR; REYNOLDS, 2002) . . . . .	42
Figura 32 – Abordagem orientada a Banco de Dados. Fonte: (ROMMEY; STEINBART, 2003) . . . . .	42
Figura 33 – Enfoque BD: Uso de Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (STAIR; REYNOLDS, 2002) . . . . .	43
Figura 34 – Entidade Departamento . . . . .	45
Figura 35 – Relacionamento entre Entidades. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002) . . . . .	46
Figura 36 – Tabelas das Entidades. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002) . . . . .	46
Figura 37 – Tabelas e Relacionamentos de um Banco de Dados . . . . .	47
Figura 38 – Esquema geral de modelagem, armazenamento, processamento e compartilhamento da informação em BIM. Fonte: Adaptada de (RODRIGUES et al., 2019) . . . . .	52
Figura 39 – Fluxo da Informação de um Modelo BIM. Fonte: Adaptada de (PAVAN et al., 2020b) . . . . .	52
Figura 40 – Workflow de um Plugin Revit. Fonte: Adaptada de (PAVAN et al., 2020a) . . . . .	53
Figura 41 – Propriedades de uma parede de concreto (LU; LAI; TSE, 2019) . . . . .	55
Figura 42 – Sistema de Informação . . . . .	58
Figura 43 – Recursos de Software. Fonte: Adaptada de (GUPTA, 2003) . . . . .	59
Figura 44 – Ciclo de Processamento de um SPT . . . . .	61
Figura 45 – Relatório Programado. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	62
Figura 46 – Relatório Indicador-chave. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	63
Figura 47 – Relatório sob Demanda. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	63
Figura 48 – Relatório de Exceção. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	63
Figura 49 – Relatórios detalhados. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	64
Figura 50 – Esquema das entradas e saídas de um SIG. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	65
Figura 51 – Elementos essenciais de um SSD. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	67
Figura 52 – Participante no desenvolvimento de um SE. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015) . . . . .	69
Figura 53 – Visão geral de um SE . . . . .	69
Figura 54 – Regras para uma aplicação de crédito. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015)	70

Figura 55 – Base de dados dedutivas . . . . .	71
Figura 56 – Data Mining: Processo KDD . . . . .	72
Figura 57 – Data Mining: Confluência de diversas áreas . . . . .	73
Figura 58 – Processo de KDD. Fonte: (BARRETO, 2001) . . . . .	73
Figura 59 – Arquitetura de Armazenamento híbrido para Big Data Geoespacial BIM. Fonte: Adaptada de (LV et al., 2020) . . . . .	80
Figura 60 – Conjuntos Crisp e Fuzzy. Fonte: (ALMEIDA, 2003) . . . . .	83
Figura 61 – Conjunto Universo com Conjuntos Crisp e Fuzzy. Fonte: (BARRETO, 2001) . . . . .	83
Figura 62 – Exemplo de um Conjunto Fuzzy. Fonte: (BARRETO, 2001) . . . . .	83
Figura 63 – Funções de Pertinência de Conjuntos Fuzzy. Fonte: (ALMEIDA, 2003) . . . . .	84
Figura 64 – Neurônio biológico. Fonte: (ALMEIDA, 2003) . . . . .	85
Figura 65 – Neurônio Artificial. Fonte: (ALMEIDA, 2003) . . . . .	85
Figura 66 – Exemplo de reconhecimento de face. Fonte: Adaptada de (IAFRATE, 2018) . . . . .	87
Figura 67 – IA, Machine Learning e Deep Learning . . . . .	88
Figura 68 – Esquema do Aprendizado Supervisionado. Fonte: Adaptada de (IAFRATE, 2018) . . . . .	89
Figura 69 – Aprendizado Não Supervisionado. Fonte: Adaptada de (IAFRATE, 2018) . . . . .	90
Figura 70 – Diagrama do desenvolvimento de mapeamento de uma rodovia (STANIEK; CZECH, 2018) . . . . .	90
Figura 71 – Agente inteligente. Fonte: (ALMEIDA, 2003) . . . . .	92
Figura 72 – Fluxograma simplificado de um funcionamento de um AG . . . . .	94
Figura 73 – Foto de um edifício e seu correspondente modelo BIM Fonte: (LIM et al., 2019) . . . . .	96
Figura 74 – Método de otimização com AG de um modelo BIM Fonte: Adaptada de (LIM et al., 2019) . . . . .	98
Figura 75 – Fluxo lógico de otimização de OTTV e custo de um modelo BIM de um edifício existente Fonte: Adaptada de (LIM et al., 2019) . . . . .	98
Figura 76 – Comparação dos modelos BIM otimizados com AG. Fonte: Adaptada de (LIM et al., 2019) . . . . .	99
Figura 77 – Sistemas híbridos inteligentes . . . . .	100
Figura 78 – Processo de Business Intelligence (BI). Fonte: Adaptada de (LARSON, 2020)	103

---

## **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Tabela de dados: Tabela Projeto . . . . .	33
Tabela 2 – Tabela de dados: Tabela Departamento . . . . .	33
Tabela 3 – Tabela de dados: Tabela Gerente . . . . .	33
Tabela 4 – Relacionamento entre elementos BIM. Fonte: Adaptada de (LU; LAI; TSE, 2019) . . . . .	56
Tabela 5 – Grau de Pertinência ao número 8 . . . . .	84

---

# Sumário

<b>1 Dados, Informação e Conhecimento . . . . .</b>	<b>7</b>
1.1 Informática . . . . .	7
1.2 Dados . . . . .	10
1.3 Informação . . . . .	14
1.4 Conhecimento . . . . .	16
<b>2 Modelagem da Informação . . . . .</b>	<b>21</b>
2.1 Conceito de Sistemas . . . . .	21
2.2 Representação dos Sistemas: Modelos . . . . .	23
2.2.1 Modelos Mentais . . . . .	23
2.2.2 Modelos Físicos . . . . .	24
2.2.3 Modelos Matemáticos . . . . .	24
2.2.4 Modelos Gráficos . . . . .	25
2.3 Experimentação com Modelos: Simulação . . . . .	26
2.4 Modelagem Sintática da Informação . . . . .	28
2.4.1 Hierarquia de dados . . . . .	29
2.4.2 Modelo de dados . . . . .	30
2.4.2.1 Modelo de dados hierárquico . . . . .	31
2.4.2.2 Modelo de dados em redes . . . . .	32
2.4.2.3 Modelo Relacional . . . . .	32
2.4.2.4 Modelo Orientado a Objetos . . . . .	33
2.4.2.5 Modelo Objeto-Relacional . . . . .	34
2.4.2.6 Modelo de dados Operacionais . . . . .	35
2.4.2.7 Modelo de Dados de Hipermídia . . . . .	37
2.4.2.8 Modelo NoSQL . . . . .	38
2.4.3 Gerenciamento de Dados . . . . .	41
2.4.4 Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (DBMS) . . . . .	43
2.4.4.1 Componentes de um DBMS . . . . .	44
2.4.4.2 Banco de Dados Relacional . . . . .	44
2.4.4.3 SQL - Linguagem de Consulta Estruturada . . . . .	47
2.4.5 Banco de Dados BIM . . . . .	52
2.5 Modelagem Semântica da Informação . . . . .	53
<b>3 Sistemas de Informação . . . . .</b>	<b>57</b>
3.1 Sistemas de Informação (SI) . . . . .	57
3.2 Sistemas de Processamento de Transações (SPT) . . . . .	59
3.3 Sistemas de Informação Gerencial (SIG) . . . . .	62
3.4 Sistema de suporte à decisão (SSD) . . . . .	65

3.5 Sistemas de Conhecimento (SC) . . . . .	67
3.5.1 Sistemas Especialistas (SE) . . . . .	68
3.5.2 Sistemas de Descoberta do Conhecimento (KDD) . . . . .	71
<b>4 Recuperação, Tratamento e Análise da Informação . . . . .</b>	<b>75</b>
4.1 Big Data . . . . .	75
4.2 Inteligência Artificial . . . . .	80
4.2.1 Inteligência Artificial Simbólica (IAS) . . . . .	81
4.2.2 Inteligência Artificial Conexionista (IAC) . . . . .	84
4.2.3 Inteligência Artificial Distribuída (IAD) . . . . .	91
4.2.4 Inteligência Artificial Evolucionária (IAE) . . . . .	93
4.2.5 Inteligência Artificial Híbrida (IAH) . . . . .	100
4.3 Business Intelligence . . . . .	102
<b>Referências . . . . .</b>	<b>106</b>

# Dados, Informação e Conhecimento

*“Dados não são informação, informação não é conhecimento, conhecimento não é compreensão, compreensão não é sabedoria.”*

Clifford Stoll

Este capítulo tem por objetivo apresentar a evolução dos computadores comerciais, conceitos de dados, informações e conhecimento. São apresentados as definições (ou não!) de dados, informações, dados estruturados, não estruturados, multimídia e conhecimento, para manipulação computacional. Uma maneira de caracterizar o BIM é definir uma progressão dos níveis de maturidade da aplicação da tecnologia da informação na construção que expressa o grau de colaboração no processo, bem como os níveis de sofisticação do uso das ferramentas individuais. Nesta visão, o BIM é visto como uma série de estágios distintos em uma jornada que começa com o projeto auxiliado por computador e que conduz a indústria da construção para a era digital.

Ao final do capítulo... uma rápida reflexão: estamos caminhando para a Modelagem do Conhecimento da Construção?

## 1.1 INFORMÁTICA

Os computadores da primeira geração (1951-1958) utilizavam centenas ou milhares de tubos a vácuo para seus circuitos de processamento e memória. Por exemplo, o ENIAC (Electrical Numerical Integrator and Calculator) foi o primeiro computador digital eletrônico de grande escala. Criado em fevereiro de 1946 pelos cientistas norte-americanos John Eckert e John Mauchly, da Electronic Control Company. O computador pesava 30 toneladas, media 5,50 m de altura e 25 m de comprimento e ocupava 180 m<sup>2</sup> de área construída. Foi construído sobre estruturas metálicas com 2,75 m de altura e contava com 70 mil resistores e 17.468 válvulas a vácuo ocupando a área de um ginásio desportivo. Quando acionado pela primeira vez, o ENIAC consumiu tanta energia que as luzes de Filadélfia piscaram. Esta máquina não tinha sistema operacional e seu funcionamento era parecido com uma calculadora simples de hoje. O ENIAC (Figura 1), assim como uma calculadora, tinha de ser operado manualmente. A calculadora efetua os cálculos a partir das

teclas pressionadas, fazendo interação direta com o hardware, como no ENIAC, no qual era preciso conectar fios, relês e seqüências de chaves para que se determinasse a tarefa a ser executada. A cada tarefa diferente o processo deveria ser refeito. A resposta era dada por uma seqüência de lâmpadas.



Figura 1 – Duas mulheres operando o ENIAC (Exército dos E.U.A.). Fonte: ([GUPTA, 2003](#))

Os computadores da segunda geração (1959-1963) utilizavam transistores e outros dispositivos semicondutores de estado-sólido ligados a placas de circuitos. Os núcleos magnéticos eram utilizados para memória e os pacotes de discos magnéticos removíveis e fita magnética eram utilizados para armazenamento secundário (Figura 2). Nos anos de 1950 a 1960, à época do “Processamento de Dados” as principais aplicações dos computadores no processamento da informação era em "Sistemas de Informação" para processamento de transações, manutenção de registros e aplicações contábeis tradicionais.



Figura 2 – Mainframe dos anos 60 Fonte: ([GUPTA, 2003](#))

Os computadores da terceira geração (1964-1979) começaram utilizando circuitos integrados que consistiam em milhares de transistores e outros elementos de circuito gravados em minúsculos chips de silicone permitindo aumento das velocidades de memória e processamento de vários milhões de instruções por segundo (MIPS) (Figura 3). Dos anos 1960 à 1970, os sistemas evoluíram para os sistemas de informação gerencial gerando

relatórios administrativos de informações pré-estipulados para tomada de decisão. Nos anos de 1970 a 1980 apareceram os sistemas de suporte à decisão para apoio interativo ao processo de tomada de decisão gerencial.



Figura 3 – Mainframe dos anos 70 Fonte: ([GUPTA, 2003](#))

Os computadores da quarta geração (1979 - atualidade) utilizam integração em larga escala (LSI) e integração em escala muito larga (VLSI) que enchem centenas de milhares ou milhões de transistores e outros elementos de circuito em cada chip (Figura 4).



Figura 4 – Computadores VLSI Fonte: ([GUPTA, 2003](#))

Em 1981, os japoneses apresentaram ao mundo o que denominaram de computador de “Quinta Geração” dotado de Inteligência Artificial (Figura 5). Nos anos de 1980 a 1990 surgiram os sistemas de informação executiva e os "Sistemas de Conhecimento", especialistas, comerciais, para o apoio estratégico ao usuário final.



Figura 5 – O PIM/m-1, um dos poucos "computadores de quinta geração" que chegaram a serem realmente produzidos Fonte: ([GUPTA, 2003](#))

Com o crescimento e a evolução das redes de computadores, a partir de 1990, foram desenvolvidos computadores de alta velocidade e processamento paralelo combinado com processamento vetorial, que podem ser considerados como sendo os computadores de sexta geração. Dos anos 1990 à 2000 surgiram os sistemas de ubíquos interconectados, via redes, para a conexão das organizações em uma rede global.

De 2000 a 2010 surgiram sistemas acessíveis em "todo lugar e a toda a hora" com advento dos dispositivos móveis e computação em nuvem. De 2010 a atualidade, a quarta revolução industrial promoveu a interconexão de coisas na automatização de processos com uso massivo de Big Data, IoT, IA e Computação Neuromórfica ([INTEL, 2018](#)).

As próximas gerações de computadores devem continuar a tendência rumo a maior potência, maior velocidade e porte menor, podendo utilizar circuitos supercondutores ou outras tecnologias de desenvolvimento para entrada, processamento, armazenamento e saída de dados, informações e conhecimento, tais como os sistemas quânticos.

A Informática abrange todas as atividades relacionadas com o processamento automático de informações, inclusive o relacionamento entre serviços, equipamentos e profissionais envolvidos no processamento eletrônico de dados.

$$\text{INFORMÁTICA} = \text{INFORmação} + \text{autoMÁTICA}$$

## 1.2 DADOS

A palavra “datum” vem do latim e, literalmente interpretado, significa um fato. No entanto, os dados nem sempre correspondem a fatos concretos ou reais, pois podem ser descritas coisas que nunca acontecerão (por exemplo, uma ideia).

Os dados digitais podem ser divididos em dados *digitais estruturados* e *dados digitais não estruturados*. Os dados digitais estruturados são mais conhecidos como dados relacionais, mas são quaisquer dados baseados em texto armazenados de maneira a permitir que sejam acessados e consultados de acordo com um padrão estabelecido.

Em geral diz-se que *Dados estruturados* têm uma estrutura definida e *Dados não estruturados* não são armazenados em um formato padrão estruturado.

Para ajudar a entender esse ponto, pense na geometria e nas regras (matemática) associadas a ela. Quando os matemáticos tentaram lidar com círculos, triângulos e formas que pareciam ser tão complexos, eles começaram inicialmente definir os conceitos básicos (ponto, reta, etc.). Isso estava relacionado à geometria em um mundo bidimensional. Nessa visão de mundo, os triângulos tinham três lados com três ângulos que sempre somavam 180 graus. Apenas focando nesta visão de mundo, foi formada uma maior compreensão da geometria. Os princípios básicos foram calculados juntamente com muitas fórmulas matemáticas. Nesta analogia, o mundo bidimensional é equivalente aos dados estruturados.

Os dados relacionais são armazenados em uma estrutura matemática bem definida, com regras e padrões oficiais para acessá-los e manipulá-los, tais como a Linguagem SQL. Entretanto, no mercado, existem bancos de dados que armazenam dados de texto que estão em conformidade com outros padrões.

Quando o mundo bidimensional atingiu um estágio de ser bem compreendido, o foco foi transferido para o mundo tridimensional real. O mundo tridimensional provou ser muito complexo e nos fez focar em áreas-chave que pudessem ser entendidas. Isso incluiu o estudo de grades, pontos, nós, limites, simetria, superfícies e formas curvas (vide Figura 6).

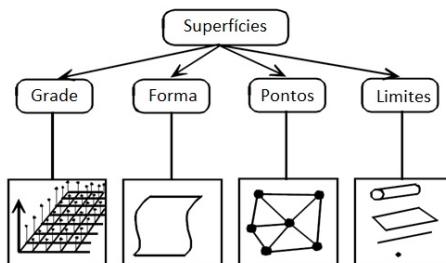


Figura 6 – Superfícies. Fonte: Adaptada de ([KRATOCHVIL, 2013](#))

Segundo ([KRATOCHVIL, 2013](#)) algumas das regras bidimensionais fluíram para o mundo tridimensional, mas outras não. Nesta analogia, proposta por ([KRATOCHVIL, 2013](#)) os dados não estruturados estão no mundo tridimensional tornando-se necessário compreendê-los. Assim como não existe um entendimento completo da geometria tridimensional, também não há uma compreensão completa dos dados não estruturados. É uma disciplina em crescente evolução à medida que mais informações e experiências são reunidas, testadas e aprendidas. "Assim, como a noção de estudar nós, orifícios e curvas, também é possível focar em áreas-chave de dados não estruturados e até aprender com eles"([KRATOCHVIL, 2013](#)).

Um componente importante do mundo complexo de dados é a multimídia, que contém uma série de meios divididos em:

- Texto: Texto contínuo, texto estruturado, coleção de textos, rótulos, etc.

- Gráfico: Mapas de cidades, roteiros, desenho técnico, gráficos 3D, etc.
- Imagem: Fotografias, imagens de satélite, imagem de Raio X, etc.
- Áudio: Voz, música, sons, sons de animais, sons sintéticos, etc.
- Vídeo: Filmes, animações, anúncios, conferências telemáticas, etc.

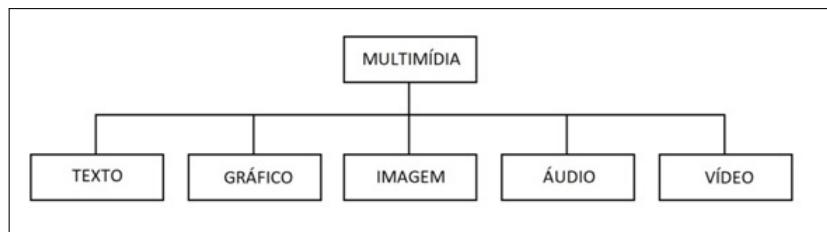


Figura 7 – Tipos de dados

A visão tradicional é que dados não estruturados são apenas quaisquer dados binários. Entretanto, nem sempre isso ocorre. Por exemplo, é possível armazenar dados não estruturados em uma coluna de uma tabela relacional, estruturada. Por outro lado, os arquivos de um banco de dados físico que contêm dados estruturados são binários e armazenados em um formato proprietário<sup>1</sup>. Os dados armazenados em NoSQL (Not only SQL: Não só SQL) ou XML (Extensible Markup Language) podem ser armazenados em um formato semiestruturado. Para XML, existem regras para acesso e consulta, mas os dados em si e sua estrutura podem variar, podendo também estar em conformidade com os padrões convencionados ou armazenados em formato bruto, sem regras bem definidas, sendo considerados como não estruturados.

Apenas dizer que os dados de texto são estruturados e os dados binários não são estruturados não é suficiente, pois um arquivo de texto (bloco de notas) pode conter um conjunto aleatório de caracteres sem definição, regras ou conformidade com qualquer padrão. Um formato de dados binários também pode seguir regras estabelecidas e ser de padrão aberto. Por exemplo, o formato de imagem digital JPEG é um padrão aberto. Para dados de vídeo, o MPEG também é um padrão aberto.

Há uma grande quantidade de dados não estruturados no mundo real que precisa ser gerenciada. Nos últimos dez anos, a maioria das organizações começou a reconhecer que há necessidade de gerenciá-los e compreendê-los. Como dados não estruturados se referem a qualquer coisa que não esteja em forma rigorosamente definida; pode se tornar difícil lidar com isso. O pensamento tradicional tem sido apenas tratá-los como um "blob" (grande objeto binário), mas com uma maior compreensão da variedade de tipos de dados não estruturados existentes, a necessidade de gerenciá-los aumentou (DECKLER, 2019).

Segundo (KRATOCHVIL, 2013) os dados podem ser classificados da seguinte forma:

<sup>1</sup> Um formato proprietário é aquele no qual o fornecedor (o criador do formato) controla e decide sobre seu comportamento.

- **Dados Estruturados:** os dados estruturados são quaisquer dados armazenados em um sistema bem definido e sem propriedade. Estes dados são principalmente baseados em texto. Os dados estruturados são qualquer coisa que tenha uma composição imposta aos tipos de dados atômicos <sup>2</sup>. Estão em conformidade com uma especificação bastante formal de tabelas com linhas e colunas. As fontes destes dados são encontradas em bancos de dados relacionais.
- **Dados Semiestruturados:** Os dados semiestruturados são quaisquer dados armazenados em um sistema que esteja em conformidade com algumas regras e podem até serem proprietários. Estes dados são principalmente baseados em texto. Os dados semiestruturados têm uma estrutura, mas não estão em conformidade com os requisitos formais da definição de dados estruturados, ou seja, tabelas com linhas e colunas. Exemplos de dados semiestruturados incluem arquivos de texto tabulados e delimitados, como as linguagens de marcações de texto. As fontes de dados semiestruturadas têm uma auto-definição estrutural que os torna mais fáceis de consumir e analisar do que fontes de dados não estruturadas. Os dados semiestruturados incluem protocolos de acesso a dados. Estes protocolos fornecem interfaces para acesso a fontes de dados em sistemas de compartilhamento, em sistemas de mídia social e em outros sistemas online. Os protocolos de dados abstraem como os dados são armazenados, seja por um banco de dados relacional, um banco de dados NoSQL ou simplesmente uma série de arquivos.
- **Dados estruturados bem definidos:** são dados em formato determinado, em geral, binários que estão bem definidos e em conformidade com um padrão estabelecido.
- **Não estruturados:** são os dados binários não proprietários. Tais dados podem não estar organizados em tabelas simples com linhas e colunas. Nestes estão incluídos itens como vídeos, áudio, imagens e texto. O processamento de texto, documentos, e-mails, publicações em mídias sociais e páginas da web também são exemplos de dados, em grande parte, não estruturados. Os dados não estruturados podem incluir dados armazenados em bancos de dados de documentos, bancos de dados de gráficos e armazenamentos de chave-valor - constituintes dos denominados bancos de dados NoSQL.
- **Não estruturados bem definidos:** Multimídia também é conhecida como mídia rica ("rich media"). Não se limita apenas aos tipos identificados na Figura 7. Ao dividir a multimídia em seus componentes fundamentais, é possível classificar esses tipos de multimídia e depois desenvolver novos tipos a partir dele. Estes novos tipos podem incluir, por exemplo, objetos tridimensionais de um projeto BIM, dados de simulação e dados de uma rede neural.

<sup>2</sup> Dados atômicos possuem valores simples e indivisíveis. Por exemplo, em um banco de dados relacional, uma tabela não deve conter grupos repetidos e nem atributos com mais de um valor (Princípio da Atomicidade).

O desafio é que, mesmo com base nessas definições, alguns dados se encaixam em uma ou outra definição. Em geral é o que se encontra ao lidar com dados não estruturados. Não há definição concisa. Como por exemplo, conjuntos de dados como NoSQL, XML e vários outros sistemas de armazenamento, há um sentimento de que eles devam pertencer a uma estrutura. Concordando com (KRATOCHVIL, 2013) pode ser dito que dados não estruturados são dados estruturados que ainda não foram definidos corretamente.

Ainda existem muitas incógnitas sobre dados não estruturados. A recente introdução no mundo da computação quântica, usando bits para armazenar informações, indubitablemente empurrará o campo do gerenciamento de dados não estruturados para novas áreas (KRATOCHVIL, 2013).

Como observado (KRATOCHVIL, 2013) há uma sobreposição entre o mundo bidimensional e o mundo tridimensional, assim como entre dados estruturados e dados não estruturados de multimídia. Os dois são dependentes um do outro em algum momento, mas eventualmente com melhorias na tecnologia isso pode mudar. As regras formuladas hoje podem mudar amanhã.

A explosão quantitativa e múltiplos formatos de dados digitais (imagem, som, transação, texto etc.) nos fez classificar os dados como "Big Data"<sup>3</sup>. Big Data são conjuntos de dados tão grandes que dificultam o processamento usando ferramentas tradicionais "clássicas" de gerenciamento de banco de dados.

Todos os sistemas CAD geram arquivos digitais. Estes arquivos consistem principalmente em vetores associados e identificações de camada. À medida que esses sistemas foram desenvolvidos, informações foram adicionadas para permitir associações de blocos de dados e textos. Com a introdução da modelagem 3D foram adicionadas a definição avançada de geometria e as ferramentas complexas de análise. À medida que os sistemas CAD se tornaram mais inteligentes e mais usuários começaram a compartilhar dados associados a um determinado projeto, o foco passou de desenhos e imagens 3D para os próprios dados. Um modelo de um prédio produzido por uma ferramenta BIM pode suportar várias visualizações de diferentes dados contidos em um conjunto de desenhos, incluindo 2D e 3D.

### 1.3 INFORMAÇÃO

Em geral confunde-se “informação” com dados. Dado é diferente de informação! Dados são fatos em sua forma primária. Exemplo: Nome do funcionário, número de horas trabalhadas no mês, número de peças em um estoque.

Quando esses dados estão organizados ou configurados de uma maneira significativa tem-se a informação. A informação é criada definindo-se e organizando-se relações entre os dados. A definição de diferentes relações resulta em diferentes informações. A informa-

<sup>3</sup> O Big Data será abordado na seção 4.1.

ção é um conjunto de fatos organizados de tal forma que adquirem valor adicional além do valor do fato em si. Ex.: Fotografia.

$$\text{Dados} + \text{significado} = \text{Informação}$$

Dados são transformados em informações! Assim como a organização da madeira para produzir diferentes estruturas (mesa, cadeira, etc), podem ser estabelecidas regras e relações para organizar os dados em informação útil.

Em alguns casos a organização e o processamento são feitos manualmente, em outros, utiliza-se o computador (Figura 8).



Figura 8 – Processamento

Há algo interessante notado por (LU; LAI; TSE, 2019) “*existe uma visão comum de que dados são números e fatos brutos, informações são processadas e incorporadas a estruturas significativas e conhecimento são informações validadas. Essa visão imagina que os dados são um pré-requisito para informações e estas são pré-requisitos para o conhecimento. Inversamente, argumenta-se que os dados emergem da informação, que emerge do conhecimento existente. Essa noção nega a existência de "dados brutos" puros, mas acredita que todos os dados são gerados pela intervenção do pensamento humano*

A palavra-chave do BIM é "informação". BIM contém informações geométricas e não geométricas sobre um projeto. As informações geométricas incluem tamanho, volume, forma e relações espaciais, enquanto informações não geométricas incluem o tipo de componente particular de uma construção, especificações de material, cronograma da construção, custo. Entretanto, as informações não geométricas podem incluir outras especificações em um projeto do que as citadas por (LU; LAI; TSE, 2019). Há informações semânticas de relacionamentos entre componentes, como dependência, topologia e informações conjuntas.

Schlueter e Thesseling apud (LU; LAI; TSE, 2019) sugeriram outra taxonomia de informações BIM para incluir informações geométricas, semânticas e topológicas:

1. Informações **geométricas**: estão diretamente relacionadas à forma de construção em três dimensões;
2. Informações **semânticas**: descreve as propriedades dos componentes (ou seja, regras e funções da informação);
3. Informações **topológicas**: captura as dependências entre os componentes. A topologia é uma abstração e pode ser definida como um conjunto de informações obtidas

a partir da descrição geométrica completa de um objeto. As entidades topológicas que representam as entidades geométricas pontos, curvas e regiões são, respectivamente, vértices, arestas e faces.

Xue et al. apud (LU; LAI; TSE, 2019) argumentam que geralmente existem dois tipos de informações semânticas contidas no BIM.

1. Informações **semânticas individuais** dos componentes da construção: que incluem informação geométrica como tamanho, posição, forma e texturas;
2. Informações **semânticas não geométricas**, tais como tipos, especificação de materiais e significados de funções.

Para BIM a divisão entre dados brutos, informação e conhecimento é muito mais complexa... Independentemente da classificação, a semântica das informações BIM são inviolavelmente importantes.

Um modelo de construção pode ser descrito por seu conteúdo (quais objetos ele descreve) ou seus recursos (que tipos de requisitos de informação podem ser de suporte). Os objetos dos processos BIM são modelos de construção, ou modelos BIM. Segundo (SACKS et al., 2018) tais modelos de construção são caracterizados por:

- Construção de componentes representados por objetos digitais que carregam atributos de dados e gráficos computáveis que os identificam em aplicativos de software com regras paramétricas que permitem sua manipulação.
- Componentes que incluem dados que descrevem seu comportamento para análises e processos de trabalho, tais como especificação de quantidades, análises de energia, etc.
- Dados consistentes e não redundantes, de modo que as alterações nos dados de um componente sejam representadas em todas as visualizações do mesmo e nas montagens das quais ele faz parte.

## 1.4 CONHECIMENTO

A transformação de dados em informação é um processo. O processo de definição de relações entre dados requer conhecimento.

$$\text{Informação} + \text{Experiência} = \text{Conhecimento}$$

Por exemplo: Para construir uma escada é necessário possuir o conhecimento para se colocar as barras verticais sobre as horizontais. O conhecimento pode ser organizado em:

- Conhecimento explícito: o conhecimento que pode ser formalizado ou escrito na forma que qualquer um possa entender.

- Conhecimento implícito: não pode ser expresso facilmente, mas é entendido por um indivíduo. As tomadas de decisão envolvem ambos os tipos de conhecimento.

O conhecimento explícito necessita ser organizado e registrado de maneira que se torne utilizável pelos membros da organização que não o possuem. O conhecimento pode ser visto como uma capacidade que possivelmente tem impacto em ações futuras, tais como usar, interpretar e selecionar informações úteis para a tomada de decisões. Apesar da hierarquia de dados e informações o conhecimento não pode ser definido com clareza. O objetivo da coleta de dados é extrair informações úteis e criar conhecimento para apoiar decisões informadas.

Outra visão define o conhecimento como informação processada pela mente humana como fatos, conceitos, ideias, julgamentos e interpretações da informação. Particularmente, o conhecimento é percebido ou criado pelo processamento de dados e informações incorporados ao pensamento humano. Entretanto, nos dias atuais, o conhecimento tem sua extensão nas máquinas. Os *Sistemas de Conhecimento* é uma área da Ciência da Computação que envolve o aprendizado de máquina que visa reproduzir a capacidade cognitiva.

A Figura 9 apresenta a hierarquia de dados, informações, conhecimento e sabedoria.

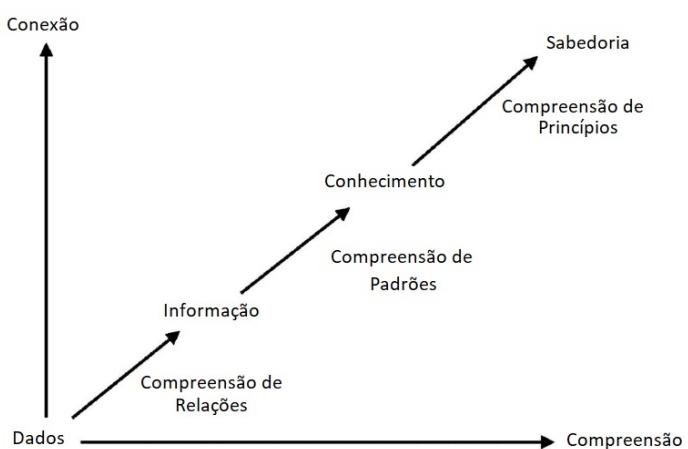


Figura 9 – Dados, informação, conhecimento e sabedoria. Fonte: Adaptada de ([IU; LAI; TSE, 2019](#))

Da mesma maneira que "construímos" um quebra-cabeça podemos construir a estrutura de uma instalação completa e utilizável, colocando-se uma série inumerável de pequenas porções da construção encaixando-as adequadamente; anexando e utilizando-as quando necessário. Para ([LIEBING, 2009](#)) o projeto final da construção, instalação, estrutura, serão verdadeiramente a "soma total de suas partes"!

As partes da construção são desenvolvidas e construídas de acordo com uma série de desenhos, aumentados por informações escritas - os desenhos gerais de trabalho e as especificações do projeto. Exceto pelos recursos inócuos a um projeto, estas instruções são altamente específicas para um projeto da construção, criado pelo projetista para transmitir àqueles que trabalham na construção real.

Dentro do conjunto de desenhos de trabalho, essas partes do projeto aparecem como inúmeros desenhos menores chamados "detalhes"! As "peças" são fabricadas na construção, em tamanho real para erigir o edifício completo - seguro, utilitário e de acordo com o cronograma do projeto ([LIEBING, 2009](#)). Esse processo está repleto de conceitos, "nuances", percepções e realidades, juntamente com materiais, sistemas e métodos de construção. Como tudo isso é tratado e como eles são combinados em documentação adequada para a construção real é denominado o processo construtivo. Outro elemento necessário é a transmissão de comunicação contínua, precisa e apropriada dos profissionais de campo para que as descrições se tornem "fatos".

As informações tornam-se a base para um projeto. O conceito de "design" produzido através de uma série de diagramas, esboços e planos, visam coordenar as informações muitas vezes diversas e até contraditórias coletados por um programa computacional. Mesmo após a documentação de um projeto ser amplamente escrita, verbalizada e for esboçado um conceito, pouco se tem em termos de informações específicas. Estes documentos não podem ser utilizados para a construção real, pois são necessárias muito mais informações. Os projetistas, contratados pelo cliente, são responsáveis por conduzir as informações do projeto aprovado, refinando-as, aumentando-as e tornando-as utilizáveis no local da construção.

Para ser totalmente utilizável, as informações devem ser subdivididas em pequenas porções. Esses desenhos de áreas muito limitadas do projeto devem ser coordenadas e produzidas de forma que permita que o trabalho descrito contribua para o projeto, sendo indicações diretas de como a construção deve ser executada, quais materiais e sistemas estão envolvidos. É impossível descrever qualquer projeto de tamanho razoável com desenhos gerais, desenhados em pequena escala. Seguindo o axioma, "as informações gerais devem se tornar específicas" esses desenhos indispensáveis são produzidos através de um processo chamado "detalhamento" e individualmente, eles são chamados "detalhes" ([LIEBING, 2009](#)).

Na progressão normal da criação de um conjunto de documentos do contrato (desenhos e especificações de trabalho) para um projeto de arquitetura / construção, existe um tamanho considerável de tempo (em toda a fase do trabalho) onde o profissional enfrenta a tarefa de documentação do projeto. Isto envolve fornecer, aumentar, converter, desenvolver, expandir e especificar as generalidades das informações preliminares do projeto, dos conceitos de "design" e de representações artísticas.

Toda essa informação deve ser transformada em desenhos de trabalho e especificações escritas associadas, totalmente coordenadas e diretamente utilizáveis para o trabalho de construção real. Tanto a informação quanto o conhecimento são vastos, imponentes e cruciais elementos para o processo de construção.

A aplicação da informação pode variar, mas os princípios básicos não. Tais princípios são estabelecidos como diretrizes consistentes que asseguram que a informação é combinada com o conhecimento e corretamente transmitidos em forma utilizável. Segundo

(LIEBING, 2009) os princípios devem ser aprendidos e aplicados deliberadamente como uma lista de verificação até que se tornem uma ferramenta tão automática quanto uma escala embutida na mente do projetista:

*"To be a true "interpreter" as the architect/detailer must be, one must have working knowledge the vernacular and information from both the design side and construction side, so true communication can be had between the two understandable and useful to each."* (LIEBING, 2009)

O objetivo do detalhamento é o amplo conhecimento da construção, adaptado de forma flexível, adequado às necessidades do projeto e do local, representado com habilidade do projetista e prontamente comunicado aos seus pares!

Fundamentalmente, o detalhamento envolve, entre várias outras coisas, segundo (LIEBING, 2009):

- O que mostrar;
- O quanto mostrar;
- Como mostrá-lo (tanto em escala quanto em escopo do desenho); e,
- Onde / quando parar de desenhar.

É preciso haver um equilíbrio na quantidade e formato das informações. Os melhores critérios a serem seguidos são o tipo ou categoria de informações e sua localização adequada. Em um sentido amplo, as informações devem ser localizadas onde são melhor aplicadas.

Desde que o Grupo de Trabalho BIM do governo do Reino Unido adotou o conceito de "Níveis de Maturidade BIM" (mostrado no gráfico da Figura 10) os quatro níveis (0 a 3) tornaram-se uma definição amplamente adotada de critérios para que um projeto seja considerado compatível com o BIM (SACKS et al., 2018). A Figura 10 mostra que nos anos 1990, no nível 0, os dados e informações eram estruturados na forma de desenhos, linhas e arcos, sem maturidade BIM, baseada em sistemas CAD e produção de documentos em papel. A partir dos anos 2000 no nível 1 a informação foi estruturada em modelos 2D e 3D armazenados em sistemas de arquivos e banco de dados. A colaboração no nível 1 era baseada em troca de arquivos. A partir de 2010 surge o Nível 2 com modelos 2D e 3D compartilhados em arquivos e bibliotecas de objetos BIM. Já no nível 3 da atualidade são necessários os sistemas de informação em rede com serviços, para integrar também dados não estruturados, informações intercambiáveis de todo ciclo de vida da construção. A partir dos anos 2020 pode-se esperar que o grande "hub" que compõe um "Big Data BIM"!

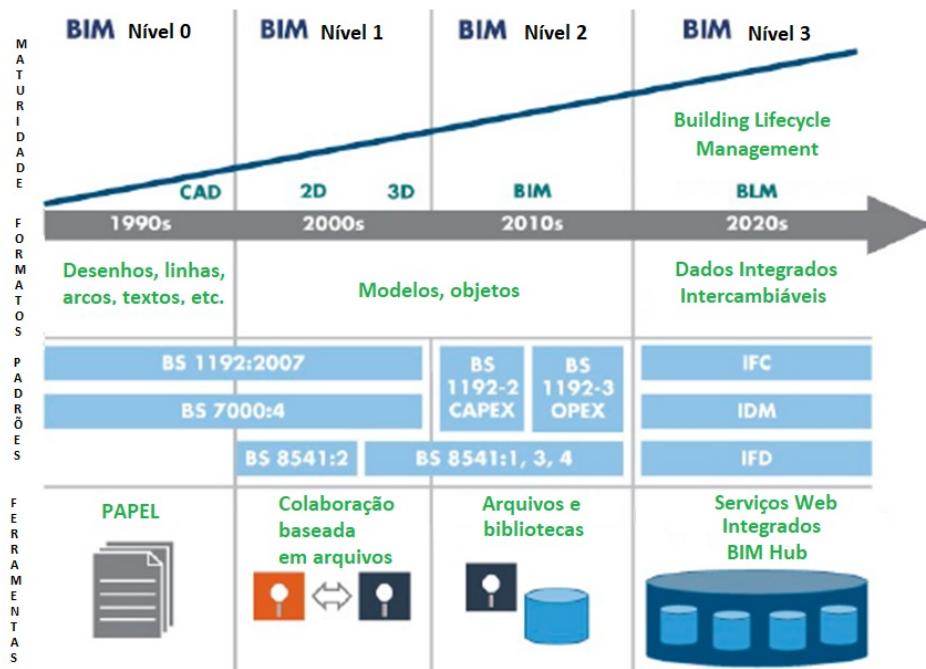


Figura 10 – Níveis BIM Fonte: ([SACKS et al., 2018](#))

Em um futuro, não muito remoto, podemos inferir que a própria denominação BIM (Building Information Modeling) se tornará obsoleta?

É possível... afinal já temos os sistemas que podem ser denominados de "Building Knowledge Modeling" (BKM) com a coleta, geração, tratamento, compartilhamento, análise, visualização e uso, adotando-se o Conhecimento (de máquina) da Inteligência Artificial, cujos princípios serão abordados no capítulo 4.

\*\*\*

# Modelagem da Informação

*"It is a capital mistake to theorize before one has data." — Sherlock Holmes*

Neste capítulo introduzimos o conceito de sistemas e subsistemas. Para entendimento do que seja modelagem, apresentamos as representações dos sistemas: os modelos. É apresentado o conceito de simulação entendida como "a experimentação com modelos". Abordamos neste capítulo também os dois tipos fundamentais de modelagem da informação: a sintática e a semântica. Na modelagem sintática são apresentados os fundamentos da hierarquia, modelos, gerenciamento e banco de dados. Ao final encerramos com os fundamentos da semântica da informação em BIM.

## 2.1 CONCEITO DE SISTEMAS

Sistema é um conjunto de partes ou componentes que interagem para atingir um objetivo. Os próprios elementos e as relações entre eles determinam como o sistema trabalha.

Os elementos ou componentes independentes de um sistema podem interagir. Os sistemas podem ser compostos de sub-sistemas ou partes elementais. Os subsistemas são unidades em um sistema que compartilham algumas ou todas as características de um sistema (Vide Figura 11).

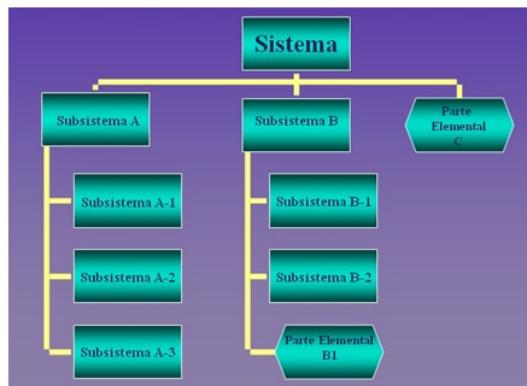


Figura 11 – Sistema e subsistemas Fonte: Adaptada de ([MCLEOD; SCHELL, 2003](#))

Segundo Barreto ([BARRETO, 1995](#)) os modelos utilizados em simulação são abstrações do mundo real. Estas abstrações podem ser modelos reduzidos, modelos de um outro domínio físico, mas possuindo equações matemáticas de mesma natureza (modelos análogos) ou representação matemática (modelos matemáticos).

*Um modelo de um sistema é uma abstração do mundo real.*

A noção de sistema se desenvolveu durante os últimos anos, tendo suas raízes associadas à Cibernetica ([WIENER, 1954](#)) introduzida por Wiener nos anos quarenta. Sendo a Cibernetica essencialmente uma ponte entre diferentes disciplinas é natural que o conceito de sistema tenha suas raízes na Biologia, na Engenharia, na Matemática, nos modelos populacionais, na Economia, etc.

Um sistema é definido por Schmidt ([TAYLOR; SCHMIDT; CHACHRA, 1973](#)) como "um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, que atuam e interagem com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico". Na prática, são os objetivos de um particular estudo, que vão definir quais objetos devem constituir o sistema.

O BIM não pode ser visto como uma ferramenta isolada, mas como um sistema onde estão incluídos pessoas, dados, processos e saídas conforme mostra a Figura 12 .

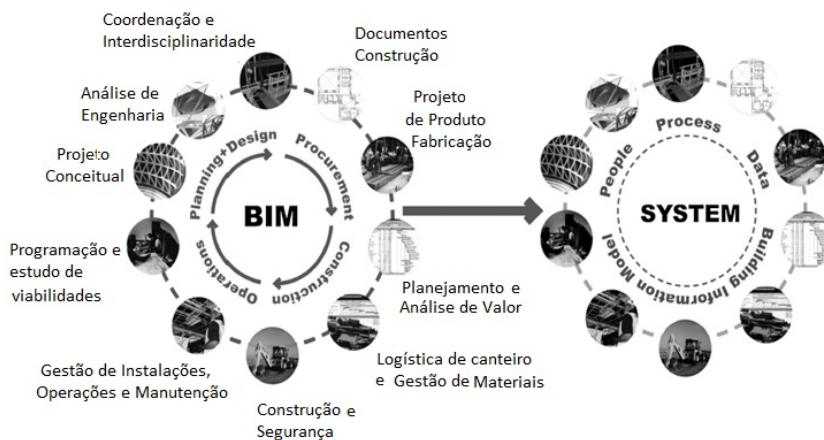


Figura 12 – BIM como um Sistema Fonte: Adaptada de ([GHOSH; CHASEY; MERGENSCHOER, 2015](#))

## 2.2 REPRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS: MODELOS

As teorias são quase sempre expressas na forma de um modelo. Modelos físicos são algumas vezes usados: neste caso o modelo é um outro sistema físico, frequentemente de natureza diferente. Em outros casos o modelo é conceitual. Equações matemáticas são muito pobres para representá-los explicitamente. Exemplos são: modelos conceituais e base de dados (hierárquicos, relacionais, etc.) e modelos de conhecimento (encontrados em sistemas de inteligência artificial, etc). Informalmente, pode-se dizer que um modelo é uma representação do conhecimento que o experimentador tem (ou gostaria de ter) na matéria sob estudo.

Um modelo representa um sistema. Como um modelo deve incorporar o conhecimento disponível e relevante sobre o sistema, há tantos tipos de modelos quanto de possibilidades de representação do conhecimento. Cada modelo é útil dependendo do caso específico.

### 2.2.1 MODELOS MENTAIS

- **Descritivos:** descrição dos aspectos da realidade. Por exemplo, um modelo descritivo de um empreendimento pode auxiliar na identificação das etapas de um processo de negócio.
- **Narrativos:** narrativas dos aspectos da realidade. Uma pessoa pode, por exemplo, relatar um acontecimento ou um fato, sob sua visão de mundo.
- **Conceituais:** foram desenvolvidos em Psicologia ([JOHNSON-LAIRD, 1983](#)) e só recentemente começaram a ser usados em outras ciências. Os modelos conceituais são utilizados na descrição qualitativa de sistemas físicos, estratégias de modelagem em geração de planos em robótica, Modelos de situações (como os usados em psicodrama) ([SOWA, 1984](#)), Modelos de patologias psíquicas (paranoia, esquizofrenia, depressão, etc.) ([DAVIES, 1970](#)). É interessante notar que um modelo conceitual usado

para descrever um sistema físico pode também ser considerado como um modelo matemático.

### 2.2.2 MODELOS FÍSICOS

Modelos físicos são reproduções de um sistema real por outro sistema real. Podem ser divididos em:

- *Modelos Análogos*: quando o modelo é um sistema de natureza diferente, mas possui um comportamento similar. Os modelos análogos foram largamente utilizados no passado. Exemplos são sistemas massa-mola, estudos da circulação sanguínea usando-se circuitos elétricos e o estudo da variação do potencial elétrico na membrana celular usando-se um modelo elétrico análogo ([CADZOW, 1973](#)). A Figura 13 apresenta um análogo: massa-mola.

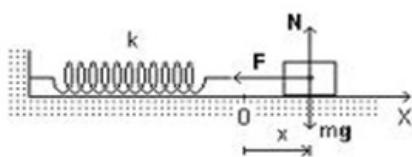


Figura 13 – Modelos análogo: sistema massa-mola

- *Modelos Reduzidos*: são reproduções do objeto real em uma escala diferente. Eles são usados quando a precisão requerida não é facilmente obtida em um modelo matemático ou quando o problema é tão complexo que não é disponível nenhum modelo matemático suficientemente preciso para o objetivo de uma simulação. Um exemplo é o estudo da aerodinâmica de aviões. Neste caso, túneis de vento são empregados e um modelo reduzido do avião é colocado nos mesmos. Desta maneira é possível estudar as propriedades aerodinâmicas do avião. Outros exemplos são as maquetes de prédios. Observa-se que esta maquete não é a digital. A maquete eletrônica está classificada como um modelo gráfico.

### 2.2.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Os modelos matemáticos são provavelmente a forma de modelos mais popular. Em alguns casos eles são tão bem aceitos que são referidos como leis, tal como na lei de gravitação. Em outros casos eles são estabelecidos para um estudo particular e não têm "status" de lei.

A equação  $F = m \cdot a$  (força exercida por um corpo é o produto de sua massa e sua aceleração) é um exemplo de modelo, um modelo matemático.

Os modelos matemáticos são usados principalmente como uma linguagem intermediária entre o usuário e um computador que soluciona as equações matemáticas. A forma

mais comum de modelos matemáticos é expressa por relações analíticas entre variáveis relevantes ao sistema.

#### 2.2.4 MODELOS GRÁFICOS

O sucesso destes modelos é devido à capacidade humana de melhor visualização de na forma gráfica. Como o cérebro humano é bem adaptado para interpretar formas, é natural que métodos gráficos desempenhem um importante papel em simulação ([CELLIER, 1991](#)). Os modelos gráficos são representados por diagramas de blocos, diagramas de frequência, redes de Pert, gráficos semânticos, fluxogramas, objetos BIM, etc. Os modelos gráficos podem ser divididos em três grupos: similares, convencionados e pictográficos.

- **Modelos similares:** são uma representação gráfica da realidade. Por exemplo, a representação de uma molécula por uma forma geométrica para explicar ações enzimáticas é um tipo de modelo similar ([BARRETO, 1995](#)). A Figura 14 mostra duas formas gráficas de modelos similares de uma molécula: forma planar e espacial.

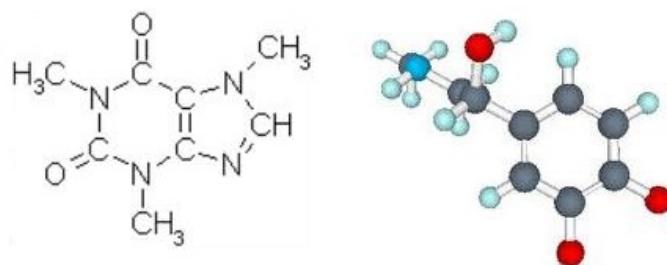
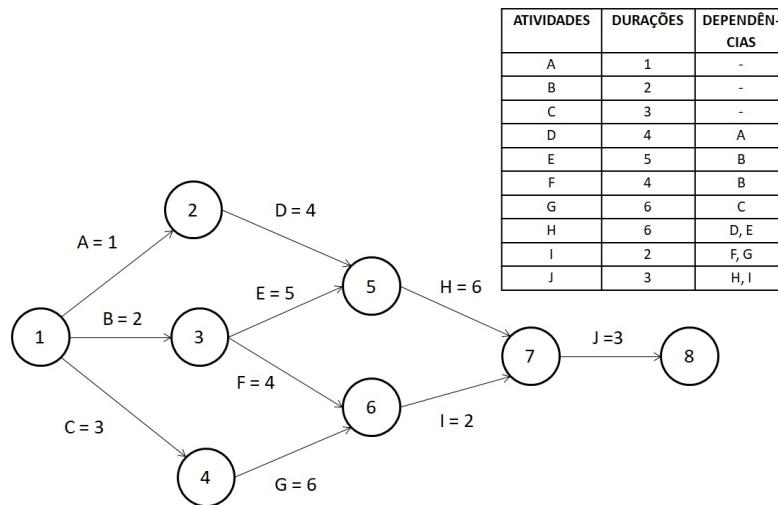


Figura 14 – Modelos similares de uma molécula

- **Modelos convencionados:** são baseados em uma convenção gráfica, não necessariamente motivada pela realidade física e retêm geralmente muito pouco do objeto real a ser modelado. Exemplos de tais ferramentas gráficas são: redes PERT, CPM em gerenciamento de projetos ([BARRETO, 1995](#)). A Figura 15 apresenta um exemplo de um modelo convencional PERT descrevendo as atividades, durações e dependências de um projeto.

Figura 15 – Modelo de uma Rede PERT de um projeto. Fonte: ([HILLIER; LIEBERMAN, 2013](#))

- **Modelos Pictográficos:** Os modelos pictográficos derivam-se da palavra "Picture". Fotografias podem representar pessoas. A sua foto em seu documento de identidade representa você! Não é permitido por lei que a substitua pela foto de outrem... caso o faça, incidirá em crime. Vale ressaltar que a foto é um modelo pictográfico de uma pessoa e se tornará uma informação quando é atribuído significado a mesma.

Se a foto da cédula de identidade mostrada na Figura 16 representasse um ser humano seria seu modelo pictográfico. Entretanto, esta imagem apresentada não é de uma pessoa real. A imagem da pessoa da foto foi gerada por uma rede neural "Generative Adversarial Network" (GAN) no site <https://thispersondoesnotexist.com>. Podemos no máximo considerá-la como um modelo pictográfico de uma rede neural bem determinada...



Figura 16 – Modelo Pictográfico: fotografia

## 2.3 EXPERIMENTAÇÃO COM MODELOS: SIMULAÇÃO

A experimentação com modelos (simulação) é feita principalmente para aumentar o conhecimento sobre o sistema sob estudo. Uma simulação deve responder e, algumas vezes, criar questionamentos.

Não existe uma significação universal e precisa da palavra "simulação". Seu significado muda frequentemente com o domínio da aplicação. Uma razão é que, em muitas áreas, a simulação é a ferramenta escolhida para lidar com problemas complexos ([SPRIET; VANTENKISTE, 1982](#)). E os usuários da simulação adotam o significado de Simulação que em particular eles empregam.

**Definição 2.3.1** *Simulação é a "arte" de experimentar com modelos.*

Então:

$$\text{Simulação} = \text{Modelagem} + \text{Experimentação}.$$

**Nota:** Frequentemente, em simulação, a palavra "modelo" é usada como sinônimo de modelo matemático. Deve ser enfatizado que, aqui, a palavra modelo é usada no sentido amplo.

**Nota:** O significado da palavra modelo empregada neste texto é apenas um dos vários significados. Pelo menos quatro diferentes significados podem ser encontrados nas frases:

- Modelo (matemático) de um avião;
- Modelo de um sistema axiomático;
- Modelo (tipo) de um carro;
- Cidadão modelo.

Finalmente, pode ser dito que a atividade de modelagem não é restrita a simulação (no sentido restrito), mas está difundida em toda atividade científica. De fato, em qualquer campo da ciência, em função do estado do conhecimento disponível sobre alguma realidade, a palavra "modelo" é usualmente expressa por diferentes palavras como "princípio", "teoria", "hipótese", "lei". Por exemplo, um modelo que representa uma ideia fundamental é dito ser um "princípio". Se o modelo é uma tentativa e tem baixo suporte experimental é uma "hipótese", e se é bem estabelecido é uma "lei" ([GOEL; THOMPSON, 1988](#)).

Na literatura são encontradas diversas definições de simulação. Para Shannon ([SHANNON, 1998](#)) a "Simulação é o processo de desenvolvimento de um modelo de um sistema real, e a condução de experimentos nesse modelo, com o propósito de entender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias (com os limites impostos por um critério ou conjunto de critérios) para a operação do sistema".

Gordon ([ROGERS; GORDON, 1993](#)) afirma que a "Simulação de sistemas é a técnica de solucionar problemas observando o desempenho no tempo de um modelo dinâmico do sistema".

De acordo com Schriber (SCHRIBER, 1974) a "Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo".

"Simulação é o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo, com o propósito de entender seu comportamento e ou avaliar estratégias para sua operação", segundo Pegden (PEGDEN; SADOWSKI; SHANNON, 1991).

"Uma gama variada de métodos e aplicações que o reproduzem comportamento de sistemas reais, usualmente utilizando-se de ferramentas computacionais." (KELTON; SADOWSKI; STURROCK, 2015)

A simulação de sistemas pode ser entendida, em um sentido mais amplo, como o "*processo de construção de um modelo abstrato que representa um sistema real (existente ou a ser construído) e a experimentação do mesmo através de técnicas, cujos resultados de tais experimentações, após análises, apresentam uma visão futura simplificada do sistema*" (ALMEIDA, 2009).

Em sentido mais amplo, podemos considerar que um modelo BIM desenvolvido em uma ferramenta de autoria representará um sistema real (por exemplo, um prédio existente ou não). As experimentações com o modelo consistem nas modificações em sua estrutura, projeto, orçamento, etc. com auxílio de uma ferramenta de autoria conforme mostra a Figura 17.

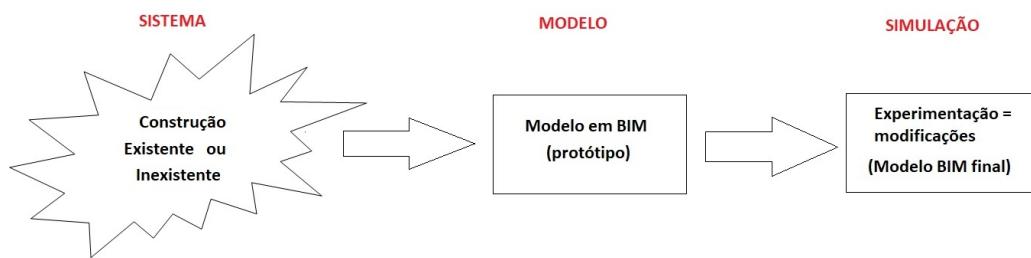


Figura 17 – Exemplo de um Sistema, Modelagem e Simulação em BIM

Vale ressaltar que um modelo é um modelo... não é o sistema real, um modelo "representa" o sistema real... Portanto, para que seu modelo represente adequadamente um sistema real a etapa de construção do modelo é importantíssima.

## 2.4 MODELAGEM SINTÁTICA DA INFORMAÇÃO

A sintaxe refere-se ao estudo das regras que regem a construção de frases nas línguas naturais e artificiais. Refere-se a estrutura, a forma da linguagem. Na modelagem da informação no computador as regras de linguagens e nomenclatura de banco de dados são exemplos de modelos puramente sintáticos.

### 2.4.1 HIERARQUIA DE DADOS

Teorey ([TEOREY et al., 2014](#)) resume a hierarquia de dados considerando que "o componente básico de um arquivo em um sistema de arquivos é o **item de dados**, que é a menor unidade de dados identificável que tem significado no mundo real. Um grupo de itens de dados relacionados, tratados como uma unidade isolada por uma aplicação, é chamado de **registro**. Um **arquivo** é uma coleção de registros de um mesmo tipo. Os sistemas de **banco de dados** baseiam-se em arquivos e expandem suas definições: em um banco de dados relacional, um item de dados é chamado de coluna ou atributo; um registro é chamado de linha ou tupla; e um arquivo é chamado de tabela".

Um banco de dados é um objeto mais complexo; é uma coleção de dados armazenados e inter-relacionados, que atende às necessidades de vários usuários dentro de uma ou mais organizações, ou seja, coleções inter-relacionadas de muitos tipos diferentes de tabelas.

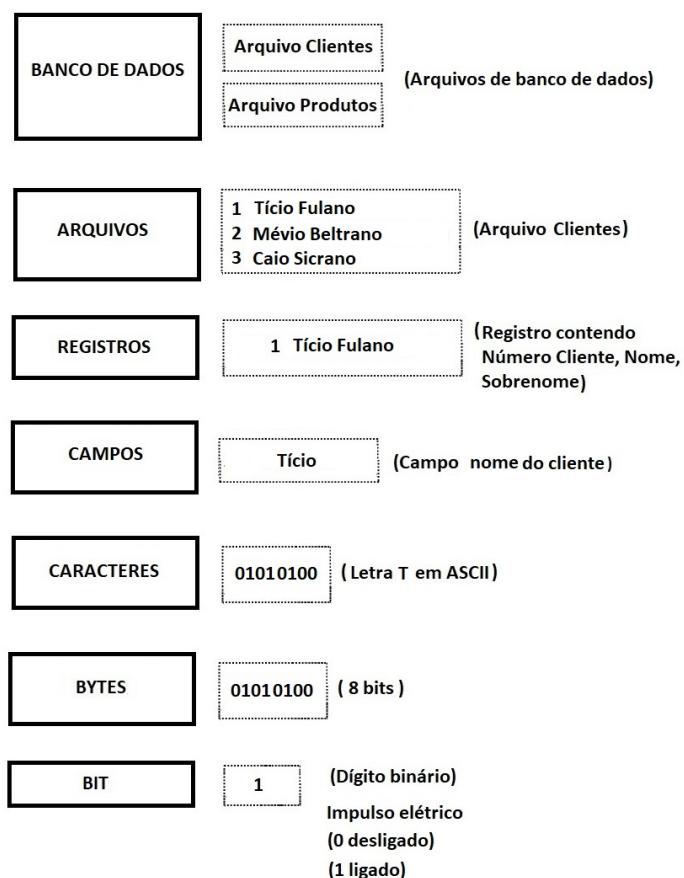


Figura 18 – Exemplo de Hierarquia de Dados. Fonte: Adaptada de ([STAIR; REYNOLDS, 2002](#))

- Bit: dígito binário é a menor unidade de informação que pode ser armazenada ou transmitida. Um bit pode assumir somente 2 valores: 0 ou 1, corte ou passagem de energia no circuito eletrônico do computador, respectivamente;

- Bytes: conjunto de 8 bits;
- Caractere: formado por bytes: letras, símbolos, ex: A, B, ?, \$, etc.;
- Campo: conjunto de caracteres que descrevem um aspecto ou atividade corporativa. Ex: nome, sobrenome, etc.;
- Registro: conjunto de campos relacionados que combinam a descrição dos vários aspectos de um objeto ou atividade. Ex: o registro de um cliente que reúne campos relativos a um nome;
- Arquivo: conjunto de registros. Ex: contém o registro de todos os clientes de uma companhia, em software são referenciados como tabelas;
- Banco de dados: conjunto de arquivos. Hospeda não somente todos os níveis de dados, mas os relacionamentos entre eles.
  - Entidade: uma entidade é uma pessoa, lugar, objeto ou coisa sobre a qual se mantêm informações. A maioria das organizações estrutura e armazena seus dados como entidades. Ex: cliente é uma típica entidade em um arquivo de clientes.
  - Atributos: atributo é cada característica ou qualidade que descreve uma entidade. Ex.: nome, endereço, número do RG são atributos de um cliente.
  - Campo-chave: cada registro de um arquivo ou banco de dados deve conter pelo menos um campo que identifique de maneira única aquele registro de modo que ele possa recuperado (acessado), atualizado ou ordenado. Esse campo identificador é denominado campo chave ou indexador. Um exemplo de campo-chave seria o número de um cliente, código de um produto, CNPJ de empresas, RG de pessoa física, etc.

#### 2.4.2 MODELO DE DADOS

Um Modelo de Dados, refere-se à maneira pela qual uma ou mais fontes de dados são organizados para apoiar a análise e visualização (DECKLER, 2019). O Modelo de Dados é basicamente um conjunto de conceitos utilizados para descrever um Banco de Dados. Não existe uma única forma de representação deste modelo, porém qualquer forma que permita a correta compreensão das estruturas de dados em um Banco de Dados, pode ser considerada adequada. Visa mostrar os relacionamentos lógicos entre os dados. Corresponde a um mapa ou diagrama de entidades e seus relacionamentos.

Os modelos podem ser extremamente simples, como uma única tabela com colunas e linhas. No entanto, na maioria das vezes envolve várias tabelas de dados provenientes de diversas fontes. Assim, o modelo se torna mais complexo à medida que as várias fontes e tabelas de dados devem ser combinadas em um todo coeso. Isto é feito definindo-se como cada uma das fontes díspares de dados se relacionam. Como exemplo, digamos

que se tenha uma fonte de dados que represente o nome de um cliente, informações de contato e talvez o tamanho em receita e / ou número de funcionários. Esta informação pode ser provida do sistema de gerenciamento do relacionamento com o cliente (CRM) de uma organização. Uma segunda fonte de dados pode ser a informação do pedido, que inclui o nome do cliente, as unidades compradas e o preço pago. Esta segunda fonte de dados pode vir de um sistema planejamento de recursos empresariais (ERP) da organização. Essas duas fontes de dados podem ser relacionadas entre si com base em no nome do cliente.

#### 2.4.2.1 MODELO DE DADOS HIERÁRQUICO

O Modelo Hierárquico foi o primeiro a ser reconhecido como um modelo de dados. Seu desenvolvimento somente foi possível devido à consolidação dos discos de armazenamento endereçáveis, pois esses discos possibilitaram a exploração de sua estrutura de endereçamento físico para viabilizar a representação hierárquica das informações. Nesse modelo de dados, os dados são estruturados em hierarquias ou árvores. Os nós das hierarquias contêm ocorrências de registros, onde cada registro é uma coleção de campos (atributos), cada um contendo apenas uma informação. O registro da hierarquia que precede a outros é o registro-pai, os outros são chamados de registros-filhos ([CAYRES, 2015](#)).

Grande parte das restrições e consistências de dados estava contida dentro dos programas escritos para as aplicações. Era necessário escrever programas na ordem para acessar o banco de dados.

Este modelo é capaz de representar este tipo de organização de forma direta, mas apresenta inconvenientes quando esta situação não aparece claramente com relações de hierarquia. Um exemplo de modelo hierárquico pode ser utilizado em processamento diário de reservas aéreas ou de transações bancárias em caixas automáticos.

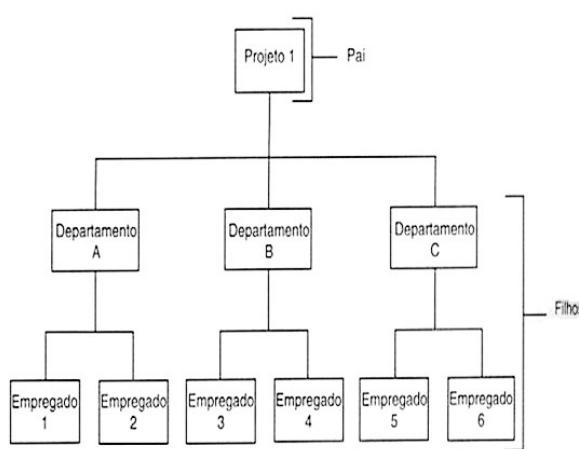


Figura 19 – Modelo de dados hierárquico. Fonte: Adaptada de ([STAIR; REYNOLDS, 2002](#))

### 2.4.2.2 MODELO DE DADOS EM REDES

O Modelo em Redes surgiu como uma extensão ao Modelo Hierárquico, eliminando o conceito de hierarquia e permitindo que um mesmo registro estivesse envolvido em várias associações. No Modelo em Rede, os registros são organizados em grafos, onde aparece um único tipo de associação que define um relacionamento entre dois tipos de registros: proprietário e membro. Ao contrário do Modelo Hierárquico, no qual qualquer acesso aos dados passa pela raiz, o modelo em rede possibilita acesso a qualquer nó da rede sem passar pela mesma.

A estrutura em rede pode representar relações lógicas mais complexas. Permite relacionamentos do tipo muitos-para-muitos (M:N) entre registros, ou seja, no modelo em rede pode-se acessar um elemento de dados seguindo vários caminhos, porque qualquer elemento ou registro de dados pode ser relacionado com qualquer número de outros elementos de dados.

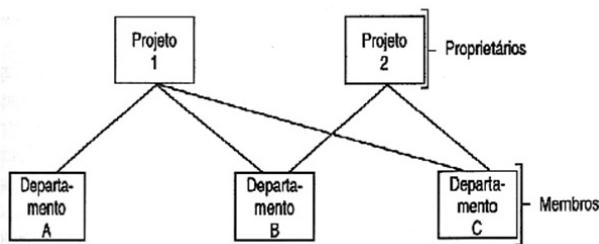


Figura 20 – Modelo de dados em redes. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002)

No Modelo em Rede apresentado na Figura 20, dois projetos estão em cima. Os departamentos A, B e C estão no projeto 1 e os Departamentos B e C sob o projeto 2. Assim os elementos desse modelo representam um relacionamento um-para-muitos (1:N).

### 2.4.2.3 MODELO RELACIONAL

O Modelo Relacional tornou-se o mais popular das três estruturas de banco de dados. Ele é utilizado pela maioria dos pacotes SGBD para microcomputadores, bem como muitos sistemas de potência média e de computador central. A vantagem do Modelo Relacional está em que um elemento de dado de um arquivo ou tabela pode ser relacionado a qualquer dado de outro arquivo ou tabela desde que ambas as tabelas compartilhem um elemento de dado comum.

No Modelo Relacional, todos os elementos de dados são colocados em tabelas de duas dimensões, chamadas relações. Como elas compartilham, no mínimo um elemento em comum, estas relações podem ser vinculadas a uma informação útil.

Um elemento de dado de uma tabela pode estar relacionado a qualquer elemento de dado em qualquer outra tabela, desde que as duas tabelas compartilhem um elemento em comum. Assim, uma tabela de projeto pode ser combinada com uma tabela de depar-

tamento porque cada tabela tem um campo que contém um número de departamento. De modo semelhante acontece com as demais tabelas.

As tabelas parecem semelhantes a arquivos simples, mas as informações em mais de um arquivo ou tabela podem ser extraídas e combinadas com facilidade.

Número do Projeto	Descrição	<b>Número do Departamento</b>
155	Folha de Pagamento	257
498	Outros	632
226	Manual de Vendas	598

Tabela 1 – Tabela de dados: Tabela Projeto

<b>Número do Departamento</b>	Nome do Departamento	CPF do Gerente
257	Contabilidade	884.152.447-35
632	Planejamento	966.685.397-29
598	Marketing	936.229.107-87

Tabela 2 – Tabela de dados: Tabela Departamento

CPF do Gerente	Sobrenome	Nome	Data da admissão	<b>Número do Departamento</b>
884.152.447-00	Fulano	Tício	07-10-2017	257
966.685.397-99	Beltrano	Mévio	17-02-2013	632
936.229.107-87	Sicrano	Caio	05-06-2002	598

Tabela 3 – Tabela de dados: Tabela Gerente

Um banco de dados relacional armazena dados em um formato estruturado conforme será mostrado na subseção 2.4.4.2.

#### 2.4.2.4 MODELO ORIENTADO A OBJETOS

Os modelos orientados a registros foram inicialmente projetados para armazenar somente dados homogêneos pré-definidos, numéricos estruturados e alfanuméricos em campos e registros. No entanto, muitas aplicações atuais precisam armazenar esses dados tradicionais juntamente com imagens, desenhos, fotografias, voz, imagem de vídeo com movimento. Um banco de dados médico pode precisar incluir anotações de médicos, relatórios de laboratório, resultados de exames, gráficos cronológicos, chapas de Raios-X e vídeo de imagem de ressonância magnética. Um modelo tradicional não poderia manipular automaticamente e interligar esses diferentes tipos de dados em uma única aplicação.

Os modelos Orientados a Objetos armazenam dados como objetos que podem ser recuperados, reutilizados e compartilhados. Incluídas no objeto estão instruções de processamento para completar cada transação do banco de dados. Esses objetos podem conter diversos tipos de dados, inclusive sons, gráficos e vídeo, bem como dados tradicionais e procedimentos de processamento.

Quando os bancos de dados Orientados a Objetos foram introduzidos, algumas das falhas perceptíveis do modelo relacional pareceram ter sido solucionadas e acreditava-se que tais bancos de dados ganhariam grande parcela do mercado. Hoje, porém, acredita-se que os bancos de dados Orientados a Objetos serão usados em aplicações especializadas, enquanto os sistemas relacionais continuarão a sustentar os negócios tradicionais, onde as estruturas de dados baseadas em relações são suficientes. O diagrama de classes da Linguagem de Modelagem Unificada (UML), mostrado na Figura 21, serve geralmente como o esquema que descreve o modelo de dados Orientado a Objetos. Neste caso modela-se como objetos, um cliente e um produto. O cliente possui Nome e Sobrenome. O Produto Nome e Cor. O relacionamento entre eles é que o Cliente "pede" um Produto. Os métodos de cadastro e exclusão são válidos para ambos objetos no Banco de Dados. O diagrama de classes padrão é composto de três partes:

- Parte superior: contém o nome da classe. Esta parte é sempre necessária para descrever um objeto.
- Parte do meio: contém os atributos da classe. Esta parte descreve as qualidades da classe. É necessária somente quando se descreve uma instância específica de uma classe.
- Parte inferior: inclui as operações da classe (métodos). Exibido em formato de lista, cada operação ocupa sua própria linha. As operações descrevem como uma classe interage com dados.

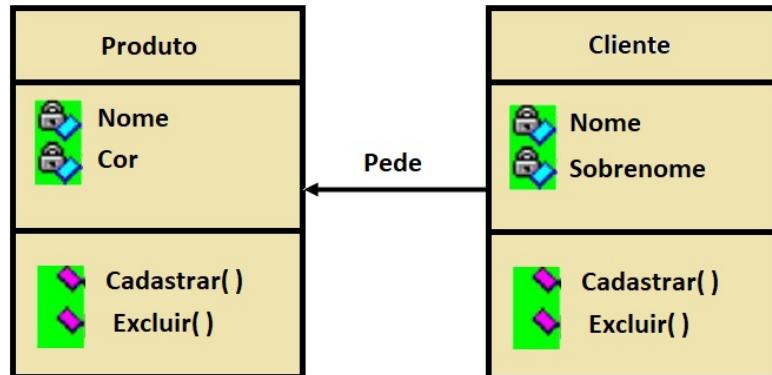


Figura 21 – Diagrama UML simplificado

#### 2.4.2.5 MODELO OBJETO-RELACIONAL

A alguns bancos de dados relacionais foram adicionados a capacidade de incorporar objetos mais complexos, como imagens, sons e vídeos, bem como alguns recursos de orientação a objetos. No entanto, isso não os torna sistemas puramente orientados a objetos,

apesar da denominação "Object-Relational Database Management System" (ORDMS). Semelhante a um banco de dados relacional, porém com um modelo de banco de dados orientado a objetos: objetos, classes e herança são suportados diretamente nos esquemas do banco de dados e na linguagem de consulta. Além disso, ele suporta extensão do modelo de dados com a personalização de tipos de dados e métodos. Esse modelo prevê a implementação de uma camada de abstração de dados em cima dos métodos relacionais, o que torna possível a manipulação de dados mais complexos (CAYRES, 2015). A Figura 22 mostra um exemplo deste modelo.

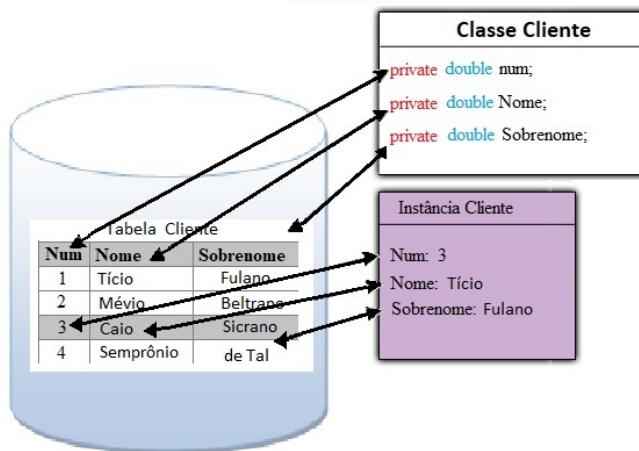


Figura 22 – Modelo Objeto-relacional. Fonte: Adaptada de (VAISH, 2013)

#### 2.4.2.6 MODELO DE DADOS OPERACIONAIS

Muitas organizações têm seus dados fossem armazenados separadamente que são incapazes de proporcionar uma visão consolidada de informações de toda a empresa. Um modo de lidar com esse problema é construir um Armazém de Dados ("Data Warehouse"), abreviado por DW.

Um DW é um banco de dados que consolida dados extraídos de diversos sistemas de processamento de transações (sistemas operacionais e de produção) em um grande banco de dados que pode ser utilizado para relatórios e análises gerenciais. Na verdade, tem-se em um mesmo banco de dados e informações sobre os diversos departamentos de uma empresa (marketing, vendas, compras, produção, etc) e depois se extraí informações de apoio à decisão e gerenciais. A Figura 23 mostra o esquema geral de um armazém de dados. Os dados oriundos de diversas fontes são integrados, armazenados e tratados para usuário final.

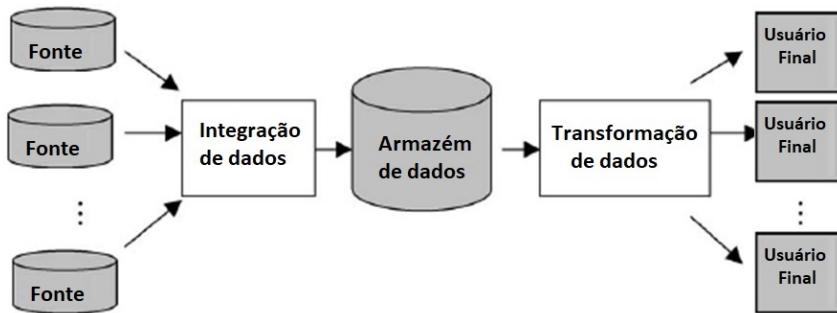
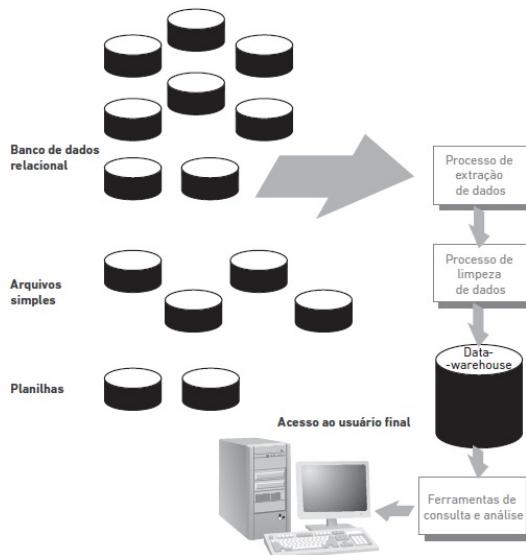


Figura 23 – Banco de dados operacionais: Data Warehouse

O exemplo da Figura 24 mostra que dados dos sistemas de processamento de transações são reorganizados e combinados com outras informações, inclusive dados históricos, de modo que possam ser utilizados para a tomada de decisões e análise gerenciais.

Figura 24 – Elementos de um Data Warehouse. Fonte: ([STAIR; REYNOLDS, 2015](#))

Um uso importante dos dados do DW é o processo de "Data Mining" (DM), isto é Mineração de Dados conforme será mostrado na subseção 3.5.2. No DM, os dados de um DW são processados para identificar fatores e tendências nos padrões das atividades de negócios. Este procedimento pode ser utilizado para tomadas de decisões sobre mudanças estratégicas nas operações empresariais a fim de se obter vantagens competitivas no mercado.

A principal motivação para desenvolvimento de um DW é o reconhecimento de que as informações são o ativo mais importante para qualquer organização. Trata-se de como extrair os dados de maneira eficaz e eficiente, de forma lógica para os negócios ou para os usuários finais. O DW pode estar vinculado diretamente a um sistema analítico que fornece acesso aos dados online conhecido como OLAP (Online Analytical Processing).

O negócio da Construção é orientado a projetos. Todos os dados relacionados a um projeto e tomadas de decisões relativas aos mesmos devem estar associados. Coletar e manter dados relacionados a cada projeto é prático e lógico. De várias maneiras, os dados BIM possuem características de um DW. O mundo BIM certamente compartilha as preocupações sobre o acesso fácil aos dados, a simplicidade dos dados para um acesso eficiente e seu foco na visão lógica dos dados dos usuários finais. Em muitas aplicações, o acesso aos dados básicos do modelo de construção pode ser restrito a somente leitura, por exemplo, para verificação, análise e até mesmo para fins de gerenciamento de instalações. O uso do DW em BIM é cada vez mais importante devido a uma grande quantidade de dados sendo capturados.

O DW BIM organiza os dados de construção no contexto de seus projetos associados. A Figura 25 mostra um exemplo de DW BIM com quatro componentes principais: fontes de dados, área de armazenamento de dados temporários, armazenamento de dados em servidores e acesso a dados.

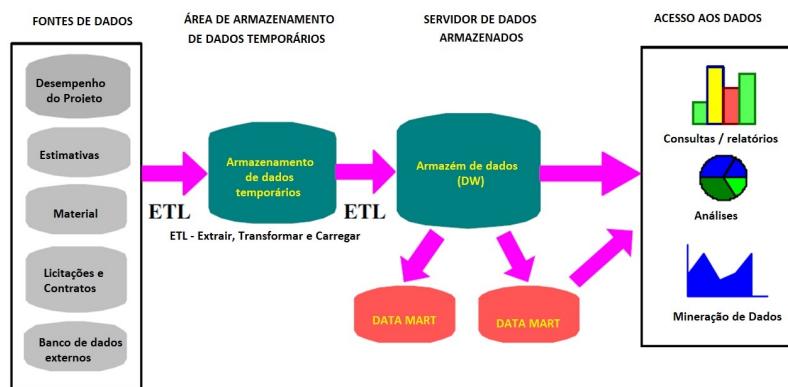


Figura 25 – DW BIM orientado a Projetos. Fonte: Adaptada de ([RUJIRAYANYONG; SHI, 2006](#))

#### 2.4.2.7 MODELO DE DADOS DE HIPERMÍDIA

O rápido crescimento dos sítios na Internet, intranets e extranets têm aumentado drasticamente o uso de banco de dados em documentos de hipertexto e hiper mídia. Um site armazena na rede essas informações como um banco de dados de hiper mídia que basicamente consiste de uma página principal e outras páginas com múltiplas mídias.

Os modelos de dados de hiper mídia produzem bancos que armazenam dados como “pedaços” de informações, cada pedaço em um nó separado. Cada nó pode conter dados numéricos ou alfanuméricos ou documentos inteiros, programas de software, gráficos e até mesmo vídeo. Cada um dos nós é totalmente independente – os nós não são relacionados por um esquema pré-determinado de organização como acontece com os bancos de dados tradicionais. Em vez disso, os usuários estabelecem os próprios vínculos entre nós. Por exemplo, um banco de dados de hiper mídia para ensino de um determinado assunto pode vincular informações básicas de conteúdo, exercícios, descrições, etc. conforme mostra o grafo da Figura 26 de um modelo de sistema hiper mídia para ensino de

redes neurais artificiais desenvolvido por (ALMEIDA, 1999). Os nós enumerados (1 a 8) representam unidades de ensino, os Mp mapas de navegação e Re (retorno) e Rm (retorno) com memória. Os nós A a P representam detalhamentos do conteúdo contendo explicações, descrições, exercícios, fotos.

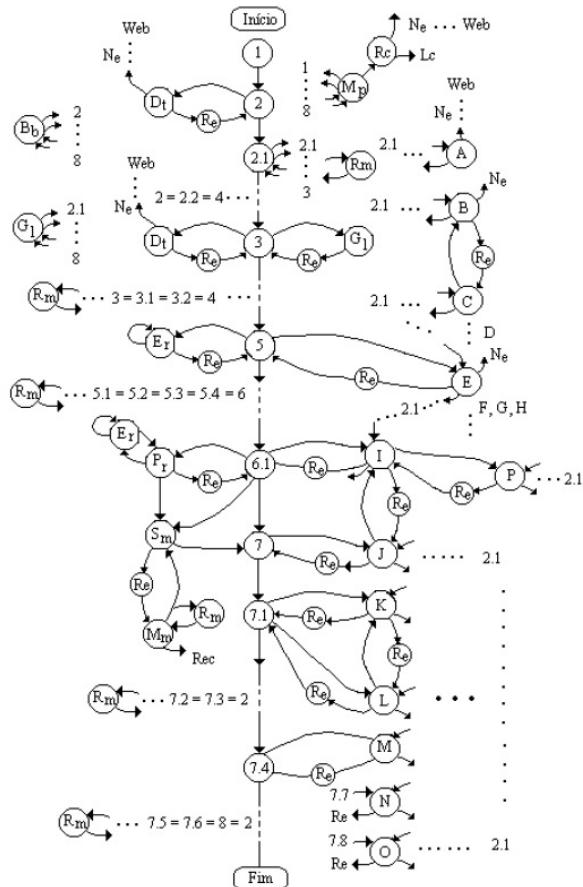


Figura 26 – Grafo de um modelo hipermédia para ensino de Redes Neurais. Fonte: Almeida (ALMEIDA, 1999)

#### 2.4.2.8 MODELO NOSQL

Antes da introdução do modelo relacional por Ted Codd ([CODD, 1970](#)), modelos de dados não relacionais existiam em bancos de dados hierárquicos ou em redes. Com o advento da Internet e das numerosas aplicações baseadas na Web o interesse por dados não relacionais aumentou para aplicações de Big Data, cujas tecnologias de banco de dados relacional são difíceis ou impossíveis. Por exemplo, a execução de sistemas CAD/3D no modelo relacional é bastante difícil. A divisão técnica em várias tabelas de objetos geométricos, topológicos e manipulações gráficas executadas em tempo real se mostraram problemáticos. Embora 'não-relacional' seja uma descrição melhor que o NoSQL, o último se tornou estabelecido com pesquisadores e fornecedores de bancos de dados no mercado nos últimos anos.

NoSQL (Not only SQL: Não só SQL) é um termo utilizado para definir um tipo de banco de dados que não segue normas de tabelas presentes no banco de dados relacional. O

termo NoSQL agora é usado para qualquer gerenciamento de dados não relacionais abrangentes que atendem a dois critérios:

- Primeiro: os dados não são armazenados somente em tabelas.
- Segundo: o idioma do banco de dados não é somente SQL.

A estrutura básica de um sistema de gerenciamento de banco de dados NoSQL é mostrada na Fig. 27. Os sistemas de gerenciamento de banco de dados NoSQL usam principalmente uma arquitetura de armazenamento massivamente distribuída. Os dados reais são armazenados em repositórios de documentos, em pares de valores-chave, famílias de colunas amplas e grafos.

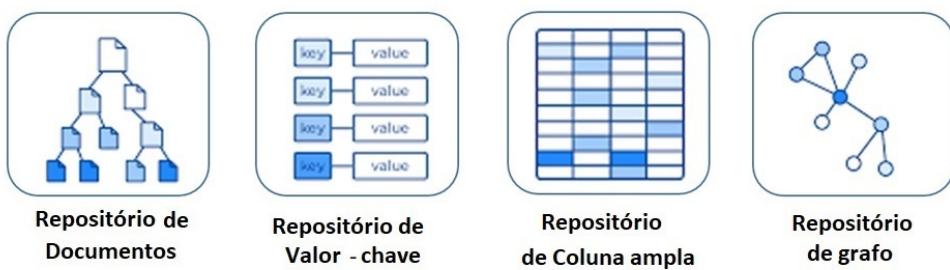


Figura 27 – Modelos de dados para bancos de dados NoSQL. Fonte: Adaptada de ([MICROSOFT, 2020](#))

No repositório de documentos os dados são armazenados hierarquicamente como documentos no banco de dados. O repositório de valor - chave de tabelas distribuídas armazena objetos indexados por chaves e possibilitam a busca destes a partir de suas chaves. No armazenamento de coluna ampla os dados relacionados são armazenados como um conjunto de pares de chave/valor aninhados em uma única coluna.

No repositório de grafo os dados são armazenados em uma estrutura de gráfico como nó, borda e propriedades de dados. Por exemplo, a Figura 28 mostra uma pequena fatia de usuários do Twitter representado em um modelo de dados em grafos. Cada nó (rotulado como Usuário) pertence a uma única pessoa que é conectado a relacionamentos que descrevem como cada usuário está conectado. Como podemos ver na Figura 28 os usuários Mévio e Tício se seguem, assim como Caio e Tício, mas embora Caio siga Mévio, este ainda não é recíproco.

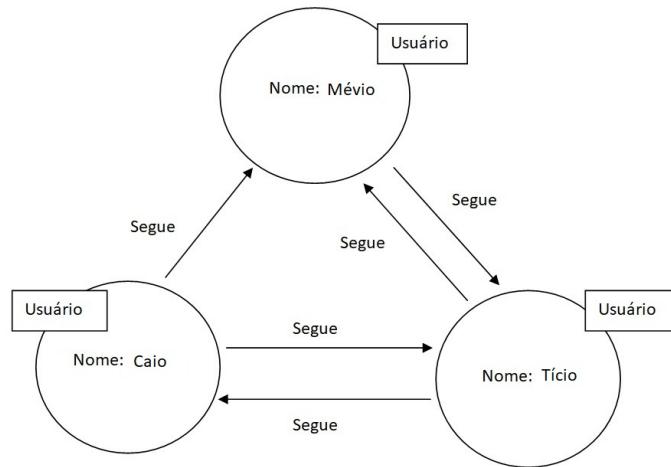


Figura 28 – Usuários do Twitter representados em um modelo de banco de dados gráfico. Fonte: Adaptada de ([SASAKI, 2018](#))

A Figura 29 mostra um exemplo de uma rede social científica que interage com quatro repositórios de dados heterogêneos: um armazenamento de dados relacionais e três NoSQL (ou seja, uma chave / valor, um documento e um gráfico). A principal vantagem seria usar armazenamentos de dados especializados, bem adaptado aos requisitos específicos da rede social científica. A rede é composta de:

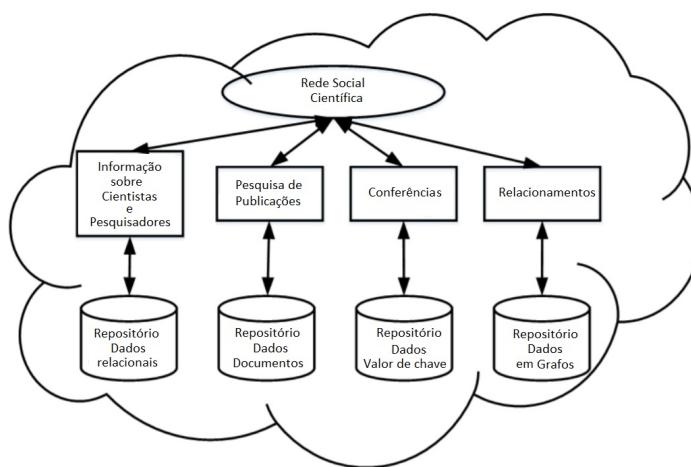


Figura 29 – Modelos de dados para bancos de dados NoSQL de uma rede social. Fonte: Adaptada de ([SEL-LAMI; DEFUDE, 2018](#))

- uma coleção que descreve os dados pessoais dos pesquisadores e suas afiliações armazenadas em um repositório de dados relacionais;
- uma coleção descrevendo artigos com seus metadados e texto completo armazenado em um repositório de dados de documentos;
- uma coleção descrevendo a classificação de conferências armazenadas em um armazenamento de dados de valores-chave;

- uma coleção que descreve os diferentes relacionamentos entre pesquisadores armazenados em um repositório de dados modelados como grafos.

### 2.4.3 GERENCIAMENTO DE DADOS

Na forma clássica existem duas maneiras básicas de gerenciar dados:

- *Sistema Tradicional de Arquivos*: gerenciado através de arquivos (GA). Neste gerenciamento de dados os arquivos separados de dados são criados e armazenados conforme cada aplicação conforme mostra o esquema das Figuras 30 e 31.

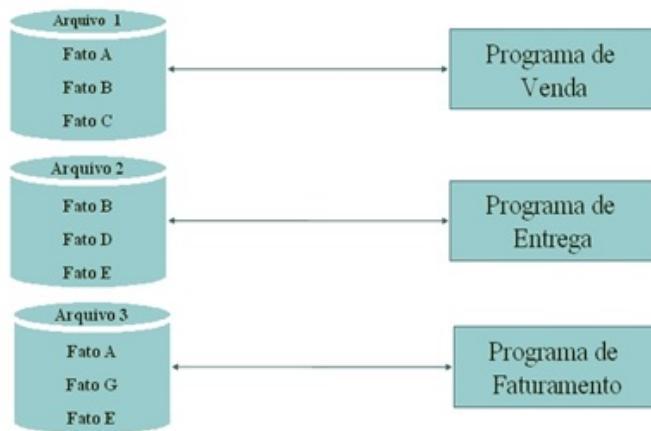


Figura 30 – Abordagem orientada a arquivos. Fonte: (ROMMEY; STEINBART, 2003)

As principais desvantagens no sistema de arquivos são:

- Redundância de dados: refere-se à presença de dados duplicados em múltiplos arquivos de dados. Por exemplo: nome e endereço de um funcionário é mantido e armazenado em diversos arquivos diferentes por vários sistemas diferentes. Programas separados terão de ser desenvolvidos para atualizar essas informações e mantê-las atualizadas em cada arquivo em que eles apareçam.
- Dependência de programas e dados: refere-se ao estreito relacionamento entre os dados armazenados em arquivos e os programas específicos necessários para atualizar e manter esses arquivos.
- Inconsistência dos dados: A inconsistência ocorre quando um mesmo campo tem valores diferentes em sistemas diferentes. Exemplo: o estado civil de uma pessoa é solteiro em um sistema e casado em outro. Isto ocorre porque houve atualização das informações em um arquivo e não no outro.
- Custos excessivos com softwares: resultam da criação, documentação e acompanhamento de muitos arquivos e aplicações diferentes, muitos dos quais contêm dados redundantes.

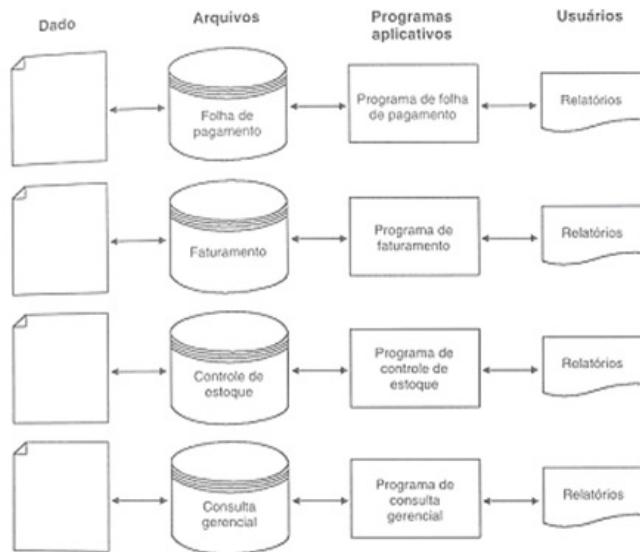


Figura 31 – Enfoque GA: onde um ou mais arquivos são criados para cada aplicativo (STAIR; REYNOLDS, 2002)

- *Sistemas baseados em Banco de Dados:* uma série de dados é compartilhada por múltiplas aplicações conforme mostra a Figura 32.

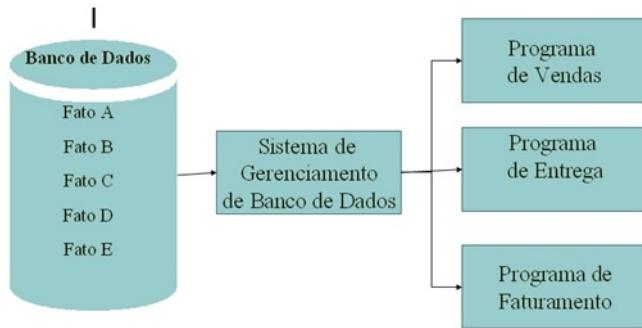


Figura 32 – Abordagem orientada a Banco de Dados. Fonte: (ROMMELY; STEINBART, 2003)

A abordagem de banco de dados é aquela em que um conjunto de dados relacionados é compartilhado por múltiplos programas aplicativos. Ao invés de utilizarem arquivos de dados separados, cada aplicativo utiliza uma coleção de arquivos de dados que se juntaram ou se inter-relacionaram no banco de dados conforme mostrado na Figura 33.

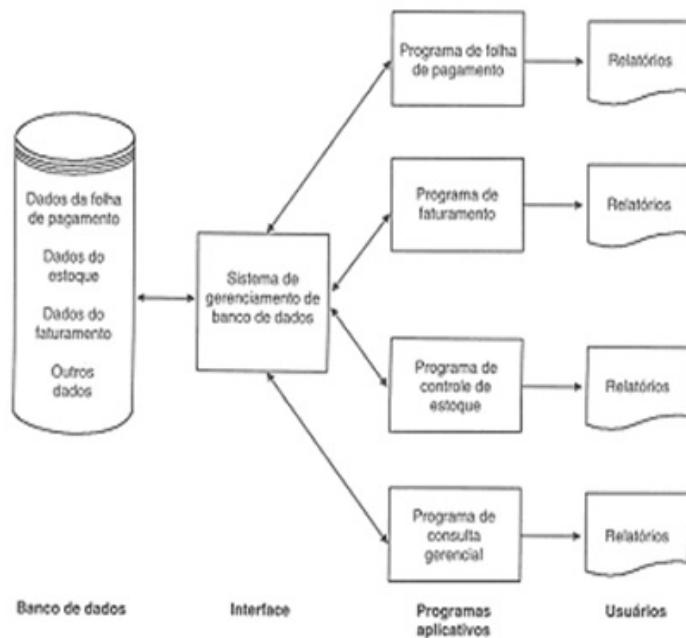


Figura 33 – Enfoque BD: Uso de Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados ([STAIR; REYNOLDS, 2002](#))

As principais vantagens do Banco de Dados são:

- Melhor controle de dados redundantes;
- Flexibilidade quanto ao uso dos dados na organização;
- Fácil localização e acesso;
- Padronização dos dados;
- Proteção aos dados;
- Compartilhamento de dados e recursos de informação.

As principais desvantagens do Banco de Dados são:

- Custo inicial alto para ambiente em grande porte;
- Equipe especializada para a criação e gerenciamento do banco de dados;
- Vulnerabilidade aumentada: por estarem localizados em um único local, se os métodos de segurança falharem os dados poderão ser acessados por invasores.

#### 2.4.4 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS (DBMS)

Um *Sistema Gerenciador de Banco de Dados* (SGBD) é um sistema de software genérico para manipular bancos de dados. Um SGBD admite:

- Uma visão lógica (esquema, subschema);

- Uma visão física (métodos de acesso, clustering de dados);
- Uma linguagem de definição de dados;
- Uma linguagem de manipulação de dados (SQL – Select, Insert, Update, Delete);
- Uma linguagem de controle de dados (SQL Grant, Revoke = acesso ao BD) e utilitários importantes, como gerenciamento de transação e controle de concorrência, integridade de dados, recuperação de falhas e segurança.

Consiste em um grupo de programas que pode ser usado como interface entre o banco de dados e o usuário ou um banco de dados e um programa aplicativo. Um banco de dados deve ser projetado para armazenar todos os dados relevantes para a empresa e fornecer acesso rápido e modificações fáceis.

#### 2.4.4.1 COMPONENTES DE UM DBMS

- Linguagem de definição de dados: define cada elemento de dado como ele aparece no banco de dados antes de ser convertido para a forma requerida pelos diversos programas aplicativos. Os programadores utilizam essa linguagem para desenvolver o banco de dados. Por exemplo, a SQL (Structured Query Language ou linguagem de consulta estruturada) tem um subconjunto de comandos para criar estruturas de dados. O comando Create Table cria a estrutura da tabela.
- Linguagem de manipulação dos dados: é uma ferramenta especial para manipular dados no banco de dados. A mais importante linguagem de manipulação é a SQL. As instruções da SQL Select, Insert, Update, Delete permitem selecionar, inserir, atualizar e eliminar dados da tabela, respectivamente.
- Linguagem de controle de dados: todo BD deve ter controle de acesso. Os comandos da SQL Grant e Revoke permitem que determinados usuários realizem tarefas especificadas e cancelam permissões previamente concedidas ou negadas, respectivamente.
- Dicionário de Dados: é um catálogo ou arquivo computadorizado contendo metadados, ou seja, dados sobre dados. Armazena definições de elementos de dados e outras características como padrões de utilização, propriedades, relacionamento entre os elementos de dados e segurança. Enfim, identifica para os usuários finais e para os especialistas empresariais quais os dados existem no banco de dados, sua estrutura e formato e sua utilização na empresa.

#### 2.4.4.2 BANCO DE DADOS RELACIONAL

Em 1970, enquanto trabalhava no Laboratório de Pesquisa da IBM em San Jose, Califórnia, Edgar Frank Codd publicou seu artigo, "A relational model of data for large shared data banks" ([CODD, 1970](#)). A tecnologia para todo o domínio de bancos de dados relacionais

emanou desse trabalho fundamental. Neste artigo, Codd "estabeleceu um conjunto de princípios abstratos para o gerenciamento de banco de dados: o chamado modelo relacional" (KIBERT; HOLLISTER, 1994). O modelo relacional, baseado no conjunto de matemáticas das relações da lógica de predicados de primeira ordem, abrange os três aspectos dos dados que qualquer SGBD deve abordar: estrutura, integridade e manipulação de bancos de dados relacionais (KIBERT; HOLLISTER, 1994).

Um banco de dados relacional é caracterizado por sua simplicidade de gerenciamento de dados, independência das visões lógicas do usuário da estrutura física de armazenamento de dados e disponibilidade de operadores relacionais simples, porém poderosos. Essas características se traduzem em uma coleção de tabelas compostas de linhas e colunas.

Uma Tabela (ou relação, ou entidade) é estrutura de linhas e colunas. Cada linha contém um mesmo conjunto de colunas. As tabelas associam-se entre si por meio de regras de relacionamentos, que consistem em associar um ou vários atributos de uma tabela com um ou vários atributos de outra tabela.

- Linhas (registros ou tuplas): Cada linha formada por uma lista ordenada de colunas representando um registro ou tupla.
- Colunas (atributos ou campos): as colunas de uma tabela são também chamadas de atributos. Ex.: O campo Nome.
- Campo-chave: As tabelas relacionam-se umas as outras através de chaves. Uma chave é um conjunto de um ou mais atributos que determinam a unicidade de cada registro.

A Figura 34 mostra uma tabela (entidade) e seus componentes.

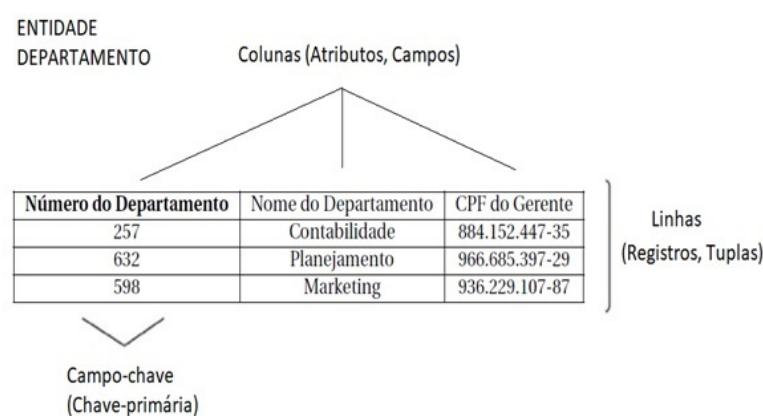


Figura 34 – Entidade Departamento

O campo *Numero do Departamento* pode indexar as Tabelas 1, 2 e 3 da subseção 2.4.2.3 para formar um BD.

A Figura 37 mostra as entidades (cliente e produto) e seu relacionamento (1:N). Um cliente pede (relacionamento) diversos produtos.

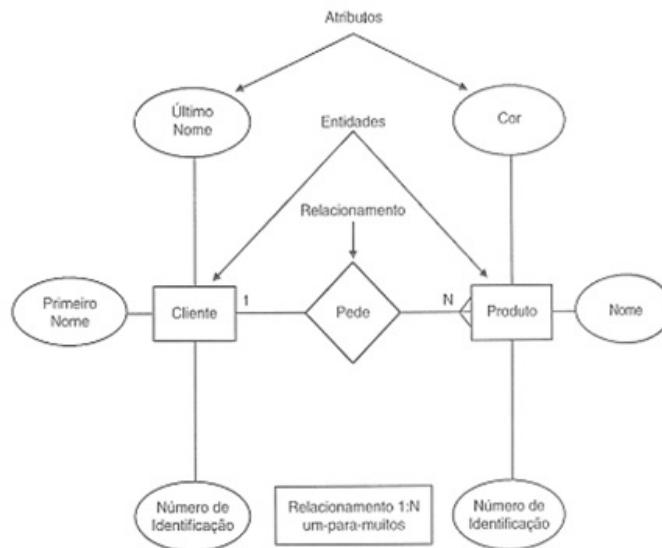


Figura 35 – Relacionamento entre Entidades. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002)

As entidades são colocadas em Tabelas conforme mostra a Figura 36.

ENTIDADE CLIENTE		
Numero de Identificação	Primeiro Nome	Último Nome
1	Tício	Fulano
2	Mévio	Beltrano
3	Caio	Sicrano

TABELAS

ENTIDADE PRODUTO		
Numero de Identificação	Nome	Cor
1	Telha	Cinza
2	Porta	Marrom
3	Janela	Verde

Figura 36 – Tabelas das Entidades. Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2002)

O relacionamento é definido por um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (Microsoft Access) com a definição do elemento comum às tabelas (número de identificação) conforme mostra a Figura 37.

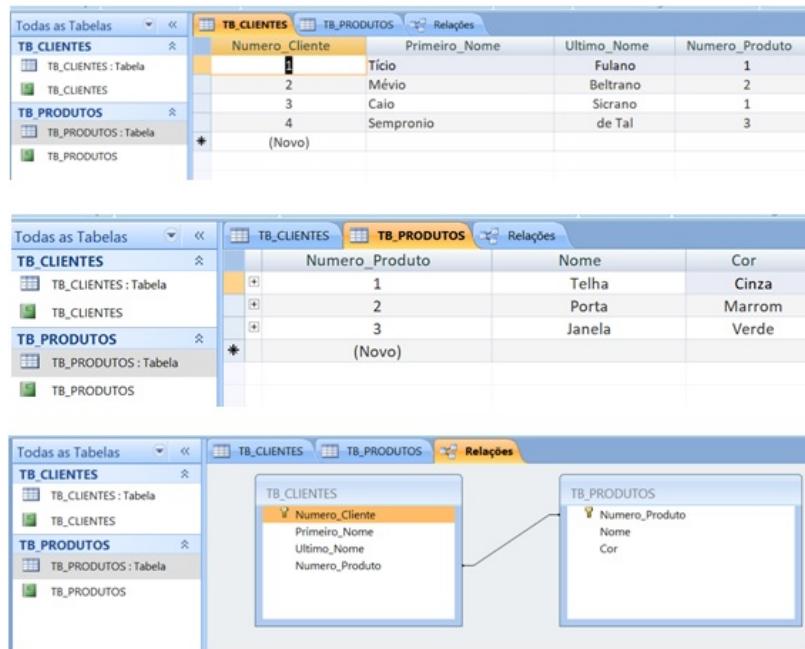


Figura 37 – Tabelas e Relacionamentos de um Banco de Dados

#### 2.4.4.3 SQL - LINGUAGEM DE CONSULTA ESTRUTURADA

A *Linguagem de Consulta Estruturada* (SQL, de Structured Query Language), relacional, fornece suporte para três funções gerais. Primeiro, o SQL atua como uma *Linguagem de Definição de Dados* (DDL, de Data Definition Language), usada para definir a estrutura de um banco de dados, incluindo linhas, colunas, tabelas, índices e características específicas do banco de dados, tal como localizações de arquivos. Por exemplo, a criação de uma Tabela Portas que contenha um índice, nome, fabricante e cor. Foram definidos os dados da tabela como: indexador id é um valor inteiro (INTEGER), nome da porta, fabricante, cor são dados em formato de caracteres (CHAR) de comprimento variável (50, 75, 15, respectivamente) e largura é um tipo numérico (NUMERIC). Pode ser feita com a seguinte declaração em SQL:

```
CREATE TABLE Portas (
    id          INTEGER
    nome        CHAR(50)
    fabricante  CHAR(75)
    cor         CHAR(15)
    largura     NUMERIC
);
```

Segundo, serve como uma *Linguagem de Manipulação de dados* (DML, de Data Manipulation Language), usada para modificar dados no banco de dados. Como uma Linguagem de Manipulação de Dados a SQL é utilizada para a recuperação, inclusão, remoção

e modificação de informações em bancos de dados. Por exemplo: a declaração SQL DELETE remove um ou mais registros em qualquer tabela simples de um banco de dados relacional. O comando DELETE excluirá linhas de uma Tabela Portas, se o valor da largura for menor que 80:

```
DELETE FROM Portas  
WHERE largura < 80;
```

Finalmente, SQL é uma *Linguagem de Controle de Dados* (DCL de Data Control Language), que controla os aspectos de autorização de dados e licenças de usuários para controlar quem tem acesso para ver ou manipular dados dentro do banco de dados. Por exemplo, o comando GRANT atribui privilégios de acesso do usuário a objetos do banco de dados. O exemplo abaixo mostra a atribuição de privilégios a usuária Maria na criação de tabelas de um banco de dados.

```
GRANT CREATE TABLE ON USER_MARIA;
```

O exemplo a seguir mostra a revogação de privilégios a Maria na criação de tabela em um banco de dados:

```
REVOKE CREATE TABLE ON USER_MARIA;
```

Ao fornecer essas três funções gerais, o SQL permite que processos sofisticados de gerenciamento de dados sejam executados em bancos de dados baseados em princípios altamente ortogonais, mas simples.

As ferramentas usadas para executar esses processos de gerenciamento de dados são denominadas operadores relacionais. Dentre os operadores suportados pelo modelo relacional são UNION, INTERSECTION, DIFFERENCE, PRODUCT, PROJECTION, JOIN e SELECT.

Desses operadores, apenas PRODUCT, PROJECTION, JOIN e SELECT podem ser executados em tabelas com estruturas diferentes.

Dois instrumentos adicionais fornecem pesquisa e construção de consultas no ambiente SQL: chaves e palavras-chave. Como as linhas em um banco de dados relacional são desordenadas e as pesquisas eficientes são de suprema importância, um dispositivo deve existir para localizar rapidamente os dados desejados. Este dispositivo, chamado de chave, executa esta função. Uma coluna ou colunas individuais podem ser designadas como a (s) chave (s) para uma tabela específica, o que requer que cada valor na coluna da chave seja exclusivo. Isso garante que a pesquisa no banco de dados ocorra de maneira conveniente e não aleatória. Por fim, como a maioria das linguagens de programação, o SQL mantém uma lista de várias palavras que não podem ser usadas em tabelas ou nomes de colunas (por exemplo, ALL, AND, ANY, AS, NUMERIC, BETWEEN, USER, UPDATE, entre outras). Uma lista de palavras-chaves pode ser encontrada em ([CODD, 1970](#)).

Vários esforços foram direcionados para definir extensões da SQL, particularmente na representação de dados espaciais, dedicados à Construção Civil. Na década de 1980 iniciaram-os trabalhos de desenvolvimento de extensões da SQL para abranger o tratamento de relações espaciais e o uso de uma lista de imagens para gerenciar a saída gráfica. Roussopoulos apud (KIBERT; HOLLISTER, 1994) desenvolveu o PSQL (Pictorial SQL), no qual duas cláusulas foram adicionadas ao construto SELECT-FROM-WHERE. Em 1987, Ingram apud (KIBERT; HOLLISTER, 1994) adicionou extensões de sintaxe ao SQL para atender às necessidades dos sistemas de informações geográficas. Em meados da década de 1990, Kibert (KIBERT; HOLLISTER, 1994) propõe o CI-SQL inicia o processo de colmar a lacuna entre os dados da construção e o profissional da construção desenvolvendo interface do usuário para consultas SQL.

Além de fornecer funções específicas da construção incorporadas, uma das mais desejáveis extensões ao SQL é a capacidade de criar tipos de dados, objetos e funções específicos da construção definidos pelo usuário. Devido à natureza especializada de bancos de dados e consultas de construção, a capacidade de construir e reutilizar funções específicas de aplicativos é de enorme benefício para o usuário final. Ao fornecer esse recurso, as consultas podem ser adaptadas aos bancos de dados da indústria da construção, bem como às necessidades individuais de consulta do usuário. Durante a fase de um projeto de construção, as especificações são criadas para detalhar os materiais e métodos a serem utilizados para fornecer o nível de qualidade desejado. No processo de criação dessas especificações, o projetista pode enumerar literalmente milhares de produtos ou materiais e as características particulares que estes devem possuir. A natureza desse processo se presta muito bem ao uso da digitação de dados do objeto, uma vez que eles possuem atributos exatamente como os objetos físicos que representam.

Como o objetivo do SQL é a recuperação de informações, quanto mais um usuário possa personalizar uma linguagem consulta para atender às suas necessidades informacionais, mais poderosa ela se torna. Assim, segundo (KIBERT; HOLLISTER, 1994) "o objetivo é tornar a modelagem da informação a mais direta e natural possível e superar a incompatibilidade de impedâncias com linguagens de programação.

A etapa inicial da criação de uma função definida pelo usuário é manter as propriedades do objeto no SGDB orientado a objetos. Esta etapa cria o modelo ou classe a partir da qual outros objetos com as mesmas propriedades podem ser criadas. No exemplo, vários dos atributos críticos das portas de madeira são usados para criar o tipo de objeto Porta\_madeira. No exemplo a seguir o atributo Fabricante é definido como uma sequência de caracteres de até quinze caracteres (CHAR (15)):

```
CREATE type Porta_madeira  
(Fabricante CHAR(15),  
Modelo# CHAR(10),  
Face_material CHAR(20),  
Núcleo_material CHAR(20),
```

```
Borda_material CHAR(20));
```

Depois que o tipo de objeto é criado, o usuário é capaz de criar objetos ou instâncias reais de tipos de objeto. Aqui, uma instância madeira\_Porta é criada da seguinte maneira:

```
CREATE madeira_Porta
```

```
Instance('Maciça', 'Aglomerada', 'Sarrafizada', 'Laminada', 'Multi-laminada')
```

Esse processo de criação de uma instância (tipo) de madeira da porta, como em qualquer tipo de objeto, é parecida com a inserção de uma linha em um convencional tabela relacional. No entanto, em vez de usar a palavra-chave INSERT, CREATE é usado o conceito de "criar"uma instância ou objeto. Para cada dos atributos definidos na criação do tipo de objeto ou classe, o comando da instância insere os valores subsequentes na definição de parâmetros do tipo.

Para especificar as portas em um projeto com base nos materiais que compõem a face, o núcleo e a borda ou o estilo da porta, uma função permitirá a pesquisa no banco de dados da construção e a recuperação de todos os produtos que atendam aos critérios. O exemplo a seguir mostra a criação de uma função em SQL para a seleção de um tipo de porta de um fabricante:

```
CREATE function seleciona_porta (face, núcleo, borda)
as
SELECT fabricante, modelo#
FROM Portas Portal
WHERE face_material = face
AND núcleo_material = núcleo
AND borda_material = borda
```

Ao especificar os argumentos face, núcleo e borda, essa função retornaria o modelo de todos os produtos no banco de dados do fabricante Portas Portal que atendam aos critérios fornecidos.

Vamos a um exemplo de consulta em um banco de dados. Imagine que uma construtora está oferecendo um serviço de expansão de uma escola. O engenheiro determinou, a partir do projeto que dezesseis portas de madeira deverão ser fornecidas para uma ala da escola. Essas portas devem ter as seguintes características:

- (1) Porta Maciça
- (2) 3,5 cm de espessura
- (3) 0,80 m de largura
- (4) Batente de 3 cm
- (5) Custo unitário inferior a R\$ 500,00

(6) Acabamento Primeira

(7) Fabricantes aceitáveis são:

- (a) Portas Curumin
- (b) BH Portas
- (c) Portal Produtos
- (d) Portas MDF

Com base nessas informações, o engenheiro construiu uma consulta para pesquisar no banco de dados sobre todas as portas que correspondem às especificações acima. A consulta foi estruturada como mostrado abaixo:

```
SELECT fabricante, modelo, custo
FROM Portas_Madeiras
WHERE tipo 'Maciça'
AND Espessura '3,5 cm'
AND Largura '0,80 m'
AND Batente '3 cm'
AND Custo < 500
AND Acabamento 'Primeira'
AND Fabricante 'Portas Curumin' OR 'BH Portas' OR 'Portal
Produtos' OR 'Portas MDF'
AND Quantidade_estoque >= 16
ORDER BY Fabricante, Model
```

O resultado desta consulta poderia ser:

Fabricante	Modelo	Custo
BH Portas	B-01	180,50
Portal Produtos	P-11	202,80
Portas Curumin	C-210	228,50
Portas Curumin	C- 220	244,60
Portas Curumin	C- 230	249,85
Portas MDF	MD 120	190,90

A simples organização dos dados não atende suficientemente às necessidades de informações do profissional da construção. Tornou-se necessário utilizar bancos de dados que não sigam somente o modelo relacional.

#### 2.4.5 BANCO DE DADOS BIM

O BIM requer um banco de dados incluindo propriedades semânticas e de objetos para criar e gerenciar informações significativas sobre a construção. Os pacotes de software BIM permitem que os usuários colaborem eletronicamente em diferentes níveis com a troca de informações digitais.

A Figura 38 mostra um esquema representando a interconexão entre o modelo BIM, um sistema de dados e uma plataforma de gerenciamento da web.

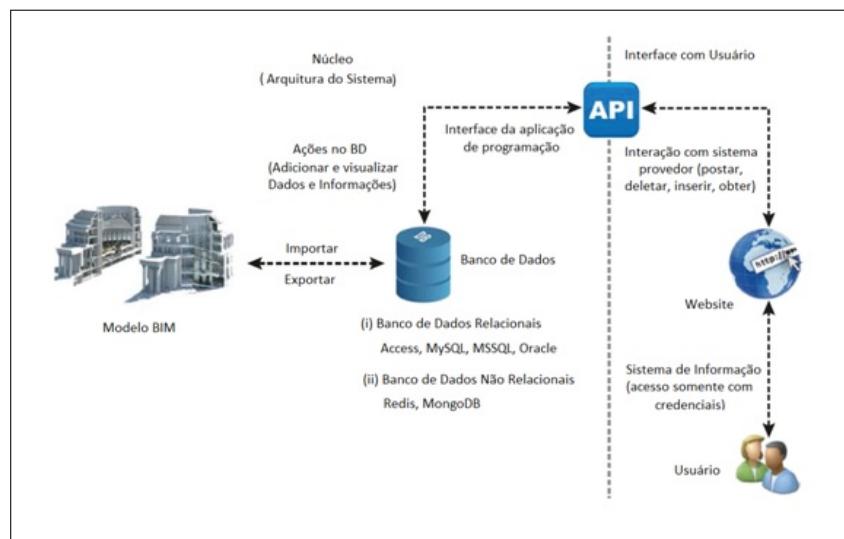


Figura 38 – Esquema geral de modelagem, armazenamento, processamento e compartilhamento da informação em BIM. Fonte: Adaptada de (RODRIGUES et al., 2019)

Em BIM cria-se um banco de dados de informações usando todos os dados inseridos simultaneamente com sua representação 3D. A Figura 39 mostra como se dá o fluxo da informação de um modelo BIM.

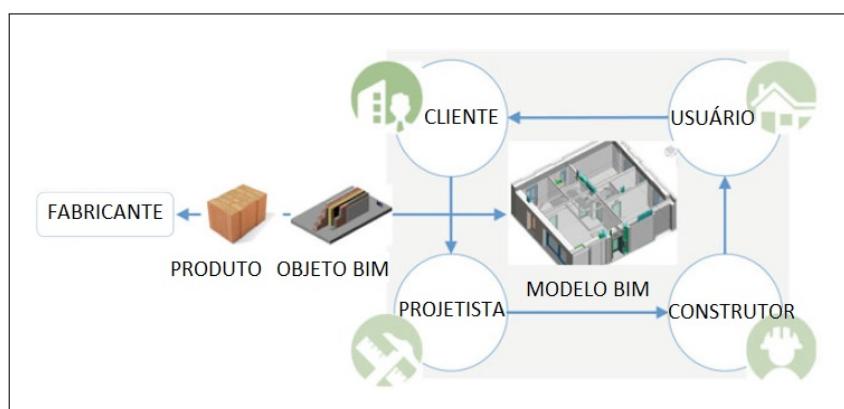


Figura 39 – Fluxo da Informação de um Modelo BIM. Fonte: Adaptada de (PAVAN et al., 2020b)

Os modelos BIM fornecem um conjunto de informações sobre os produtos de construção. Na geometria 3D de um sistema de construção o produto, por exemplo, é um subconjunto essencial do BIM. No Autodesk Revit, cada componente do modelo é referido como

um elemento de construção. Um elemento de construção é um modelo de geometria 3D que faz parte da construção. Exemplos de elementos de construção incluem paredes, janelas, portas e telhados, etc (AN et al., 2020).

A Figura 40 mostra um exemplo de um fluxo de trabalho de uso de um plug-in da ferramenta de autoria Autodesk Revit para gerenciar a composição dos objetos tridimensionais e as informações relacionadas a estes. A extensão RFA é de um arquivo de família do Revit. Um arquivo de família é um grupo de elementos com propriedades comuns (parâmetros) e a representação gráfica relacionada. As variações na família são chamadas de modelos de tipos. Esses arquivos RFA são geralmente classificados como arquivos de dados que contêm um ou mais modelos 3D que podem ser importados para uma cena tridimensional e são criados e salvos usando o editor de família do Revit. Um plugin ou módulo de extensão (também conhecido por plug-in, add-in, add-on) é um programa de computador usado para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica. Neste caso, o plugin é utilizado para acessar um banco de dados com informações sobre objetos BIM de uma família no Revit. O objeto digital (muitas vezes chamado simplesmente de "Objeto BIM") contém as características técnicas do produto (geometria, desempenhos, áreas de uso), mas uma das principais vantagens é o fato de não ser apenas um mero recipiente de informação. Todo objeto BIM, para ser considerado realmente como tal, deve ter requisitos muito específicos, como o tamanho em kB, a coerência dos atributos informativos com o modelo tridimensional, o nível de detalhe diferenciado de acordo com o objeto e a escala de nível de detalhamento LOD (Level of Detail)(PAVAN et al., 2020a).

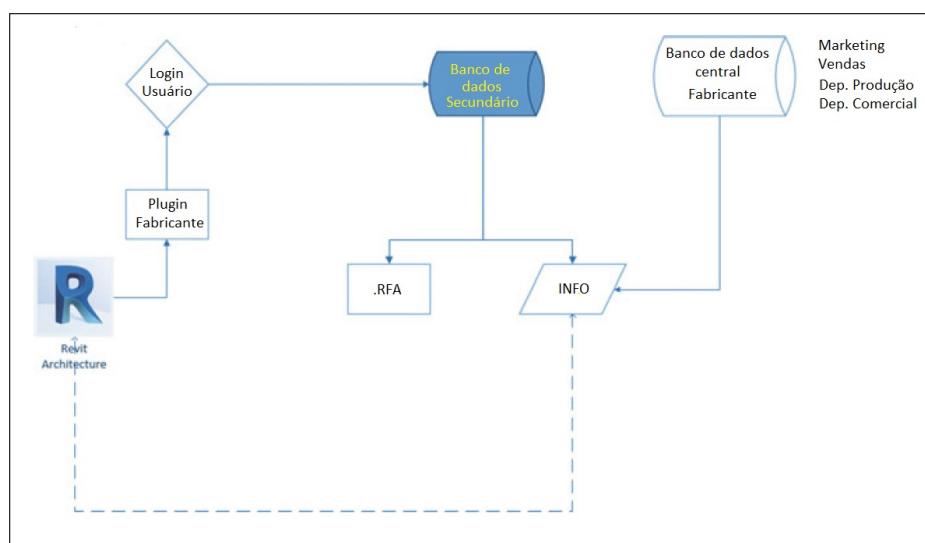


Figura 40 – Workflow de um Plugin Revit. Fonte: Adaptada de (PAVAN et al., 2020a)

## 2.5 MODELAGEM SEMÂNTICA DA INFORMAÇÃO

Vamos começar com uma frase ... "Uma sábia não sabia onde estava o sabiá...". Observamos a palavra "sabia" em três formas com diferenciação sintática que nos permite

compreender sua semântica. Em outros casos, entender a semântica de algo é independente da sintaxe, pois dependerá do contexto. Segundo (ALMEIDA, 2001) a base do estado cognitivo se desenvolve no entendimento de um significado que depende do contexto. Observando-se dois exemplos do uso da palavra "manga", o primeiro no contexto das frutas e segundo no contexto das roupas. As duas pessoas (P1 e P2) utilizam palavras sintaticamente iguais, mas de diferentes significados:

1. Uso da palavra "manga" em um diálogo em uma feira de hortaliças e verduras:

- P1: *Esta manga está boa?*
- P2: Uma delícia... vai levar uma?
- P1: Não, muito obrigada, prefiro levar abacate.

2. Uso da palavra "manga" em um diálogo em uma alfaiataria:

- P1: *Esta manga está boa?*
- P2: Acho que você pode diminuir um pouco mais...
- P1: Não vou diminuir demais porque não se usa mais mangas de camisas tão curtas!

Nos exemplos anteriores, o contexto é muito importante para eliminar ambiguidades. A semântica muda com o contexto. No computador a eliminação das ambiguidades é essencial, pois máquinas não são perspicazes em entendimento de significados dependendo do contexto. É necessário operar isso...

A Semântica (do grego *sēmantiká*, plural neutro de *sēmantikós*, derivado de *sema*, sinal) é o estudo do significado. Incide sobre a relação entre significantes, tais como palavras, frases, sinais e símbolos, e o que eles representam, a sua denotação.

Em distinção à Teoria da Comunicação, que trata a quantidade de informação como uma medida estatística de uma mensagem, na Teoria da Informação Semântica, a informação transmitida por uma frase em um determinado sistema de linguagem é tratada como sinônimo. Os conceitos de informação e quantidade de informação são distintos. A explicação desses conceitos é tentada apenas na medida em que se aplicam a sentenças (declarativas) ou, alternativamente, as proposições.

A teoria predominante da comunicação (ou transmissão de informações) negligencia deliberadamente os aspectos semânticos da comunicação, ou seja, o significado das mensagens. A teoria da informação semântica pode ser identificada com uma teoria da informação pragmática para um receptor "ideal".

Carnap (CARNAP, 1952) distingue a informação (ou conteúdo) e quantidade de informação. Sua teoria pressupõe que a um sistema de linguagem são aplicados às sentenças conceitos semânticos, intimamente ligados a lógica indutiva. Em vez de lidar com as informações transmitidas por letras, ondas sonoras e similares. Carnap (CARNAP, 1952) aborda as informações transmitidas por frases e sequências de letras (ou ondas sonoras

etc.) pela forma na qual foi transmitida. A situação é semelhante à que prevalece em relação ao conceito de verdade, que é usado pré-sistematicamente como aplicação não apenas a sentenças ou proposições, mas também a muitas outras entidades, como conceitos e ideias.

A semântica ajuda na interpretação dos aspectos detalhados da implementação do BIM, especialmente os aspectos não discerníveis visualmente através de uma apresentação 3D em computador. Em BIM ambiguidades podem ser desastrosas. A semântica explica o que um componente BIM foi, é e será. Como a semântica na linguística e filosofia, a semântica em BIM compreende os significados e as relações dos elementos BIM (por exemplo, materiais como madeira, componentes como portas e subsistemas como elevadores).

A Semântica em BIM inclui todas as informações sobre escopos, requisitos, projeto (por exemplo, propriedades geométricas, mecânicas, térmicas e materiais), produção, cronograma, planejamento, manutenção, alteração e demolição de uma construção. (ou seja, todo ciclo de vida da construção).

Os significados, tal como o objetivo de uma função, a geometria e marcas temporais (timestamps<sup>1</sup>) no ciclo de vida de um componente, descrevem explicitamente o que é ou será. A Figura 41 apresenta as propriedades de uma parede de concreto.

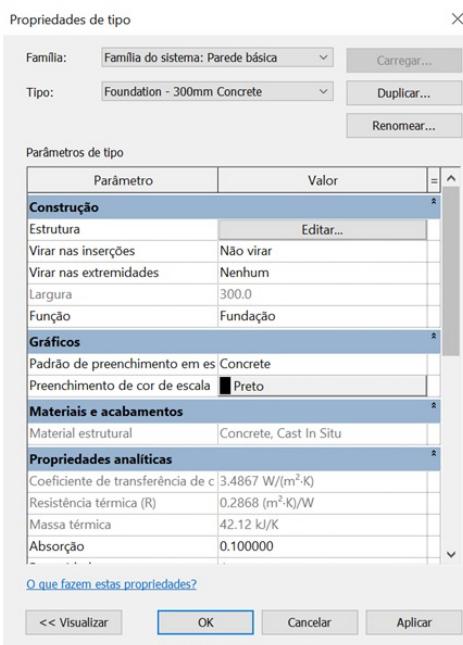


Figura 41 – Propriedades de uma parede de concreto (LU; LAI; TSE, 2019)

O significado de uma parede externa, por exemplo, geralmente pode ser gravada como uma lista de propriedades em um software BIM, como mostra a Figura 41. Uma ferramenta de autoria BIM geralmente possui uma lista de propriedades de conjunto limitada,

<sup>1</sup> Uma marca temporal, estampa de tempo ou timestamp é uma cadeia de caracteres denotando a hora ou data que certo evento ocorreu. No campo de bancos de dados, alguns sistemas gerenciadores armazenam marcas temporais com alta precisão, em frações menores que segundos, uma característica importante em caso de acesso concorrente dos dados.

mas os usuários podem inserir propriedades adicionais para determinados finalidades conforme necessário segundo pode ser encontrado no trabalho de (LU; LAI; TSE, 2019).

Em geral, as ferramentas de autoria BIM abrangem principalmente as relações espaciais como junção, agrupamento e contenção. Outros relacionamentos como dependência no cronograma e relacionamentos funcionais no serviço que podem não estar inclusos na fase de modelagem com o software BIM requerem que o usuário gerencie esses tipos de relacionamento por conta própria (LU; LAI; TSE, 2019).

A título de exemplo, a Tabela 4 obtida do trabalho de (LU; LAI; TSE, 2019) apresenta alguns tipos de relacionamentos que podem ser estabelecidos entre elementos BIM para lhes oferecer semântica.

Relacionamentos					
Abortar	Comunicar	Documentar	Implementar	Parar	Resultar
Adotar	Conduzir	Edificar	Impor	Parcelar	Retroceder
Adquirir	Confirmar	Empoderar	Incentivar	Participar em	Rever
Agregar	Conhecer	Entregar	Informar	Permitir	Revisar
Agrupar	Construir	Envolver	Inicializar	Pesquisar	Rodar
Alimentar	Contactar	Escolher	Iniciar	Planejar	Seguir
Amostrar	Conter	Escrever	Integrar	Preencher	Selecionar
Anexar	Controlar	Estabelecer	Intercambiar	Preparar	Simular
Apropriar	Coordenar	Estimar	Juntar	Prescrever	Substituir
Arranjar	Criar	Explodir	Ligar a	Priorizar	Ter Parte
Atualizar	Delimitar	Extrair	Localizar	Produzir	Ter Recurso
Aumentar	Demolir	Facilitar	Maximizar	Provar	Testar
Avaliar	Demonstrar	Fazer	Medir	Providenciar	Traçar
Capturar	Descrever	Formatar	Melhorar	Qualificar	Transmitir
Causar	Deselecionar	Funcionar como	Minimizar	Quantificar	Treinar
Certificar	Desempenhar	Gerar	Misturar	Receber	Trilhar
Classificar	Desenvolver	Gerenciar	Monitorar	Recomendar	Trocar
Colaborar	Detectar	Guia	Montar	Recuperar	Usar
Coletar	Determinar	Identificar	Notificar	Regular	Validar
Compartilhar	Diminuir	Ignorar	Observar	Rejeitar	Verificar
Completar	Dividir	Impelir	Operar	Requisitar	Visualizar

Tabela 4 – Relacionamento entre elementos BIM. Fonte: Adaptada de (LU; LAI; TSE, 2019)

O nível de detalhamento (LOD) é um conceito adotado para descrever a riqueza de informações de um modelo BIM, sendo definido pela quantidade de informações sobre a construção e que trazem também o significado aos elementos quando estes são modelados sintáticamente e semanticamente. Neste sentido, podemos considerar o termo BIM como um modelo de construção 3D virtual que se integra a um banco de dados dos elementos de uma construção. Entretanto, não podemos nos esquecer que o uso de ferramentas BIM não somente implica na definição de um modelo virtual, mas inclui além dos gráficos, dados, informações e relacionamentos sobre componentes de uma construção definindo também seus significados.

# Sistemas de Informação

*"Erros ao usar dados inadequados  
são muito menores do que aqueles  
que não usam dados"*

*Charles Babbage*

A aplicação do BIM considerando os aspectos do projeto e da operação das construções pode ser considerada, de maneira abrangente, como o processamento de dados e informações que modelam e representam uma construção.

A conceitualização de dados, informações e conhecimento foram abordadas no Capítulo 1. A apresentação da modelagem da informação nas suas formas sintática e semântica foram mostradas no Capítulo 2. Este Capítulo 3 trata do processamento, ou seja, da transformação dos dados, informações e conhecimento. Inicialmente são apresentados os Sistemas de Informações (SI) gerais. Em seguida são mostradas as funcionalidades dos SI no processamento de transações (SPT), na informação gerencial (SIG) e no auxílio à decisão (SSD). Dentro dos sistemas de suporte à decisão destacamos os Sistemas de Informações Inteligentes ou de Conhecimento (SC) dotados de Inteligência Artificial.

## 3.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SI)

É um tipo especializado de sistema que pode ser definido de inúmeros modos. Um Sistema de Informação (SI) é uma série de elementos ou componentes inter-relacionados que coletam (entrada), manipulam e armazenam (processo) e disseminam (saída) de dados e informações e fornecem um mecanismo de realimentação (feedback) conforme mostra a Figura 42.

Seus elementos funcionais são divididos em:

- Entrada: captação de dados primários e informações geradas por outros sistemas;
- Processamento: envolve a conversão ou transformação dos dados em saídas úteis. Envolve cálculos, comparações e tomadas de ações, armazenamento de dados;

- Saída: envolve a produção de informações úteis, geralmente na forma de documentos, relatórios, dados de transações, etc;
- Realimentação (feedback): é uma saída usada para fazer ajustes ou modificações nas atividades de entrada ou processamento.

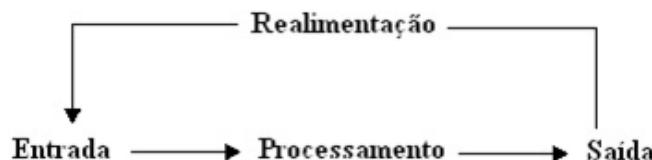


Figura 42 – Sistema de Informação

Formalmente os Sistemas de Informação (SI) são definidos como:

$$SI = \langle D, A, F, M, R, V \rangle$$

Onde:

$D$  = conjunto de dados

$A$  = atributos considerados relevantes e disponíveis na base

$F$  = Dados oriundos de uma fonte de dados

$M$  = memória de alocação de dados

$R$  = regras de combinação de dados

$V$  = conjunto de visões sobre dados manipulados

Muitas vezes o SI é definido apenas pelo par

$$\langle D, A \rangle$$

Os SI podem ser:

- Manuais
- Computadorizados (CBIS – Computer-based information system).

A Tecnologia da Informação é a integração de computadores, equipamentos de comunicação e outras utilizadas nos Sistemas de Informação.

Todos os sistemas de informação utilizam recursos humanos, de hardware, software, dados e rede para executar atividades de entrada, processamento, saída, armazenamento e controle que transformam recursos de dados em produtos de informação.

- Recursos Humanos: constituídos de pessoas necessárias para operação dos SI. Os especialistas – operam e desenvolvem os sistemas (analistas de sistemas, programadores, operadores de computador) e usuários finais que utilizam o sistema ou a informação que ele produz: todos demais que utilizam SI.

- Recursos de Hardware: compostos de Sistemas de computadores (microcomputadores, computadores de médio e grande porte, portáteis, dispositivos móveis) e Periféricos de computador (dispositivos para entrada/saída de dados, periféricos de armazenamento, periféricos de comunicação).
- Recursos de Software: inclui todos os conjuntos de instruções de processamento da informação e os programas que dirigem e controlam o hardware e os procedimentos requisitados pelos usuários. A Figura 43 sumariza os recursos de software.

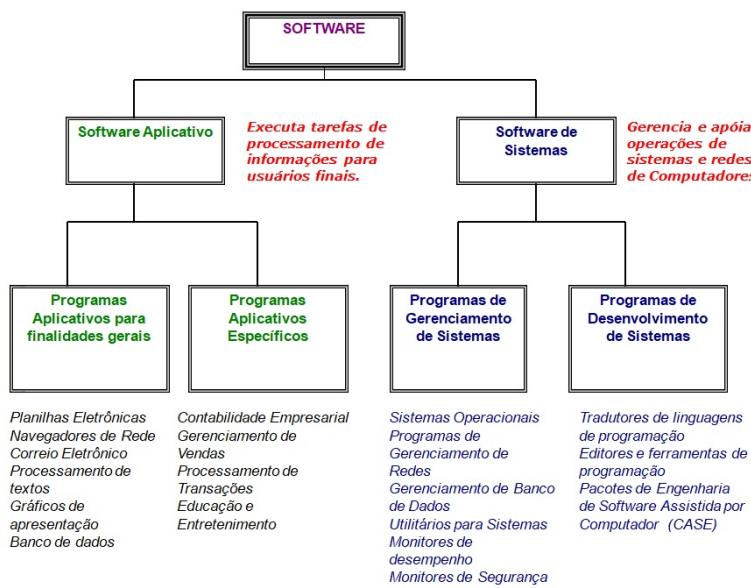


Figura 43 – Recursos de Software. Fonte: Adaptada de (GUPTA, 2003)

- Recursos de Dados: é um conceito ampliado por gerentes e profissionais de sistemas de informação que consideram os dados como recursos que devem ser efetivamente administrados.
- Recursos de Rede: enfatiza que as redes de comunicações são um componente de recurso fundamental de todos os sistemas e informação para conectividade, compartilhamento.

### 3.2 SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE TRANSAÇÕES (SPT)

Uma transação é qualquer troca relacionada com o negócio, tais como controle de estoque, pedidos de clientes, pedidos de compras, recibos, faturas, cartões de ponto, vendas, pagamentos, troca eletrônica de dados e informações. Por exemplo, em ferramentas de autoria BIM temos transações em nível de arquivo e em nível de objeto modelado.

Uma transação em nível de arquivo é um método para salvar o arquivo de um modelo inteiro como uma única informação. Um exemplo é o armazenamento do modelo de um

projeto BIM como um arquivo (\*.rvt, \*.dgn, \*.pln e \*.ifc). Já a transação em nível de objeto é um método para analisar e salvar objetos do modelo (por exemplo, coluna, viga e laje).

BIM faz uso dos Sistemas de Processamento de Transações (SPT) tanto na produção de transações de arquivos e objetos como no compartilhamento de dados e informações do trabalho colaborativo envolvendo diferentes profissionais. Os SPT, as ferramentas de trabalho cooperativo auxiliado por computador (CSCW, de "Computer Supported Cooperative Work") e os Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP, "Enterprise Resource Planning") são SI importantes nas operações em BIM. Além da produção e do fluxo da informação os projetos BIM possuem inúmeras transações tais como: gerenciamento de documentos (arquivos de modelo e referências relacionadas ao projeto), rastreamento de contrato, controle de versão, recursos de pesquisa, gerenciamento de "design", gerenciamento de usuários, notificações de ordens de serviço, problemas de "design" e Requisição de Propostas (RFI), geração e gerenciamento de transmissões, atas de reuniões, ordens de serviço, requisições de mudanças, gestão de fluxo de trabalho e painéis de gerenciamento de projetos, etc.

Segundo Stair ([STAIR; REYNOLDS, 2015](#)) os primeiros SPT eram utilizados para redução de custos automatizando muitas rotinas em sistemas empresariais de trabalho intenso. Um SPT é um conjunto organizado de pessoas, procedimentos, software, bancos de dados e equipamentos utilizados para efetuar e registrar transações ([O'BRIEN; MARAKAS, 2010](#)).

No âmbito dos SPT tem-se os sistemas ERP. Um ERP é um conjunto de programas integrados que gerencia as operações vitais de negócios para os múltiplos locais de uma organização. Um ERP pode ser definido como "*um sistema de informação adquirido na forma de pacotes comerciais de software que permitem a integração entre dados dos sistemas de informações transacionais e dos processos de negócios de uma organização*" ([CAICARA, 2012](#)).

Um ERP tem como finalidade organizar, padronizar e integrar as informações transacionais que circulam nas organizações. O objetivo principal de um ERP é a integração dos dados organizacionais e sua disponibilidade em tempo real. Para isso, opera por meio de um banco de dados único, que é compartilhado por todas as aplicações, desde que o usuário tenha permissão de acesso.

A Figura 44 mostra o ciclo de processamento em um SPT. Na entrada de dados é feita a obtenção e reunião de todos os dados necessários para completar as transações. Por exemplo, entradas de pedido de clientes, entrada de dados com leitor de códigos de barras (automatização da fonte de dados), cartões magnéticos de ponto, etc. O processamento de transações pode ser feito das seguintes formas:

- Em lotes: as transações são coletadas em grupos e processadas em conjunto. As transações ficam acumuladas durante um período de tempo. Existe atraso entre a ocorrência do evento e o processamento da transação para a atualização dos registros da organização.

- OLTP – On Line Transaction Process – processamento em tempo real: cada transação é executada imediatamente, sem o atraso. Tão logo a entrada esteja disponível um programa de computador executa o processamento e a atualização dos registros afetados por aquela única transação. Consequentemente, os dados refletem o status atual.

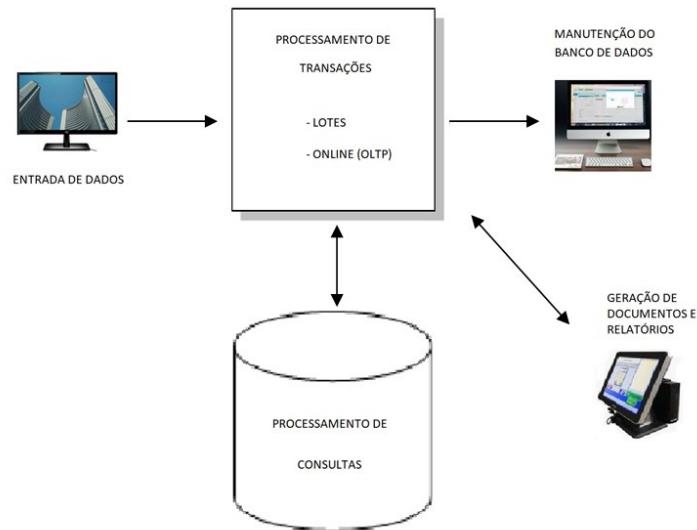


Figura 44 – Ciclo de Processamento de um SPT

A manutenção do Banco de Dados envolve armazenamento e atualização de um ou mais banco de dados com novas transações. Os BD podem ser considerados “subproduto” para acesso posterior e tomadas de decisões através da geração de consultas e relatórios em um Sistema de Informação Gerencial (SIG).

O que auxilia no gerenciamento dos projetos colaborativos é o trabalho cooperativo suportado por computador. O CSCW são sistemas de apoio às operações e transações que se referem ao campo de estudo que examina o projeto, adoção e uso de tecnologias de trabalho em grupo. O CSCW permite a integração entre diferentes tarefas, integração de componentes de tarefas distintas que pode reduzir a distância (gap) entre componentes de diferentes aplicações, permitindo uma visão maior e mais flexível de uma ferramenta. As ferramentas CSCW também denominadas de "Groupware" incluem mensagens eletrônicas, compartilhamento da informação, áudio-conferência, vídeo-conferência, suporte de Encontro Eletrônico, agendamento de tarefas, calendário de grupo, gerenciamento de fluxo de dados, entre outros (O'BRIEN; MARAKAS, 2010).

Atualmente, a maioria dos sistemas de gerenciamento de projetos colaborativos BIM são sistemas de gerenciamento em nível de arquivo com suporte na Web ou na nuvem. Muitos deles passaram de um sistema Web simples para um sistema SaaS (software como serviço) que suporta ambientes da Web com ferramentas de CSCW e armazenamento em nuvem ("cloud").

### 3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GERENCIAL (SIG)

Os Sistemas de Informação Gerencial (SIG) começaram a serem desenvolvidos na década de 60 e são caracterizados pelo uso de sistemas de informação para produzir relatórios gerenciais padrão gerados com dados e informações do SPT ou dos ERP.

Estes relatórios ajudam gestores a executar suas funções. Por exemplo, um relatório resumido dos custos totais de uma folha de pagamento ajuda um gerente de contabilidade a prever custos futuros. Esse mesmo relatório pode ser útil para o monitoramento e controle de custos do trabalho e das tarefas. Outros relatórios podem ser usados para auxílio a diferentes departamentos no controle de crédito dos clientes, pagamentos a fornecedores, desempenho dos representantes de vendas, níveis de estoque, entre outros.

O SIG é um conjunto organizado de pessoas, procedimentos, softwares, banco de dados e equipamentos que fornecem informações de rotina para gerentes e tomadores de decisão. É uma coleção integrada de sistemas de informações funcionais, cada qual suportando determinadas áreas da empresa. Cada área funcional recebe relatórios com informações focalizadas nas necessidades particulares de cada grupo.

*"Um SIG concentra-se na eficiência operacional. As áreas de manufatura, marketing, produção, finanças e outros setores funcionais são apoiadas pelo SIG e conectadas por meio de um banco de dados em comum. Provê aos gestores, não só a informação e suporte para a tomada de decisão, bem como respostas às operações diárias, agregando valor aos processos da organização"* (STAIR; REYNOLDS, 2015).

A primazia dos SIG é o oferecimento de relatórios. Os principais relatórios de um SIG são:

- **Programados:** Produzidos periodicamente de acordo com o agendamento diário, semanal, mensal, etc. Ex: relatório diário de vendas (Figura 45), relatório semanal de custos de folha de pagamento.

Relatórios programados						
Relatório diário de vendas						Preparado em: 8/10/08
Pedido #	Identidade do cliente	Identidade do vendedor	Planejado	Quantidade	Item #	Valor
P12453	C89321	CAR	08/12/08	144	P1234	\$ 3.214
P12453	C89321	CAR	08/12/08	288	P3214	\$ 5.660
P12454	C03214	GWA	08/13/08	12	P4902	\$ 1.224
P12455	C52313	SAK	08/12/08	24	P4012	\$ 2.448
P12456	C34123	JMW	08/13/08	144	P3214	\$ 720

Figura 45 – Relatório Programado. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015)

- **Indicadores-chave:** resumem atividades críticas para ações corretivas e emergenciais. Ex: relatórios de nível de estoque no início de jornada de trabalho, relatório de volume de vendas (Figura 46).

Relatório de indicadores-chave de vendas diárias			
Relatório diário de indicadores-chave de vendas			
	Este mês	Último mês	Este ano
Total de pedidos no mês até hoje	\$ 1.808	\$ 1.694	\$ 1.914
Vendas previstas para o mês	\$ 2.406	\$ 2.224	\$ 2.608

Figura 46 – Relatório Indicador-chave. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015)

- **Demand**: Produzidos sob demanda de acordo com as exigências (solicitações) da gerência. Ex: nível de produção de um item em particular, relatório de horas trabalhadas de um empregado, relatório de vendas diárias por vendedor (Figura 47).

Relatórios sob demanda	
Vendas diárias por vendedor Relatório resumido	
ID do vendedor	Valor
CAR	\$ 42.345
GWA	\$ 38.950
SAK	\$ 22.100
JWN	\$ 12.350
.....	.....
.....	.....

Figura 47 – Relatório sob Demanda. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015)

- **De exceção**: Produzidos automaticamente quando há uma situação incomum ou que exija uma intervenção gerencial. Ex: relatório gerado a partir da especificação de algum parâmetro (ponto de disparo). Ex: relatório de itens no estoque cujo giro seja inferior a 5 dias, relatórios de projetos superiores a 10.000 reais (Figura 48).

Relatório de exceção							
Relatório de exceção Vendas diárias - Pedidos acima de \$10.000							
Pedido #	Cliente	Vendedor	Data de embarque	Planejado	Quantidade	Item #	Valor
P12345	C89321	GWA	08/12/08	576	P1234	\$ 12.856	
P22153	C00453	CAR	08/12/08	288	P2314	\$ 28.800	
P23023	C32832	JMN	08/11/08	144	P2323	\$ 14.400	
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	

Figura 48 – Relatório de Exceção. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015)

- **Detalhados** (Drill Down): Disponibilizam dados mais detalhados sobre uma situação. Com eles, os gerentes podem analisar inicialmente os dados em um nível mais abrangente (como as lucros por trimestre), depois em um nível mais detalhado (ven-

das e despesas) e depois em nível muito mais detalhado (vendas por divisão) e mais detalhados ainda (vendas por categoria de produto) conforme mostra a Figura 49.

Relatório detalhado de primeiro nível			
Lucros por trimestre (em milhões)			
	Real	Previsão	Divergência
2nd Qtr. 2008	\$ 12,6	\$ 11,8	6,8%
1st Qtr. 2008	\$ 10,8	\$ 10,7	0,9%
4th Qtr. 2008	\$ 14,3	\$ 14,5	-1,4%
3rd Qtr. 2008	\$ 12,8	\$ 13,3	-3,8%

Relatório detalhado de segundo nível			
Vendas e despesas (em milhões)			
Trim.: 2.o Trim. 2008	Real	Previsão	Divergência
Margem de vendas	\$ 110,9	\$ 108,3	2,4%
Gastos	\$ 98,3	\$ 96,5	1,9%
Lucro	\$ 12,6	\$ 11,8	6,8%

Relatório detalhado de terceiro nível			
Vendas por divisão (milhões)			
Trim.: 2.o Trim. 2008	Real	Previsão	Divergência
Produtos de beleza	\$ 34,5	\$ 33,9	1,8%
Medicamentos	\$ 30,0	\$ 28,0	7,1%
Sabonetes	\$ 22,8	\$ 23,0	-0,9%
Petiscos	\$ 12,1	\$ 12,5	-3,2%
Eletrônicos	\$ 11,5	\$ 10,9	5,5%
Total	\$ 110,9	\$ 108,3	2,4%

Relatório detalhado de quarto nível			
Vendas por categoria de produto (milhões)			
Trim.: 2.o Trim. 2008	Real	Previsão	Divergência
Divisão: Medicamentos			
Pasta de dentes	\$ 12,4	\$ 10,5	18,1%
Antisséptico bucal	\$ 8,6	\$ 8,8	-2,3%
Medicamentos de venda livre	\$ 5,8	\$ 5,3	9,4%
Produtos para a pele	\$ 3,2	\$ 3,4	-5,9%
Total	\$ 30,0	\$ 28,0	7,1%

Figura 49 – Relatórios detalhados. Fonte: ([STAIR; REYNOLDS, 2015](#))

Conforme mostra a Figura 50 os componentes de um SIG são:

- Entradas: os dados inseridos em um SIG têm origem em fontes:
  - Internas: SPT's, ERP;
  - Externas: E-business, dados não capturados pelos SPT's, extranets corporativas, etc.;
- Saídas: Relatórios

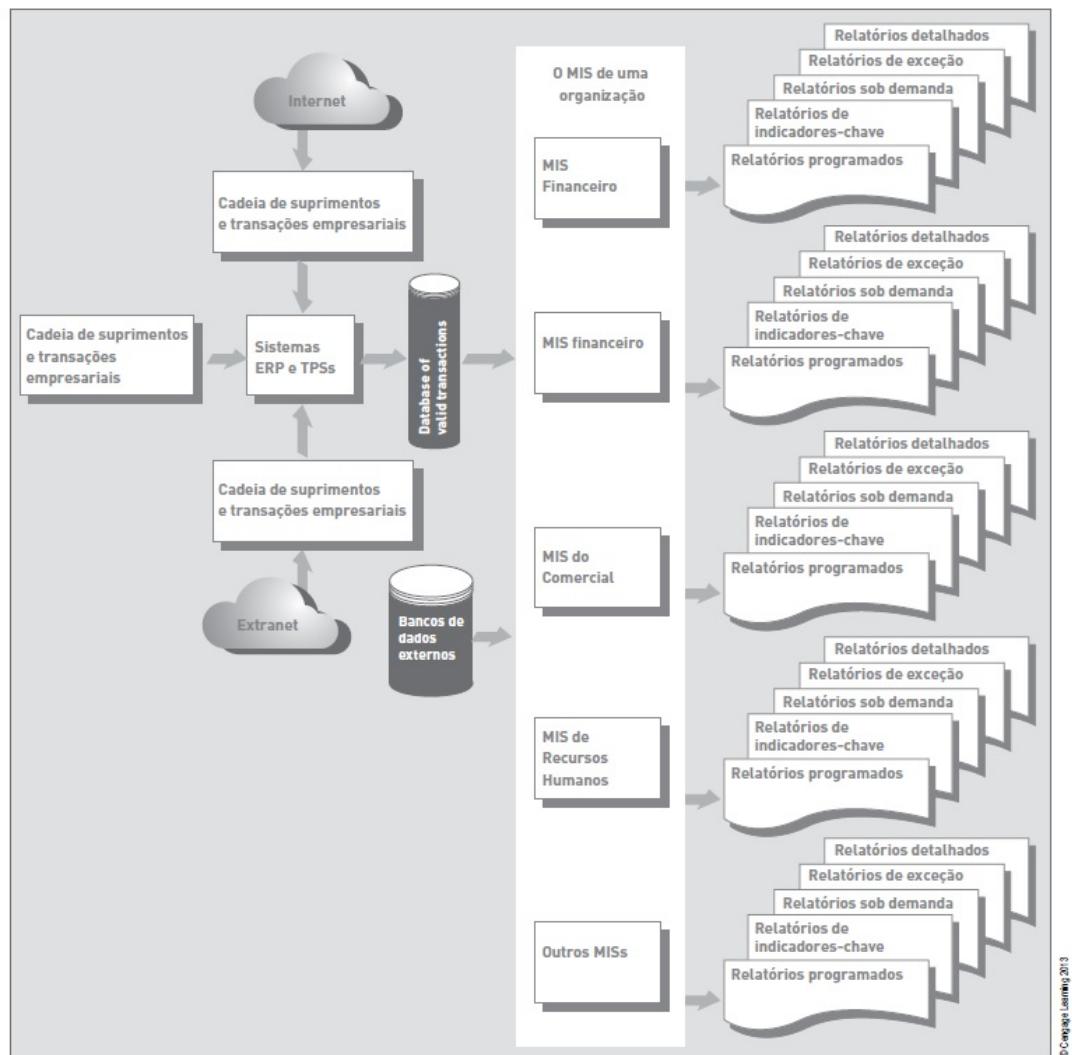


Figura 50 – Esquema das entradas e saídas de um SIG Fonte: Adaptada de (STAIR; REYNOLDS, 2015)

Os SIG também permitem a utilização de ferramentas colaborativas de Groupware. Neste caso, são denominados de SIGG ou GSS.

### 3.4 SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO (SSD)

Nas décadas de 70 e 80, grandes aperfeiçoamentos na tecnologia resultaram nos SI. As empresas passaram a utilizar microcomputadores para fazer uma variedade de tarefas; as pessoas não dependiam mais de um setor de SI para realizar as suas atividades. Durante esse período foi reconhecido que os SI baseados em computadores poderiam dar apoio adicional de tomada de decisão (KAMBER, 2001). A partir daí surgiram os "Decision Support Systems" (DSS), isto é, os Sistemas de Suporte (SSD) ou Apoio à Decisão (SAD).

Os Sistemas de apoio especializado, como os sistemas de apoio a grupo (GSSs, "Group Support Systems") e sistemas de apoio a executivos (ESSs, "Executive Support Systems") usam a abordagem geral de um SSD, em situações como uma tomada de decisão em

grupo ou executiva. Os Sistemas de Suporte à Decisão em Grupo (SSDG) são designados para suportar uma decisão em grupo. São usados em rede com ferramentas colaborativas.

Os SPT e SIG tratam com problemas altamente estruturados que são diretos e exigem fatos e relacionamentos conhecidos. Os problemas semiestruturados ou não estruturados, por outro lado, são mais complexos. As relações entre as partes dos dados nem sempre são claras, os dados podem estar em uma variedade de formatos e podem ser difícil de manipular ou obter.

*"Os SSD são um conjunto interativo de programas de computador que auxiliam os gerentes oferecendo dados, ferramentas e modelos para desenvolvimento de decisões semi-estruturadas e não estruturadas".* (FAYYAD; SHAPIRO, 1996)

Um SSD, vai além de um SIG, pois auxilia na análise de dados de um banco de dados e oferece resultados alternativos aos usuários nos níveis táticos e estratégicos em uma organização. Neste caso são utilizados modelos matemáticos para tratar estes problemas em um SSD.

Os SSD utilizam Banco de Dados e uma *Base de Modelos*. Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados - SGBD (DBMS, "Database Management System") é usado para gerenciar o banco de dados e o software denominado de Sistema de Gestão de Modelos (SGM) ou (MMS, "Model Management System") é usado para gerir a base de modelos. Entretanto, nem todos os SSD apresentam esses componentes.

A Base de Modelos (análoga a um banco de dados) contém os modelos matemáticos e cálculos de rotinas estatísticas que são usadas para analisar os dados. Os tipos de modelos são:

- Modelos Financeiros: planilhas financeiras, otimização, simulações, etc.;
- Modelos de Análise Estatística: estatísticas resumidas, projeções, tendências, teste de hipóteses, etc.;
- Modelos Gráficos: análise gráfica, sistemas CAD, telas gráficas de dados e informações, etc.;
- Modelos de Gerenciamento de Projeto: coordenação de projetos, identificação de atividades, tarefas críticas, custo, etc.

Os dados do SSD provém da internet, de intranet e extranet corporativas e de outros sistemas de computadores. Os SSD apresentam interface com o usuário para gerenciar o diálogo e a interação com o mesmo. Bancos de dados externos também são acessados pelo SGBD e pelo SGM para aplicação dos modelos matemáticos e/ou estatísticos. A Figura 51 apresenta um esquema geral de um SSD.

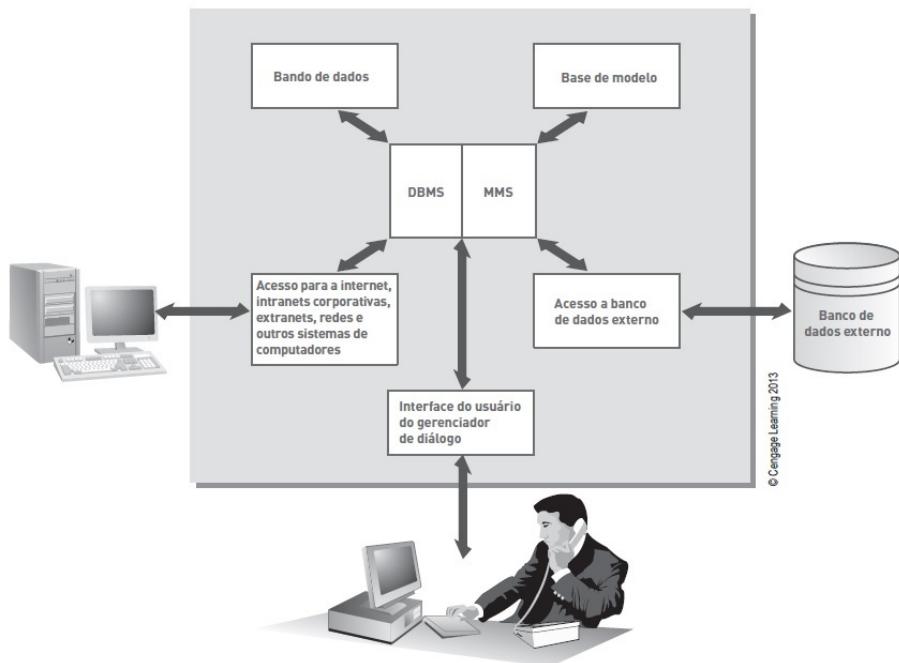


Figura 51 – Elementos essenciais de um SSD. Fonte: ([STAIR; REYNOLDS, 2015](#))

### 3.5 SISTEMAS DE CONHECIMENTO (SC)

Os SSD quando utilizam técnicas de Inteligência Artificial (IA) são também denominados Sistemas de Conhecimento (SC).

Os SC gerenciam, armazenam e/ou aplicam conhecimento organizacional explicitamente representado para auxiliar na solução de problemas. Em termos mais atuais refere-se a qualquer sistema de informação que gerencie, armazene e/ou aplique conhecimento explicitamente representado, oferecendo conhecimento implícito. O conhecimento pode ser de uma fonte humana, da organização, disperso, etc.

Os SC permitem extrair o conhecimento de diferentes fontes, tornando-o independente das pessoas, organizá-lo, armazená-lo, manipulá-lo, distribuí-lo, multiplicá-lo, etc. As principais aplicações dos SC são:

- Interpretação: análise de imagens, interpretação de dados, interpretação geológica, etc.;
- Diagnóstico: diagnóstico médicos, mecânicos, suporte a cliente, etc.;
- Projeto: projeto de circuitos digitais, projeto de edifícios, etc.;
- Classificação: segmento de clientes, sugestão de produtos, etc.;
- Monitoramento: monitoramento de redes de distribuição elétrica, controle de tráfego aéreo, etc.;
- Controle: robôs, gerência de produção.

Outra forma de denominar os SC é chamá-los de Sistemas de Informação Inteligentes (SSI). Os SSI envolvem todos os sistemas de conhecimento utilizados no auxílio à decisão. Aqui são apresentados nas subseções 3.5.1 e 3.5.2 dois tipos: os Sistemas Especialistas (SE) e os Sistemas de Descoberta de Conhecimento (KDD, "Knowledge Data Discovery").

### 3.5.1 SISTEMAS ESPECIALISTAS (SE)

Os SE que pertencem à Inteligência Artificial Simbólica (IAS) são programas de computador que capturam o conhecimento de um especialista humano para utilização na resolução de problemas complexos.

Uma primeira maneira de representar o conhecimento no SE é a utilização de regras de produção do tipo: SE condição ENTÃO ação ou conclusão.

Deve-se notar que a ação é uma ordem e a conclusão é uma prova. Quando se coloca uma regra dentro de uma base de conhecimento, por exemplo;  $A \rightarrow B$  supõe-se que esta regra é verdade, pois dentro de uma base de conhecimento em uma fórmula lógica não se tem valores de verdade e falso.

A base de conhecimento é constituída de regras SE/ENTÃO. Além desta representação podem ser construídas outras representações para um problema.

Os SE são sistemas de conhecimento baseados em regras:

Se <condição>

Então <ação>

<condição> estabelece um teste que verifica a presença ou não de certas informações em uma base de conhecimentos

<ação> altera o estado da base de conhecimento, adicionando, modificando ou removendo unidades de conhecimento presentes na base.

Segundo ([BARRETO, 2001](#)) para a construção de um SE necessita-se:

- De uma fonte de conhecimento: o especialista do domínio, que é um profissional altamente capacitado no domínio para o qual está sendo desenvolvida a aplicação. Supre o Engenheiro do Conhecimento com os procedimentos necessários à construção da base de conhecimento. O conhecimento deve ser obtido do especialista, transformado em forma conveniente e armazenado no computador. O conhecimento é de dois tipos: fatos sobre o problema a resolver e regras que mostram como o especialista raciocina para chegar a uma conclusão. São as regras de raciocínio.
- Engenheiro do Conhecimento: profissional da computação responsável pela implantação da base de conhecimento. É um profissional com sólidos conhecimentos em técnicas de IA.

- Base de conhecimento: repositório de procedimentos, heurísticas, dados, etc. que compõem a modelagem computacional do conhecimento.
- Interface e explicação: é responsável pelo diálogo e pela geração de explicações de como o sistema chega a uma determinada conclusão.
- Mecanismos de aprendizado: para tornar a base estática em dinâmica (com capacidade de atualizar-se).
- Motor (ou máquina) de inferência: é a parte da base que abriga os mecanismos (algoritmos e heurísticas) que processam a inferência. A inferência é o processo pelo qual deduzimos novas informações a partir das existentes na base de conhecimentos.

A Figura 52 mostra os principais envolvidos na construção de um SE.



Figura 52 – Participante no desenvolvimento de um SE. Fonte: ([STAIR; REYNOLDS, 2015](#))

Para usar um sistema no mundo real o usuário acessa a interface. A máquina de inferência do software acessa a base de conhecimentos desenvolvida pelo Engenheiro do Conhecimento com o conhecimento humano do Especialista do domínio.

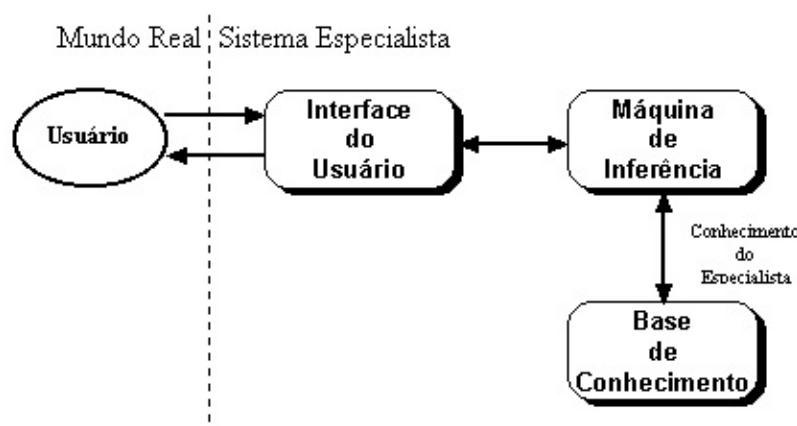


Figura 53 – Visão geral de um SE

O principal objetivo da interface do SE é facilitar o uso pelos usuários e tomadores de decisão.

A Figura 54 mostra um conjunto de regras de uma base de conhecimento para análise de crédito imobiliário.

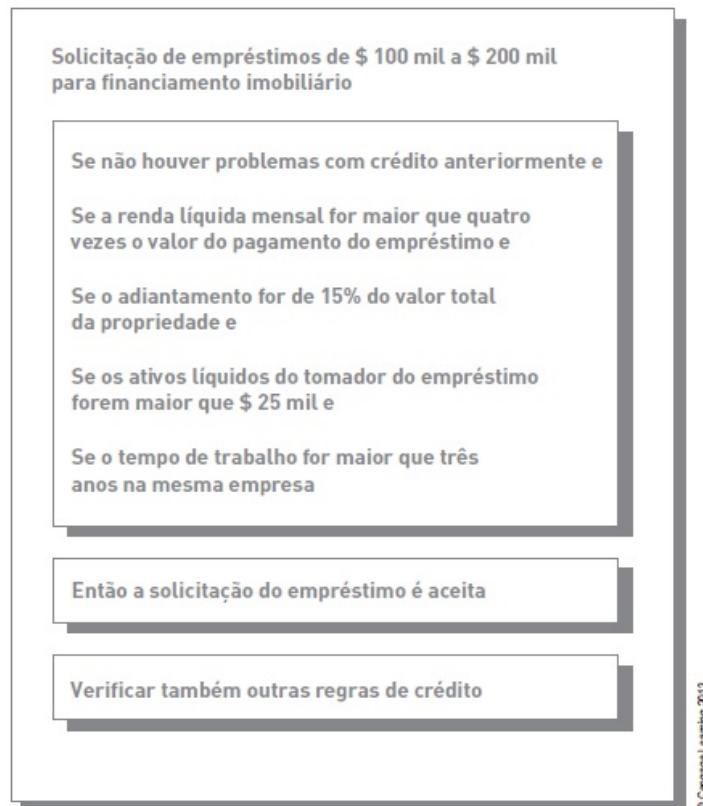


Figura 54 – Regras para uma aplicação de crédito. Fonte: (STAIR; REYNOLDS, 2015)

Stair (STAIR; REYNOLDS, 2015) apresenta um possível diálogo de consulta ao SE dotado das regras mostradas na Figura 54.

**SISTEMA ESPECIALISTA:** Existe algum problema de crédito anterior?

**USUÁRIO:** Não.

**SISTEMA ESPECIALISTA:** A renda líquida do solicitante é maior que quatro vezes o pagamento mensal do empréstimo?

**USUÁRIO:** Sim.

**SISTEMA ESPECIALISTA:** O valor do adiantamento é maior que 15% do valor da propriedade?

USUÁRIO: Sim.

*SISTEMA ESPECIALISTA:* Os ativos líquidos do solicitante totalizam ou são maiores do que \$ 25 mil?

USUÁRIO: Sim.

*SISTEMA ESPECIALISTA:* O solicitante trabalha a mais de três anos na mesma empresa?

USUÁRIO: Sim.

*SISTEMA ESPECIALISTA:* Aceita a solicitação de empréstimo.

Assim, um SE é um SSD ou SAD que pode ser classificado como um SII ([BARRETO, 2001](#)).

### 3.5.2 SISTEMAS DE DESCOBERTA DO CONHECIMENTO (KDD)

Um SI é dito ser inteligente se ele é capaz de gerar informações implícitas. As informações implícitas são aquelas que não estão associadas à fonte de dados, ou seja, não foram colocadas diretamente no sistema.

As bases de dados dedutivas são construídas usando os dados de entrada do sistema (base de fatos) e regras de manipulação de dados (base de regras de conhecimentos). A base de dados é explorada pela aplicação de regras de inferência que permitem evidenciar elementos dos conjuntos de visões de dados manipulados. A Figura 55 mostra que a base de dados é minerada por um mecanismo para avaliação do padrão e apresentação ao usuário. Os mecanismos assemelham-se aos de um Sistema Especialista.

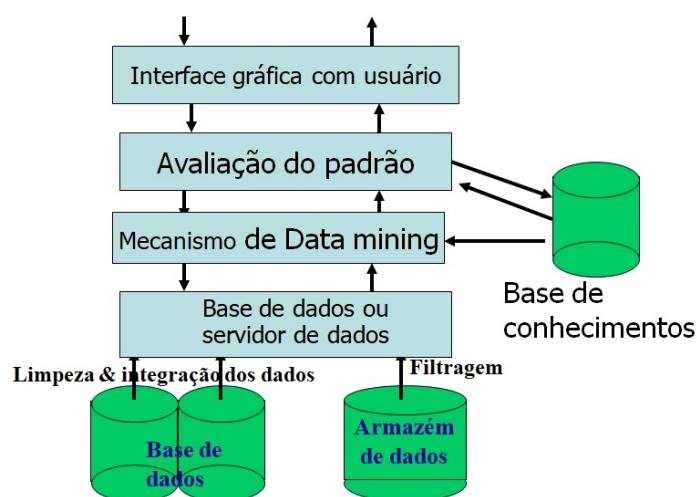


Figura 55 – Base de dados dedutivas

A extração de Conhecimento em Base de Dados consiste na seleção e processamento de dados com a finalidade de identificar novos padrões, dar maior precisão em padrões conhecidos e modelar o mundo real. Toma-se como ponto de partida todos os dados referentes a um assunto que seja possível obter, o que está representado por dados brutos. O passo seguinte é consolidar estes dados, procurando dar uma estrutura conveniente para serem explorados e para serem armazenados em um Armazém de Dados (DW, "Data Warehouse") conforme visto na subseção 2.4.2.6. Neste momento, é conveniente que se tenha alguma hipótese sobre o possível modelo que se vai obter, para que um Pré-processamento coloque os dados de modo conveniente à obtenção deste modelo. A obtenção do modelo se chama Mineração de Dados (DM, "Data Mining"). O modelo deve ser interpretado para se extrair o conhecimento desejado conforme mostrado na Figura 56.

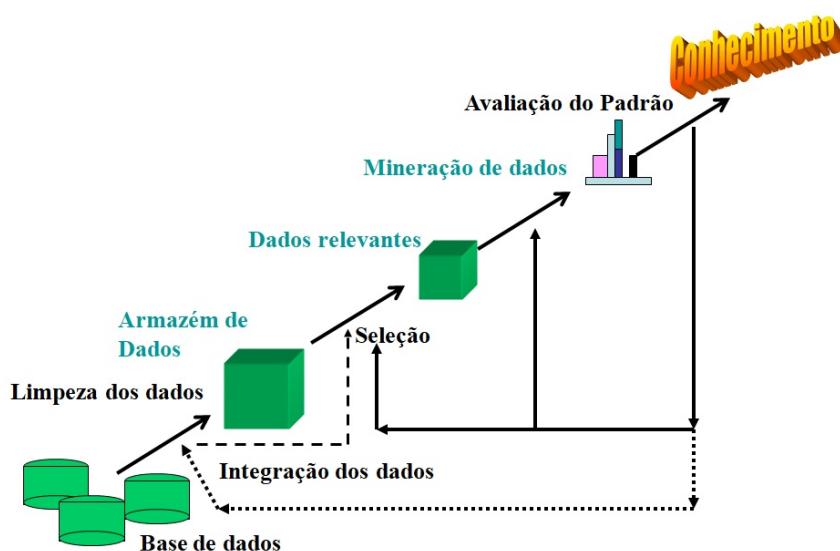


Figura 56 – Data Mining: Processo KDD

A DM se refere aos exames de grandes quantidades de dados, procurando encontrar relações entre dados, não explícitas, que possam ser usadas em modelos do mundo com capacidade preditiva e explanatória. A DM é usada na extração de padrões (não-triviais, implícitos, previamente desconhecidos e potencialmente úteis) acerca de dados. Conforme mostra a Figura 57 a DM é uma confluência de várias áreas.

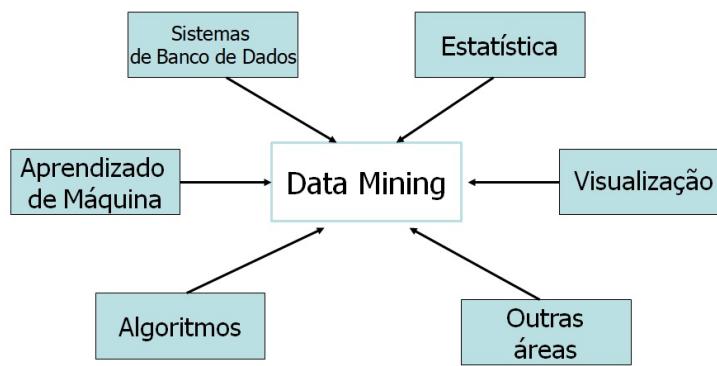


Figura 57 – Data Mining: Confluência de diversas áreas

A mineração de dados é o núcleo do processo de descoberta do conhecimento. Outros nomes alternativos são utilizados: Descoberta do Conhecimento (mineração) em base de dados (KDD), extração do conhecimento, análise de padrões, Inteligência Empresarial (BI), etc. A Figura 58 mostra outra representação do processo de KDD.



Figura 58 – Processo de KDD. Fonte: (BARRETO, 2001)

As principais aplicações dos sistemas KDD são:

- Análise de dados e suporte à decisão;
- Análise de mercado e gerenciamento;
- Sistema de relacionamento com o cliente, análise de mercado aberto, segmentação de mercado;
- Análise de riscos e gerenciamento;
- Predição, controle de qualidade, análise competitiva;

- Detecção de fraude e detecção de padrões não usuais;
- Mineração de Texto (e-mail, documentos) e mineração da Web
- Bioanálise de dados e de DNA;
- Telecomunicações;
- Análise de crédito;
- Marketing;
- Outros...

# Recuperação, Tratamento e Análise da Informação

*"Big data isn't about bits,  
it's about talent."*

Douglas Merrill

Este capítulo tem por objetivo mostrar que a expansão da "Building Information Modeling" (BIM) está gerando um "Big Data" (BgD). Estes grandes volumes de dados e informações se tornam ativos na "Business Intelligence" (BI) de organizações do setor da AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação). Os diferentes dos paradigmas da ("Artificial Intelligence") (IA) são usados para recuperação, tratamento e análise das informações e geração de Conhecimento em BIM. O ponto central da abordagem deste capítulo é mostrar a importância da conexão *BIM-BIG DATA- IA - BI*.

## 4.1 BIG DATA

Diferentes tipos de informações são geradas ao longo das várias fases do ciclo de vida da construção, incluindo a manutenção dos vários sistemas complexos construtivos. Como a geração e coleta de informações de construção é geralmente fragmentada, criada sobre o ciclo de vida do edifício por equipes diferentes com objetivos diferentes, armazenados em diferentes sistemas, em tempos diferentes, a integração dessas informações é um processo complexo. Este processo indica a relevância do "Big Data" (BgD) para a indústria da construção, principalmente em relação ao volume e variedade de dados onde dados estruturados e não estruturados estão sendo gerados para cada projeto de construção.

O termo "Big Data" é usado para denominar grandes volumes de dados que ultrapassam os limites dos programas convencionais. Esses dados geralmente não são estruturados e podem se originar de uma ampla variedade de fontes: publicações em mídias sociais, e-mails, arquivos eletrônicos com conteúdo multimídia, consultas em mecanismos de pesquisa, repositórios de documentos em sistemas de gerenciamento de conteúdo, dados de vários tipos sensores, evolução da taxa nas bolsas de valores, fluxo de tráfego de

dados, imagens câmeras e de satélites, medidores inteligentes em eletrodomésticos, pedidos, compras e processos de pagamento em lojas on-line, aplicativos eletrônicos na área de saúde, sistemas de monitoramento etc. (MEIER; KAUFMANN, 2019).

Existem quatro etapas para o processamento de BgD:

- (1) Aquisição (captura de dados de diferentes fontes);
- (2) Acesso (indexação, armazenamento, compartilhamento e arquivamento de dados);
- (3) Análises (análise e manipulação de dados); e
- (4) Aplicação (tomada de decisões e ações).

O BgD é sumarizado como v's: volume (grandes quantidades de dados), variedade (vários formatos, dados estruturados, semiestruturados e não estruturados) e velocidade (processamento em alta velocidade e em tempo real). Segundo (MEIER; KAUFMANN, 2019) todo o uso de aplicativos de BgD requer o gerenciamento de outros Vs:

- Volume: há uma quantidade enorme de dados envolvidos, variando de tera a zettabytes (megabyte =  $10^6$  bytes, gigabyte =  $10^9$  bytes, terabyte =  $10^{12}$  bytes, petabyte =  $10^{15}$  bytes, exabyte =  $10^{18}$  bytes, zettabyte =  $10^{21}$  bytes);
- Variedade: o BgD envolve o armazenamento de dados estruturados, semiestruturados e não estruturados de multimídia (texto, gráficos, imagens, áudio e vídeo);
- Velocidade: Os aplicativos devem ser capazes de processar e analisar fluxos de dados em tempo real à medida que os dados são coletados;
- Valor: O BgD pode ser considerado ativo de informação. Os aplicativos de BgD visam aumentar o valor da empresa, de modo que são feitos investimentos em pessoal e infraestrutura técnica para gerar valor agregado;
- Veracidade: como muitos dados são vagos ou imprecisos são necessários algoritmos específicos para avaliação da validade e qualidade dos resultados. Grandes quantidades de dados não significa automaticamente melhores análises. A veracidade é um fator importante no BgD, onde a qualidade dos dados disponíveis das variáveis deve ser levada em consideração nas análises. Além de métodos estatísticos, existem métodos da lógica nebulosa ("fuzzy logic") que atribuem um valor de verdade entre 0 (falso) e 1 (verdadeiro) a qualquer resultado ou declaração (bancos de dados nebulosos).

O BgD é um fator importante no desenvolvimento do BIM, pois este envolve amplamente dados estruturados acessados em vários bancos de dados. No entanto, há um grande volume de dados / informações não estruturados trocados na indústria da construção por meio de texto entre membros de equipes. Com o uso da computação em nuvem e soluções baseadas em conhecimento, o volume desses dados tende a aumentar, necessitando

de ferramentas de análise que permitam um melhor uso de uma variedade de dados capturados.

As principais motivações para uso de técnicas para análise de BgD também são devidas a alguns problemas percebidos com a expansão do uso de BIM:

- Aumento do volume de dados: armazenamento em terabytes de dados por construção por ano, a coleta em tempo real, a análise e interação de dados BIM;
- Armazenamento adequado dos dados: os dados BIM são essencialmente um banco de dados que contém dados alfanuméricos, geométricos, dados baseados em informações de projeto e relações espaciais e topológicas da construção. São necessários vários componentes para se conseguir um armazenamento apropriado que suporte todos esses diferentes dados e a relação entre os eles;
- Dificuldade de acesso devido a diversidade dos tipos de dados: os BD BIM contém vários tipos de dados. Existe uma "mistura" de dados estruturados e não estruturados que devem ser recuperados, tratados e analisados por diferentes ferramentas;
- Uso de métodos proprietários de acesso aos dados: o esforço necessário para acessar os dados varia de métodos relativamente simples, que são limitados por interfaces predefinidas e ferramentas, a métodos complexos por meio das "Application Programming Interface" ou Interface de Programação de Aplicativos (API). Usar uma API padrão de um desenvolvedor de software na maioria das vezes é a única maneira de acessar os dados. Cada desenvolvedor de software fornece suas respectivas ferramentas e ir além da interface padrão para acesso adicional será fornecido por meio de uma API ou "script" (roteiro) pelo próprio fabricante. Além disso, como um dos mais valiosos ativos em qualquer banco de dados é o próprio conteúdo, o obstáculo que se deve superar para "minerar" os dados BIM é um problema que precisa ser considerado segundo ([SOLIHIN et al., 2017](#));
- Portabilidade: Ferramentas de autoria em BIM são proprietários por natureza, o que significa que um aplicativo escrito para um produto não será aplicável a outro (pouca portabilidade). Uma abordagem promissora para lidar com problema de disponibilidade de dados proprietários é usar um tipo de banco de dados que permita o acesso aos dados fora das APIs específicas do fornecedor. Um dos formatos neutros mais populares amplamente usados na arquitetura, engenharia e construção é a Industry Foundation Classes (IFC) ([LEE; EASTMAN; SOLIHIN, 2018](#)). Diversos fabricantes de sistemas aplicam o esquema IFC como um formato de troca de dados BIM;
- Sincronização de dados heterogêneos: qual a maior preocupação com a informação no BIM? É sua heterogeneidade! Diferentes profissionais exigem diferentes programas para criar, manipular, analisar e aplicar distintos modelos de dados da construção para alcançar seus objetivos particulares. Outra faceta a ser considerada é quantidade de troca de dados e informações na compatibilização e compartilhamento

de projetos BIM. Essas informações e dados heterogêneos devem ser mantidos de forma consistente em diversos tipos de domínios, fases e software para compartilhamento de um conjunto correto de modelos na sincronização;

- Consultas aos dados severamente restritas: o que não permite a descoberta ou o "insight" sobre os dados, além daqueles já pré-determinados. Com o crescente número de requisitos em projetos complexos, a construção de dados não pode ser facilmente coordenada e compartilhada entre profissionais da área. Por exemplo, cada fornecedor, geralmente fornece as funcionalidades padrão ou predefinidas para obter os dados. Essa abordagem é limitada apenas aos objetos com suas propriedades. Para dados mais sofisticados, é necessário escrever programas personalizados usando as APIs fornecidas. Tudo isso limita o tipo de dados disponível e as consultas sobre os dados, além daqueles já pré-determinados;
- Integração de BIM com outros sistemas: quando se dá a integração de BIM com sistemas de informação Web com Realidade Virtual e Informações Geográficas (Web-VRGIS) é necessário o uso de técnicas mais elaboradas. Para lidar com tais aplicações foram desenvolvidos modelos de banco de dados espaço-temporais que são uma extensão dos BD espaciais. Estes bancos incorporam conceitos de base espacial, temporal e espaço-temporal capturando aspectos temporais e espaciais dos dados. Para lidar com esta complexidade os modelos de consulta de dados relacionais são insuficientes. Assim utilizam-se arquiteturas híbridas utilizando-se BgD, banco de dados NoSQL e armazenamento distribuído.

Em geral, a análise de BgD processa os dados não estruturados incluindo várias técnicas como mineração de dados, busca e otimização. Para o setor de AECO, os aplicativos de BgD podem transformar as práticas de "design", construção e operação de projetos. A variedade disponível de ferramentas de coleta de dados que coletam dados sobre desempenho e comportamento das operações, pode fornecer grandes quantidades dados de construções existentes, não existentes e das equipes de projetos. Tais ferramentas podem fornecer dados granulares em tempo real sobre padrões de utilização que podem melhorar a manutenção de serviços e operações das construções.

Segundo (LV et al., 2020) as análises usando BgD no setor da AECO são úteis, por exemplo, para:

- Criação de cidades inteligentes com as cidades digitais 3D): O BIM está associado à integração espacial e a semântica de informações sobre os vários estágios das construções urbanas, ou seja, projeto arquitetônico, construção, operação e gerenciamento. Além disso, a integração do BIM e da cidade digital tridimensional (3D) pode reduzir bastante os custos de aquisição de informações sobre o espaço interior de edifícios, rompendo as limitações da demonstração dos modelos de superfície arquitetônicos externos, promovendo a integração de aplicações em espaços internos

e externos e ainda facilitando o desenvolvimento de cidades inteligentes por meio de cidades digitais;

- Análises de aglomerações urbanas para o desenvolvimento sustentável; aspectos sociais dos espaços humanos (projetos de mobilidade, promoção de redes sociais, expansão da participação política, incentivo ao empreendedorismo); Projeto de uso de sistemas inteligentes de abastecimento de água e energia; Proteção do meio ambiente e aumento da segurança e qualidade de vida;
- Recuperação de dados geoespaciais: Segundo (LV et al., 2020) com o avanço da aquisição e recuperação de dados geoespaciais o volume destes está aumentando a todo minuto. O armazenamento de terabytes de dados por construção por ano, a coleta em tempo real, a análise e interação de dados de BIM são grandes desafios. Também as diversas aplicações de BIM com Sistemas de Informações Geográficas (GIS) levam a diferentes padrões de dados. Na perspectiva dos modelos de dados, são aplicadas diferentes expressões geométricas e métodos de descrição semântica. O primeiro trata da informação geométrica para aplicações de projeto e análise de arquitetura, possuindo informações geométricas e semânticas ricas para as instalações da construção. O último enfatiza a representação em múltiplas escalas dos objetos espaciais considerando sua consistência geométrica, topologia e expressão semântica.
- Modelagem interna e externa das construções;
- Outros...

A Fig. 59 apresenta uma arquitetura de armazenamento híbrido para uso de BgD espacial em projetos BIM proposta por (LV et al., 2020). Este é um exemplo interessante porque inclui um servidor Web de Realidade Virtual de dados geográficos dinâmicos (o que é indubitavelmente muito complexo), dados estruturados geométricos de um banco de dados espacial e dados não estruturados oriundos de documentos. A arquitetura de armazenamento é composta por três partes: o armazenamento distribuído do tipo ponto-a-ponto (P2P)<sup>1</sup>, um banco de dados NoSQL e um mecanismo de acesso a um banco de dados espacial.

<sup>1</sup> Peer-to-peer (do inglês par-a-par ou simplesmente ponto-a-ponto, com sigla P2P) é uma arquitetura de redes de computadores onde cada um dos pontos ou nós da rede funciona tanto como cliente quanto como servidor, permitindo compartilhamentos de serviços e dados sem a necessidade de um servidor central.

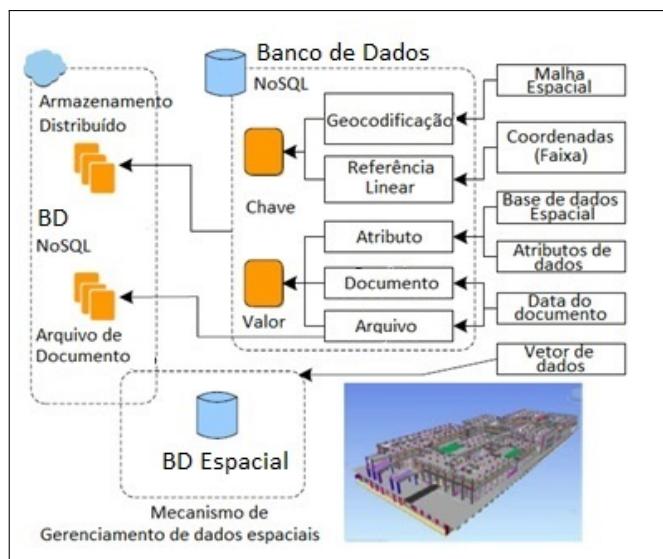


Figura 59 – Arquitetura de Armazenamento híbrido para Big Data Geoespacial BIM. Fonte: Adaptada de (LV et al., 2020)

Vários tipos de dados (vetores, coordenadas, dados de elevação, dados de imagens, dados de modelos de malhas 3D, dados de modelos de textura) são armazenados no servidor distribuído WebVR. Um repositório de documentos faz parte do valor armazenado no BD NoSQL sob sua chave correspondente. No BD NoSQL tem-se codificação da malha espacial e referência linear da faixa de coordenadas geográficas em chaves. A geocodificação é usada para conectar um servidor Web de Realidade Virtual (WebVR) ao BD NoSQL. Os valores das chaves referenciam os dados de pontos e linhas que aproximam as informações espaciais dos dados dinâmicos. Os valores dos atributos de dados dinâmicos podem ser usados como valores no banco de dados NoSQL. Portanto, a chave da informação espacial corresponde a um valor. Finalmente, os vetores de dados estáticos (que geralmente têm grandes volumes) são gerenciados por um mecanismo de banco de dados espacial.

## 4.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A IA é um ramo da Ciência da Computação ao mesmo tempo recente (oficialmente nasceu em 1956) e muito antigo (lógica de Aristóteles). De modo simplista é o domínio da IA as tarefas humanas relativas a aquisição de informações (sentido), processamento de informações (pensamento) e ações no meio exterior.

A grande atividade de IA é a solução de problemas, usando o conhecimento e manipulando-o. O conhecimento pode ser definido como a informação armazenada, ou os modelos usados por pessoas ou máquinas para interpretar, predizer e responder apropriadamente ao mundo exterior. A IA visa reproduzir por meios computacionais as características normalmente atribuídas à inteligência humana, tais como:

- Compreensão da linguagem;

- Aprendizagem;
- Raciocínio;
- Visão;
- Solução de problemas;
- Indução e dedução lógica.

A IA serve para resolver problemas, imitando, de certa forma a inteligência dos seres vivos. O desejo de construir máquinas ‘resolvedoras’ de problemas impõe a compreensão da natureza íntima dos mesmos.

Em sua forma clássica, de acordo com as metodologias, técnicas e ferramentas a IA pode ser dividida em:

- Inteligência Artificial Simbólica (IAS): Sistemas Especialistas, Sistemas Nebulosos;
- Inteligência Artificial Conexionalista (IAC): Redes Neurais, Aprendizado de Máquina, Aprendizado Profundo;
- Inteligência Artificial Distribuída (IAD): Agentes Inteligentes;
- Inteligência Artificial Evolutiva (IAE): Algoritmos Genéticos, Computação Evolucionária;
- Inteligência Artificial Híbrida (IAH): Sistemas neuro-nebulosos, Agentes Evolutivos, outros.

#### 4.2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL SIMBÓLICA (IAS)

Na Inteligência Artificial Simbólica (IAS) o comportamento inteligente global é simulado, sem considerar os mecanismos responsáveis por este comportamento. As raízes da abordagem IAS está na lógica com regras de inferência inspiradas em silogismos de Aristóteles.

As pessoas não captam todo o conhecimento que a realidade do mundo lhe proporciona. Pessoas diferentes, perante a mesma realidade captam e entendem coisas diferentes. A manipulação do conhecimento exige, antes, formas de representação. Para um computador isto é muito difícil dado ao vastíssimo número de conceitos, relações, regras, etc., necessários à interpretação de textos genéricos.

As principais formas de representação de conhecimento em IAS são:

- Lógicas (clássicas e multivaloradas);
- Sistemas de Produção (SE);
- Molduras, Roteiros, Grafos;
- Redes Semânticas.

Uma aplicação da Lógica em IA são os Sistemas Baseados em Regras. Uma das características da lógica clássica é o axioma do terceiro excluído, isto é, não existe uma terceira alternativa para um valor verdade além do par Verdadeiro, Falso. No mundo real, é comum que os conhecimentos disponíveis não sejam nem absolutamente verdadeiros nem absolutamente falsos, podendo ser, por exemplo paradoxais, incertos, desconhecidos, indeterminados, verdadeiros em geral, verdadeiros com uma certa probabilidade, etc. Para estender a lógica clássica, é necessário alterar o conjunto de valores verdade como é feito na Lógica Nebulosa.

A Lógica "Fuzzy"(Nebulosa) é uma lógica multivalorada capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores. A representação depende não apenas do conceito, mas também do contexto em que está sendo usada. A Lógica Nebulosa (LN) pode ainda ser definida como a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos, como estamos acostumados a trabalhar.

A LN baseia-se em palavras e não em números, ou seja, os valores verdades são expressos linguisticamente. Por exemplo: baixo, médio, alto, e outros usados para definir estados de uma variável. Possui vários modificadores de predicado como por exemplo: muito, mais ou menos, pouco, bastante, médio, etc.

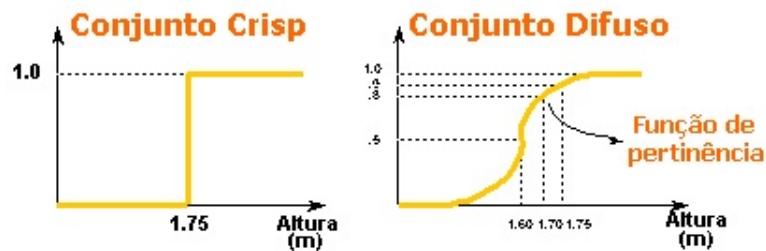
Possui também um amplo conjunto de quantificadores, como por exemplo: poucos, vários, em torno de, usualmente. Faz usos das probabilidades linguísticas, como por exemplo: provável, improvável, que são interpretados como números fuzzy e manipulados pela sua aritmética. Manuseia todos os valores entre 0 e 1, tomando estes, como um limite apenas. Um exemplo de um conjunto com limites imprecisos é:

$A = \text{Conjunto de pessoas altas.}$

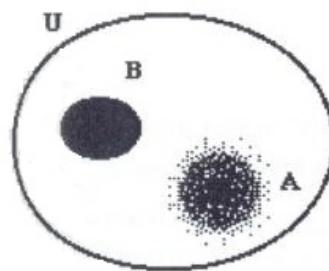
Na definição do conjunto "Fuzzy", portanto, a função característica será uma função de pertinência  $\mu$ :

$$\mu_A : x \rightarrow [0, 1]$$

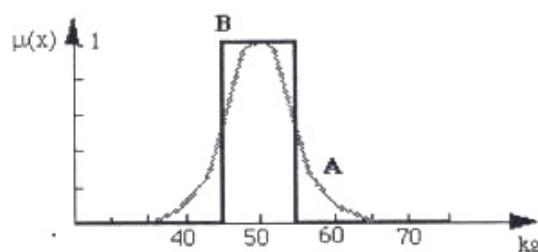
Sendo que 1 significa verdade absoluta, 0 falsidade absoluta e todos os valores intermediários dando um certo grau de pertinência do elemento do conjunto. A Figura 60 mostra os conjuntos "crisp"(abrupto) e "fuzzy"(nebuloso) com suas funções características.

Figura 60 – Conjuntos Crisp e Fuzzy. Fonte: ([ALMEIDA, 2003](#))

O diagrama 61 mostra um conjunto universo  $U$ , o conjunto abrupto  $B$  e o conjunto nebuloso  $A$  que não tem uma fronteira definida, mais parecendo uma nuvem (daí vem o nome nebuloso).

Figura 61 – Conjunto Universo com Conjuntos Crisp e Fuzzy. Fonte: ([BARRETO, 2001](#))

A Figura 62 mostra as funções de pertinência considerando-se que uma mulher de 1,60 m com 50 kg pertence ao conjunto de pessoas com peso normal com valor de pertinência igual a 1. À medida que o peso se afasta deste valor, a função de pertinência decresce, representando que a pessoa pertence menos ao conjunto das mulheres de peso normal. Se o conjunto fosse abrupto (crisp) haveria uma mudança abrupta de pertencer e não pertencer. Um conjunto nebuloso é obtido simplesmente pela modificação de valores da função característica (função de pertinência), permitindo-se obter valores em um conjunto mais geral. Um valor particular descreve o quanto este elemento pertence ao conjunto.

Figura 62 – Exemplo de um Conjunto Fuzzy. Fonte: ([BARRETO, 2001](#))

O lado superior da Figura 63 mostra o número 8 como um número abrupto (crisp). O lado inferior mostra uma função de pertinência triangular que mostra o grau de pertencer ao número “oito”.

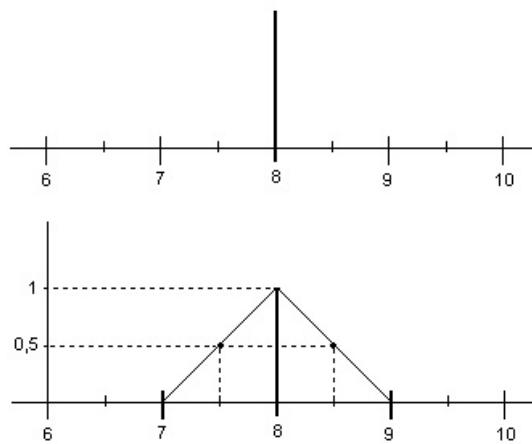


Figura 63 – Funções de Pertinência de Conjuntos Fuzzy. Fonte: ([ALMEIDA, 2003](#))

Os números 7 e 9 têm grau de pertinência 0 ao conjunto “número oito”. Os números 7,5 e 8,5 possuem grau de pertinência 0,5 ao conjunto “número oito” conforme mostra a Tabela 5:

Elemento	Grau de Pertinência
7	0
7,5	0,5
8	1
8,5	0,5
9	0

Tabela 5 – Grau de Pertinência ao número 8

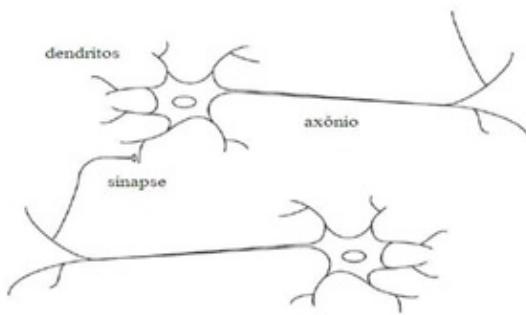
Um dos objetivos LN é não permitir o uso de dados incorretos ou incoerentes.

Os Sistemas Especialistas (SE) abordados na subseção [3.5.1](#) são exemplos de aplicação da IAS.

#### 4.2.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL CONEXIONISTA (IAC)

Na Inteligência Artificial Conexionista (IAC), ou Redes Neurais (RN), a ideia básica é summarizada na abordagem Reducionista: reproduzindo-se com suficiente detalhe a suposta "máquina" biológica responsável pelo comportamento inteligente, ou seja, o cérebro, um comportamento inteligente emergirá do sistema.

As RN têm sua inspiração biológica originada de um neurônio, formado basicamente por dendritos, o corpo celular e os axônios, que junto com outros neurônios podem ter várias combinações com as mais variadas topologias. Na Figura 64 é dado um esquema simplificado de um neurônio biológico típico.

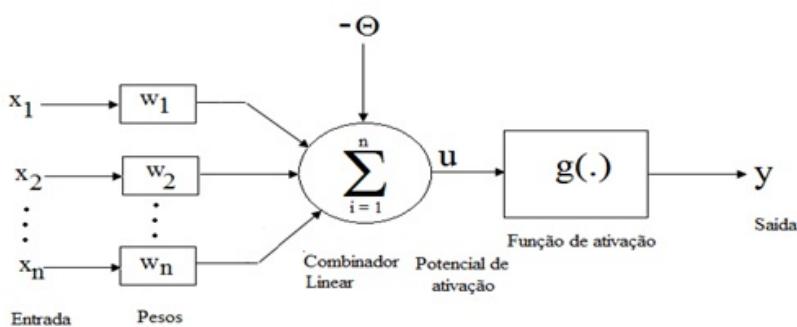
Figura 64 – Neurônio biológico. Fonte: ([ALMEIDA, 2003](#))

As RN são modelos matemáticos dos neurônios e suas interconexões em redes e permitem a representação do processamento da informação dos neurônios biológicos. Estes modelos matemáticos computacionais estão muito longe da realidade biológica...

As RN não são programadas, elas aprendem por exemplo. Tipicamente é apresentado a uma RN um conjunto de treinamento que consiste de um grupo de exemplos com os quais a rede pode aprender. Estes exemplos, conhecidos como padrões de treinamento, são representados como vetores e são originados de fontes tais como imagens, sinais de voz, dados de sensores, movimentos de braços de robôs, dados financeiros e informações de diagnóstico.

As RN fazem uma representação distribuída da informação, na forma de conexões entre um grande número de elementos simples (neurônios artificiais). Todos esses elementos realizam operacionalmente a mesma função que é executar a soma ponderada de suas entradas e executar uma transformação não linear entre a entrada e a saída do sistema ([E.DAYHOFF, 1992](#)).

O modelo do neurônio artificial é apresentado na Figura 65:

Figura 65 – Neurônio Artificial. Fonte: ([ALMEIDA, 2003](#))

O corpo faz a soma ponderada ( $\Sigma$ ) do produto dos pesos da entrada ( $x_1, \dots, x_n$ ) e uma função de transferência ( $u$ ) é aplicada sobre a função de ativação para gerar a saída ( $g$ ). Os pesos ( $W_1, \dots, W_n$ ), são a intensidade da força sináptica e podem ser fixos ou treináveis implementando as ligações entre as unidade e a intensidade com que o sinal é transmitido

de um neurônio ao outro.

- Sinais de entrada: advindos do meio externo:

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

- Pesos: ponderações exercidas pelas junções sinápticas do modelo biológico são representadas por:

$$w_1, w_2, \dots, w_n$$

- Combinador Linear  $\Sigma$ : a agrega todos os sinais de entradas que foram ponderados pelos respectivos pesos sinápticos a fim de produzir um valor de potencial de ativação.
- Limiar de ativação  $\Theta$ : é uma variável que especifica qual será o patamar apropriado para que o resultado produzido pelo combinador linear possa gerar um valor de disparo em direção a saída do neurônio.
- Potencial de ativação  $u$ : é o resultado produzido pela diferença do valor entre o combinador linear e o limiar de ativação. Se tal valor é positivo então o neurônio produz um potencial excitatório  $u \geq 0$ , caso contrário, o potencial será inibitório.

$u \geq 0$  potencial de ativação excitatório

$u < 0$  potencial de ativação inibitório

- Função de ativação  $g$ : seu objetivo é encontrar a saída do neurônio.
- Sinal de saída  $y$ : consiste no valor final produzido pelo neurônio em relação a um determinado conjunto de sinais de entrada.

As RN têm a capacidade de aprender a partir da apresentação de padrões que exprimem o comportamento do sistema. Após ter aprendido o relacionamento entre entradas e saídas utilizando algum algoritmo de aprendizado, a rede será capaz de produzir uma saída próxima daquela desejada (esperada) a partir de quaisquer sinais inseridos em suas entradas. O algoritmo de aprendizado é a maneira de se fazer as redes aprenderem. O processo de treinamento consiste na aplicação de passos ordenados para sintonização dos pesos sinápticos e limiares de seus neurônios. A tradução matemática de uma RN se dá em termos de cálculos matriciais, pois os pesos e entradas são representados por vetores e matrizes.

A partir do funcionamento do neurônio artificial foram desenvolvidos diversos tipos de redes neurais. O número de neurônios e número de camadas de uma RN dependem da complexidade do problema. No exemplo de reconhecimento facial da Figura 66 as camadas são hierarquizadas. Elas iniciam no topo com uma camada mais simples e vão

aumentando a complexidade. No topo, na camada 1, a máquina detecta luminosidade e sombreamento nos pixels. Na camada 2 a máquina já aprende a identificar formas simples. Na camada 3 a máquina aprende a identificar formas mais complexas. Na camada 4 a máquina aprende a identificar formas que podem ser usadas para definir um rosto ([IAFRATE, 2018](#)).

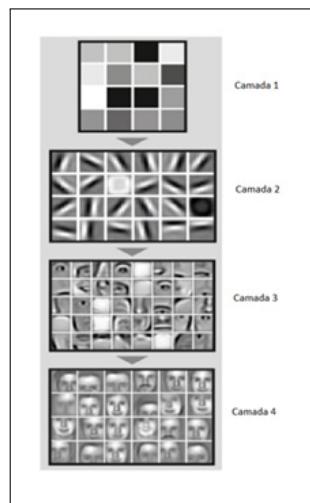


Figura 66 – Exemplo de reconhecimento de face. Fonte: Adaptada de ([IAFRATE, 2018](#))

O denominado "Machine Learning" (ML) (aprendizado de máquina) é um importante subcampo da IA que lida com o projeto e desenvolvimento de algoritmos para identificação de padrões complexos de dados, sem assumir uma equação pré-estabelecida como modelo e tomar decisões de maneira inteligente.

No ML e na DM, as RN são ferramentas poderosas na resolução de problemas como previsão, classificação, mudança e desvio de detecção, descoberta de conhecimento, modelagem de respostas e análise de séries temporais. Como elas têm uma grande variedade de formas e modelos, têm sido aplicadas com sucesso a um amplo espectro de aplicações que necessitam de uso massivo de dados como: finanças, processamento de imagem e voz, avaliação de propriedades, hidrologia, biologia computacional e produção de energia.

Na Figura 67 pode ser visto que o "Deep Learning" (DL) (aprendizado profundo) é uma subárea do ML. O DL é um subconjunto do ML. O ML depende de paradigmas diferentes, como o uso de análise estatística, analogias em dados, usando lógica e símbolos. Já o DL usa RN como única técnica de aprendizado de máquina.

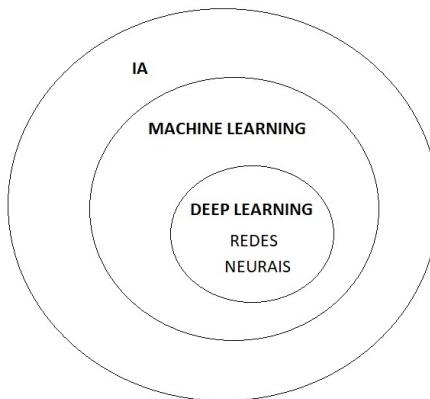


Figura 67 – IA, Machine Learning e Deep Learning

Dependendo dos recursos do treinamento, o aprendizado de máquina é categorizado *Supervisionado*, *Não Supervisionado*, *Semi-supervisionado* e *Aprendizado por Reforço*. Os aprendizados de máquina supervisionado e não supervisionado são os tipos mais amplamente adotados em vários campos de aplicação (TAFFESE; SISTONEN, 2017).

Nos métodos de aprendizado de máquina, um algoritmo deve ser desenvolvido para a resolução de problemas. Os algoritmos no aprendizado de máquina adotam várias técnicas por exemplo, reconhecimento de padrões, mineração de dados, análise estatísticas e processamento de sinais. Isso permite ao aprendizado de máquina tirar proveito da sinergia de todos esses campos, que por sua vez leva a soluções robustas usadas em diferentes domínios.

Segundo (IAFRATE, 2018) a técnica mais comum de ML é aprendizado supervisionado: o objetivo é especializar a máquina em reconhecimento de um ou outro elemento, por exemplo, uma aprendizagem digital contida em um fluxo de dados (imagem, som etc.). Esta técnica implica que temos uma idéia do resultado esperado, por exemplo, reconhecer um veículo em uma imagem. Para um programa aprender a reconhecer um objeto, um rosto, um som ou qualquer outra coisa, devemos enviar dezenas de milhares (ou milhões) de imagens anotadas como tal. Esse treinamento pode exigir dias de processamento e será supervisionado por analistas para verificar se o aprendizado ocorre ou mesmo para corrigir erros (que não seriam considerados pelo programa). Depois desta etapa de treinamento, novas imagens (que nunca foram usadas na fase de aprendizagem) são propostas ao programa, com o objetivo de avaliar o nível de aprendizado da máquina (em outras palavras, descobrir os elementos que faziam parte do aprendizado nas novas imagens).

Esta técnica é relativamente antiga, mas avançou com as recentes tecnologias. As massas de dados agora disponíveis e o poder computacional disponível multiplicaram a eficiência dos algoritmos. Essa nova geração de aprendizado supervisionado já faz parte do dia a dia: por exemplo, ferramentas de tradução automática. Analisando-se enormes bancos de dados que combinam textos e sua tradução, o programa encontra regularidades estatísticas que se baseiam na tradução mais provável que não apenas de uma palavra,

mas também de uma frase ou mesmo uma oração. A Figura 68 mostra um esquema de aprendizado supervisionado.



Figura 68 – Esquema do Aprendizado Supervisionado. Fonte: Adaptada de ([IAFRATE, 2018](#))

O aprendizado não supervisionado é talvez a maior promessa para IA. Este é o tipo de aprendizagem que encontramos na natureza. O conhecimento é construído sobre combinação de conhecimento e experiência. As experiências são a força motriz por trás da nossa aprendizagem. Na aprendizagem não supervisionada o aprender permite que humanos e animais entendam como evoluir em seu ambiente, adaptar-se a ele e finalmente sobreviver. É importante aqui distinguir os termos aprendizagem (humano) e aprendizado (de máquina).

O aprendizado não supervisionado é um modo de aprendizado que pode ser chamado de "autodidata". A máquina aprende por si mesma através de um método conhecido como "clustering" (agrupamento de elementos idênticos). Ao contrário do aprendizado supervisionado, o algoritmo não possui informações sobre os dados necessários ao processo. Esta é uma técnica muito eficaz quando não se tem ou possua pouca ideia do que está contido nas informações (ao contrário do aprendizado supervisionado, onde se tem uma ideia do resultado esperado), que pode revelar algo que não viria naturalmente à mente (usando o lado "oculto" dos dados). A Figura 69 mostra um esquema de aprendizado não supervisionado.



Figura 69 – Aprendizado Não Supervisionado. Fonte: Adaptada de (IAFRATE, 2018)

Staniek (STANIEK; CZECH, 2018) apresenta a aplicação de ML com RN para diagnóstico de pavimentos de rodovias. A solução proposta por (STANIEK; CZECH, 2018) é a medição em uma estação equipada com dispositivos eletrônicos. A estação possui um sistema que permite o mapeamento da condição do pavimento da rodovia. Os componentes mais fundamentais do sistema são: câmera estereoscópica<sup>2</sup>, algoritmos implementados com base no processamento de imagens e redes neurais. A solução referida como uma RN autocorretiva foi implementada na fase de correspondência dos pixels de imagens obtidas de pavimentos com defeitos de uma rodovia. O sistema também apresenta ferramentas adicionais envolvidas no processo de registro e posicionamento dos trechos examinados como bem como a dinâmica de movimento de um veículo. Depois que o conjunto de dados de entrada são processados, os resultados dos diagnósticos do pavimento da estrada podem ser atribuídos a um sistema de registros territoriais tridimensionais baseado em bancos de dados. O fluxograma geral da solução desenvolvida é mostrado em Figura 70. A estação de medição destina-se para mapeamento tridimensional do asfalto. Este mapeamento mostra o pavimento da estrada, incluindo seus defeitos de superfície. A implementação produz uma descrição espacial da estrada caracterizando a condição do pavimento.

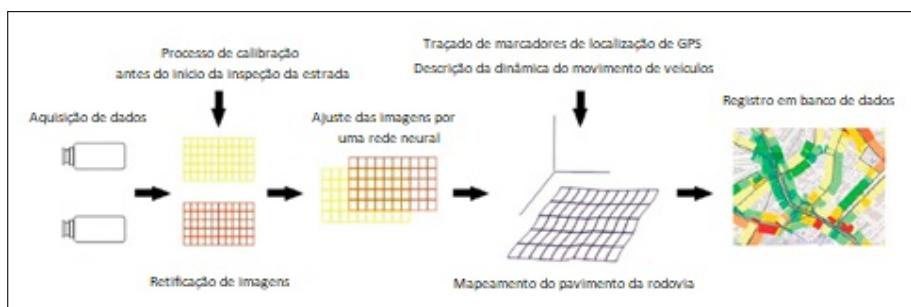


Figura 70 – Diagrama do desenvolvimento de mapeamento de uma rodovia (STANIEK; CZECH, 2018)

<sup>2</sup> As câmeras estereoscópicas são muito utilizadas em Visão Computacional porque simulam a visão humana, pois a distância entre as lentes é a aproximadamente a mesma distância entre os olhos humanos.

#### 4.2.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL DISTRIBUÍDA (IAD)

Diz-se que um sistema é de IA Distribuída (IAD) se seu funcionamento depende de um determinado conjunto de partes (não de um único elemento) para resolver de modo cooperativo um determinado problema.

Quando se trabalha com a IAD aparece o problema da coordenação de ações entre as várias partes do programa de IA. Um primeiro modelo é conhecido como o modelo do Quadro negro (QN) e compreende:

- Um conjunto de módulos independentes contendo o conhecimento do sistema sobre o assunto em pauta.
- Uma estrutura de dados compartilhada pelas diversas fontes de conhecimento, chamada *quadro negro* (QN).
- Um sistema de controle que determina como as várias fontes de conhecimento operam inserindo dados no QN.

Os módulos independentes serão chamados *Agentes*. Um agente é portanto um sistema dinâmico capaz de receber informações sobre o ambiente e agir sobre ele para realizar uma determinada tarefa. No caso do modelo do QN, os agentes se comunicam por mensagens colocadas no QN, e cada agente tem uma ação específica a realizar.

O funcionamento pode ser ilustrado usando por metáfora uma firma de fabricação de móveis, em que o trabalho deve ser efetuado por vários funcionários. Cada funcionário tem um determinado conhecimento, compatível com sua função. Assim o tesoureiro sabe como gastar, receber e calcular quanto dinheiro se tem. O chefe da fabricação conhece como produzir móveis. O chefe da manutenção conhece como reparar as máquinas, etc. A especialização favorece a economia de recursos, e além disto, como cada função está perfeitamente distribuída a um funcionário, sabe-se a cada instante a quem cabe realizar uma tarefa (ALMEIDA, 2003).

Quando um funcionário tem necessidade de algo ele vai e escreve no QN o que quer. Por exemplo, o chefe da fabricação pode estar precisando de cola para madeira. Ele vai e escreve no QN: “Preciso de cola para madeira”. O encarregado de compras lê o QN, vê a mensagem, encomenda a cola e escreve no QN: “precisa pagar R\$X por compra de cola”. O tesoureiro lê a mensagem, paga R\$X e escreve: “Cola foi paga. Vai ser entregue”. O chefe do almoxarifado vê a mensagem, recebe a cola e escreve no QN: “A cola de madeira chegou”. O chefe da fabricação lê, apaga e vai buscar a cola continuando a fabricar móveis (ALMEIDA, 2003).

Vê-se que o funcionamento é bastante simples e econômico. Entretanto tem um ponto negativo forte: e se um dos chefes faltar, e este chefe for exatamente o que deveria fazer uma ação? Tudo para! E isto ocorre por não haver alternativas previstas.

No modelo do QN a falta de alternativas no caso da falha de um *agente* foi responsável por possíveis faltas de funcionamento. Isto pode ser resolvido se a comunicação não se

fizer exclusivamente pelo QN. Pode-se imaginar um sistema no qual um agente controlador decomporá o problema e negociará com os outros agentes qual irá executar uma tarefa utilizando um mecanismo de rede de contatos.

Quando um agente falha, sua tarefa é alocada pelo agente controlador para outro agente, o que tenha melhores condições de realizar a tarefa. Neste modelo a falta de um agente não inviabiliza a realização de uma tarefa. Pode, quanto muito, retardá-la. Mas para isto é necessário que os agentes sejam “mais competentes” que os usados no modelo do QN, por poderem ter de ser usados em tarefas distintas.

Um agente é qualquer coisa que pode ser vista como percebendo através de sensores e agindo no ambiente através de atuadores. Exemplos:

- Agente Humano: um agente humano possui olhos, ouvidos e outros órgãos como sensores; mãos, braços, pernas e outras partes do corpo como efetores.
- Agente em Software: um agente de software pode perceber uma determinada entrada de dados do usuário e tomar ações. Por exemplo, a Cortana é a assistente de produtividade pessoal da Microsoft que auxilia o usuário em agendamentos, localização de dados, alarmes, lembretes, etc.
- Agente de Hardware: AVG, geração de robôs, capazes de detectar mudanças ambientais e, através da reavaliação de seus objetivos, encontrar uma nova sequência de ações capazes de perseguí-los, sem que esta sequência tivesse sido prevista. Um agente robótico pode possuir câmeras, sensores infravermelho, laser, como sensores e vários motores como efetores.

A Figura 71 ilustra como o agente inteligente que interage com o ambiente através de sensores e efetores. O agente inteligente tem capacidade cognitiva.

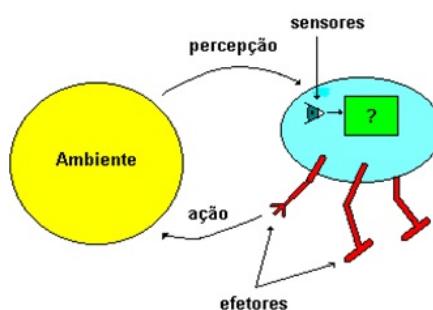


Figura 71 – Agente inteligente. Fonte: (ALMEIDA, 2003)

Portanto, um agente é algo que percebe seu ambiente através de sensores e atua no ambiente através de efetores (ou atuadores).

Os agentes inteligentes encontram numerosas aplicações nos dias de hoje. Entre elas podemos citar: o transporte de peças e ferramentas nos ambientes industriais, escavação e transporte de minérios em minas subterrâneas, exploração submarina, manutenção de

equipamentos petrolíferos a grandes profundidades, exploração espacial, investigação de vulcões, construção e manutenção de estradas, vigilância, etc.

#### 4.2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EVOLUCIONÁRIA (IAE)

A Inteligência Artificial Evolucionária (IAE) ou Computação Evolucionária, engloba os algoritmos genéticos, sistemas classificadores, estratégias evolutivas, programação genética e programação evolutiva.

Os Algoritmos Genéticos (AG) são métodos computacionais de busca baseados nos mecanismos de evolução natural e na genética. Em AG, uma população de possíveis soluções para o problema em questão evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, de modo que há uma tendência de que, na média, os indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo continua.

Os AG foram desenvolvidos em 1975 por John Holland na Universidade de Michigan com o objetivo de:

- Entender os processos adaptativos dos sistemas naturais;
- Projetar sistemas artificiais (software) que possuíssem a robustez dos sistemas naturais. Proveem uma técnica eficiente e efetiva para otimização e aplicações de aprendizado de máquina. São largamente utilizados atualmente em negócios e problemas científicos e de Engenharia.

Durante a evolução, as populações naturais evoluem de acordo com os princípios da *Seleção Natural* e da *Sobrevivência do mais apto* do Darwinismo. Os indivíduos mais bem sucedidos na adaptação ao seu ambiente terão melhor chance de sobreviver e se reproduzir, enquanto indivíduos que são menos aptos serão eliminados. Isto significa que os genes dos indivíduos altamente adaptados vão se espalhar para um número crescente de indivíduos em cada geração sucessiva. A combinação de características boas dos pais altamente adaptados podem produzir descendentes ainda mais aptos. Deste modo, as espécies tendem a tornar-se cada vez melhor adaptadas ao seu ambiente.

O AG simula esses processos evolutivos, tendo uma população inicial de indivíduos e aplicando-se operadores genéticos em cada reprodução. Em termos de otimização, cada indivíduo da população é codificado em uma string ou cromossomo, que representa uma possível solução para um dado problema. A aptidão de um indivíduo é avaliada em relação a uma função de determinado objetivo (chamada função "fitness", ou adequabilidade). Aos indivíduos ou soluções com mais aptidão são dadas oportunidades para se reproduzir através da troca de sua informação genética, em um procedimento chamado cruzamento (crossover), com outros indivíduos de fitness elevado. Isso produz novas soluções, que compartilham algumas características tomadas de ambos os pais. Associado a esse processo também existe a operação de mutação. Essa operação é frequentemente aplicada após o cruzamento, alterando alguns genes. Este ciclo de avaliação – seleção –

reprodução é repetido até que uma solução satisfatória seja encontrada conforme mostra o fluxograma da Figura 72.

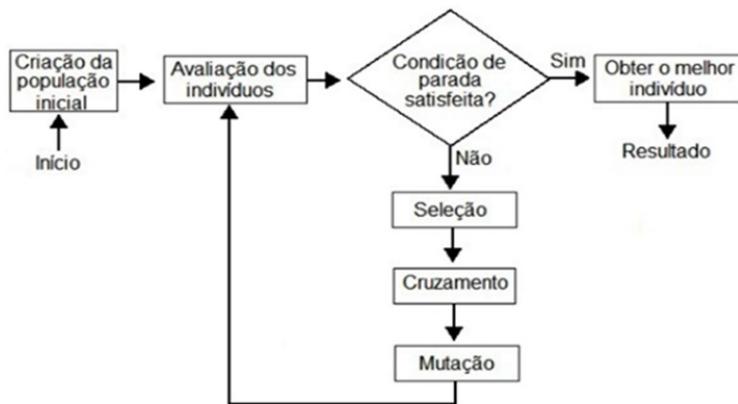


Figura 72 – Fluxograma simplificado de um funcionamento de um AG

Os componentes de um AG são:

Um problema a resolver, e ...

- Técnica de codificação (gene, cromossomo): deve-se representar cada possível solução no espaço de busca como uma sequência de símbolos gerados a partir de um dado alfabeto finito. Cada sequência corresponde a um cromossomo. Cada elemento desta sequência é equivalente a um gene. No caso geral tanto o método de representação quanto o alfabeto dependem de cada problema.
- Procedimento de Inicialização (genesis): AG operam numa população (conjunto) de pontos e não a partir de um ponto isolado. Operam num espaço de soluções codificadas e não no espaço de busca diretamente. Necessitam somente de informação sobre o valor de uma função objetivo para cada membro da população e não requerem derivadas ou qualquer outro tipo de conhecimento. Usam transições probabilísticas e não regras determinísticas. Geralmente a população inicial de  $N$  indivíduos é gerada aleatoriamente ou através de algum processo heurístico. É importante que a população inicial cubra a maior parte possível do espaço de busca.
- Avaliação e Aptidão (meio ambiente): AG necessitam da informação do valor de uma função objetivo para cada membro da população, que deve ser um valor não negativo. Nos casos mais simples, usa-se o próprio valor da função que se quer maximizar. A função objetivo dá, para cada indivíduo, uma medida de quão bem adaptado ao ambiente ele está. A avaliação de cada indivíduo resulta num valor denominado de fitness. Quanto maior o fitness, maiores são as chances do indivíduo sobreviver e se reproduzir.

- Seleção de pais (Reprodução): Emula os processos de reprodução assexuada e seleção natural. Em geral, gera-se uma população temporária de N indivíduos extraídos com probabilidade proporcional ao fitness relativo de cada indivíduo no população. Neste processo, indivíduos com baixo fitness (adequabilidade) terão alta probabilidade de desaparecerem da população (serem extintos). Indivíduos adequados terão grandes chances de sobreviverem.
- Operadores Genéticos (mutação, recombinação): a Recombinação (crossover) é um processo sexuado - ou seja, envolve mais de um indivíduo. Emula o fenômeno de “crossover”, a troca de fragmentos entre pares de cromossomos. Na forma mais simples, é um processo aleatório que ocorre com probabilidade fixa que deve ser especificada pelo usuário. O processo de mutação é equivalente à busca aleatória. Seleciona-se uma posição num cromossomo e muda-se o valor do gene correspondente aleatoriamente para um outro alelo possível. O processo é geralmente controlado por um parâmetro fixo que indica a probabilidade de um gene sofrer mutação.
- Ajuste de Parâmetros (prática e arte): Como normalmente estamos tratando de problemas de otimização, o ideal seria que o algoritmo terminasse assim que o ponto ótimo fosse descoberto. Pode haver situações onde todos ou o maior número possível de pontos ótimos sejam desejados. Na prática raramente se pode afirmar se um dado ponto ótimo corresponde a um ótimo global. Normalmente usa-se o critério de número máximo de gerações ou um tempo limite de processamento para parar um AG. Outro critério usa a ideia de estagnação, ou, seja, para-se o algoritmo quando não se observa melhoria da população depois de várias gerações.

Os AG são aplicados em muitos problemas complexos de *Otimização*. Os problemas de Otimização são frequentemente encontrados em diferentes campos técnicos ou mesmo no cotidiano. Em geral, tais problemas de otimização são úteis quando se tem objetivos contraditórios, que relacionam custos, prazos, lucros, qualidade, eficiência e outras variáveis. A formulação de qualquer problema de otimização envolve a composição de uma *função objetivo*, que relate as diferentes variáveis consideradas, bem como as *restrições* impostas a cada uma. Otimizar um determinado problema consiste em identificar a solução, ou os respectivos valores para as variáveis consideradas, que *maximize ou minimize* o valor da função objetivo, conforme a natureza do problema, de forma que nenhuma outra solução atribua um valor maior ou menor à função, respectivamente, respeitadas as restrições do problema (BENTO; KAGAN, 2008).

Existem muitos algoritmos de otimização multi-objetivo (MOO), que têm diferentes tipos de abordagem, mas a maioria deles requer pelo menos duas funções objetivas conflitantes para operar. No exemplo de Lim (LIM et al., 2019) tem-se dois objetivos conflitantes: o melhor desempenho do OTTV e o menor custo do investimento! O problema de otimização é encontrar a melhor combinação de materiais, paredes e janelas para produzir um OTTV e um custo do investimento que devem ser considerados ideais.

A revitalização verde ("Green Retrofit") é fundamental para transformar construções existentes em sustentáveis, mas o projeto e análise processos dependem de vários métodos desconexos. São necessárias várias decisões para melhorar a eficiência da construção. Lim ([LIM et al., 2019](#)) empregou um AG para resolver um problema multicritério para simulação de desempenho energético de um projeto baseado em um modelo BIM. Lim ([LIM et al., 2019](#)) utilizou um AG para **otimizar** o "Overall Thermal Transfer Value" (OTTV), ou seja, o Valor de Transferência Térmica Global e o custo do investimento da revitalização, dois objetivos conflitantes.

Um dos métodos de avaliação térmica utilizados para edifícios é o cálculo do OTTV. O estudo de ([LIM et al., 2019](#)) foi realizado no contexto da Malásia com o cálculo do OTTV baseado na norma malasiana MS 1525: 2014, que leva em consideração a proximidade da região tropical com a linha equatorial e o custo da construção da indústria local. O estudo de caso selecionado é de um prédio de escritórios de quatro andares existente em uma área total de 7500  $m^2$  (cuja foto é mostrada na letra (a) da Figura 73). Cada nível do edifício possui espaços com ar condicionado e espaços naturalmente ventilados. O prédio possui quatro orientações diferentes de fachada, que estão voltadas para noroeste, nordeste, sudeste e sudoeste. Cada fachada é composta por paredes de tijolos opacas com acabamento em gesso e janelas com vidros simples. A letra (b) da Figura 73 mostra seu correspondente modelo BIM desenvolvido no software Revit. O OTTV foi calculado usando sua equação geral e o custo total é de todo investimento para todas as orientações das fachadas do edifício. Mais informações sobre o OTTV podem ser encontradas em ([A.L.S.CHAN; CHOW, 2013](#)).



Figura 73 – Foto de um edifício e seu correspondente modelo BIM Fonte: ([LIM et al., 2019](#))

A otimização foi realizada com base em cada orientação do prédio. Com múltiplos objetivos, a condição de teste (cenários) foi determinar uma configuração adequada que pudesse ser usada com o edifício construído. Os testes de otimização foram realizados sob duas condições diferentes (cenários):

- Cenário 1: otimização apenas das janelas: com a restrição de 20 % na variação de acréscimos e decréscimos das áreas das janelas.

- Cenário 2: otimização das paredes e janelas: com a restrição de 20 % na variação dos acréscimos e decréscimos das áreas das janelas.

Lim ([LIM et al., 2019](#)) limitou a variação das áreas das janelas a 20 %, a fim de evitar que a alteração do tamanho da janela que pudesse causar conflitos com componentes da estrutura do edifício, tais como vigas e colunas.

A complexidade da avaliação da OTTV reside no processo de coleta dos dados para execução dos cálculos necessários. Os edifícios construídos são frequentemente limitados por equipamentos, infra-estrutura antiga e falta de "design" ambiental, o que causa um baixo desempenho em sustentabilidade e alto consumo de energia. Portanto, a revitalização verde de edifícios existentes é vital para mitigar os impactos ambientais negativos causados pelo setor da construção. Mesmo assim, segundo ([LIM et al., 2019](#)) as obras de modernização sustentável enfrentam desafios como altos custos de investimento, perda de informações, trabalho intensivo, uso de tecnologia antiga e baixo nível de automação. Para mitigar esta complexidade Lim ([LIM et al., 2019](#)) empregou o denominado *Algoritmo Genético de Classificação por Não Dominância II* (NSGA-II), desenvolvido por Deb ([DEB et al., 2002](#)).

A Figura 74 mostra a modelagem conceitual para a adaptação do envelope da construção. A modelagem foi desenvolvida em quatro etapas consecutivas. O **primeiro** estágio foi a preparação do modelo BIM para extração de dados. O processo de preparação exige que o modelo BIM do edifício existente esteja em conformidade com regras de modelagem e que contenha todos os parâmetros necessários para a avaliação do desempenho da construção, tais como as propriedades térmicas e o custo da revitalização. No **segundo** estágio foram utilizadas duas ferramentas: uma de autoria BIM (Revit da Autodesk) e a outra de programação visual (Dynamo<sup>3</sup>) para extração dos dados do modelo BIM. No **terceiro** estágio utilizou-se o AG NSGA II programado em MATLAB<sup>4</sup> para executar a MOO dos elementos do envelope da construção. No **quarto** estágio, foram desenvolvidos roteiros ("scripts") de programação usando o Dynamo para enviar os dados para otimização no MATLAB, armazená-los no formato EXCEL e o retorná-los ao modelo BIM de forma a atualizar o projeto do envelope de construção automaticamente no Revit com base na solução ideal (melhor e única solução).

<sup>3</sup> O Dynamo é uma ferramenta de código aberto para programação visual, que estende as funcionalidades do Autodesk Revit, na qual o usuário pode "montar" suas próprias aplicações.

<sup>4</sup> O MATLAB (MATrix LABoratory) é um software da Mathworks que integra análise numérica, cálculo com matrizes, inteligência artificial entre outras funcionalidades. Possui uma série de "toolbox", dentre eles a de Otimização com algoritmos genéticos.



Figura 74 – Método de otimização com AG de um modelo BIM Fonte: Adaptada de (LIM et al., 2019)

A Figura 75 detalha os passos do fluxo de trabalho para otimizar o OTTV e o custo do investimento do edifício existente. O ciclo começa pela extração dos dados relacionados à OTTV usando o Dynamo do modelo BIM. Em seguida, esses dados são exportados para o MATLAB para desenvolver a MOO. Por fim, os dados otimizados são retornados novamente para atualizar o modelo em BIM no Revit (ou seja, tipo de janela / parede, área de janela / parede). Os componentes do fluxo de trabalho incluem:

1. Um modelo em BIM de um edifício existente o qual contém os dados necessários.
2. Dois scripts (A: 1 e 2) desenvolvidos no Dynamo para extrair os dados relevantes (paredes e janelas) do modelo BIM do envelopamento.
3. Um script (B) desenvolvido no Dynamo para extrair os dados da biblioteca do Revit (paredes e janelas) que é usada para o processo de otimização no MATLAB. A biblioteca do Revit contém diferentes tipos de paredes e janelas de diversos tamanhos com uma variedade de propriedades térmicas de cada material para se obter resultados precisos de otimização.
4. Um algoritmo de otimização multi-objetivo (MOO) com algoritmo genético NSGA-II parametrizado usando MATLAB para a otimização do OTTV e dos custos de investimento.
5. Um script Dynamo para retornar os dados ótimos de um projeto ideal, da saída do MATLAB para o modelo BIM no Revit.

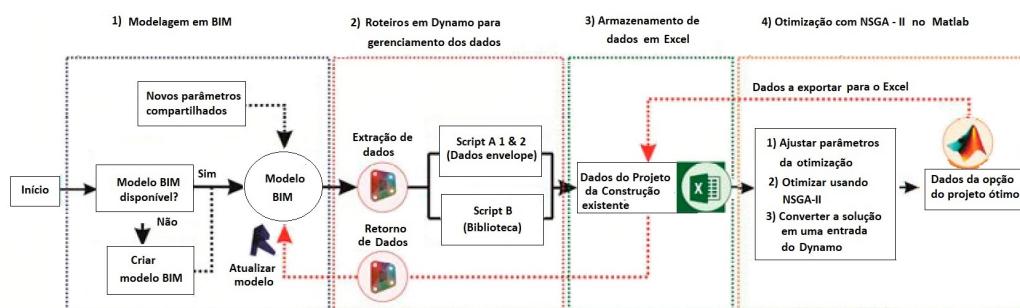


Figura 75 – Fluxo lógico de otimização de OTTV e custo de um modelo BIM de um edifício existente Fonte: Adaptada de (LIM et al., 2019)

Os resultados da otimização demonstraram que o cenário que a OTTV poderia passar de 48,83 para 25,57  $\text{W/m}^2$  e o custo de 108,522 para 96,134 RM. A Figura 76 mostra as versões antes e depois da otimização:



Figura 76 – Comparação dos modelos BIM otimizados com AG. Fonte: Adaptada de (LIM et al., 2019)

O valor ótimo do AG apresentou que as mudanças apresentadas nas letras destacadas na Figura 76 poderiam ser realizadas.

- Antes da Otimização:
  - (a) Todas as paredes de tijolos simples com 12 cm com gesso de 15x 2 mm
  - (b) Todas as janelas com vidros simples (valor  $U = 6.7 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ )
  - (c) Paredes que envolvem espaços naturalmente ventilados (por exemplo, WC) haviam sido excluídas antes de rodar o script A1.
- Depois da Otimização:
  - (A) todas as paredes: tijolos duplos com 12 x 2 cm, 10 cm de cavidade de ar e 15 x 2 mm de gesso;
  - (B) a maioria das janelas com vidros duplos com valor  $U = 3.12 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$
  - (C) As paredes excluídas permaneceram com sua cor inicial
  - (D) Todas as paredes foram atribuídas com uma nova cor.

#### 4.2.5 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL HÍBRIDA (IAH)

Sistemas Híbridos integram diferentes estratégias e representações para a solução de problemas do mundo real conforme mostra a Figura 77.

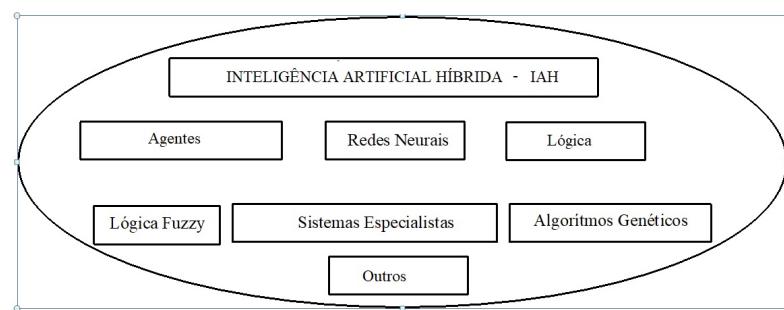


Figura 77 – Sistemas híbridos inteligentes

Um sistema inteligente híbrido combina, pelo menos, duas tecnologias inteligentes. Por exemplo, a combinação de uma rede neural com um sistema nebuloso conduz a um sistema de neuro-fuzzy híbrido.

A combinação de raciocínio probabilístico, lógica fuzzy, redes neurais e computação evolutiva forma o núcleo da Inteligência Computacional, uma abordagem para a construção de sistemas inteligentes híbridos capazes de raciocínio e de aprendizagem em um ambiente incerto e impreciso.

Os sistemas híbridos inteligentes têm a capacidade de superar alguns dos maiores obstáculos dos sistemas especialistas ao se tentar adotá-los para resolução de problemas reais, tais como:

- Aquisição de conhecimento;
- Sintetização de novos conhecimentos;
- A dificuldade de operar em ambientes dinâmicos;
- Tratar imprecisão;
- Trabalhar com similaridades.

Para aplicações envolvendo a simulação da experiência e conhecimento humanos, complexos, imprecisos, incompletos e contraditórios, é importante que os sistemas inteligentes combinem diferentes técnicas. Isto parece ser algo que cérebros já fazem naturalmente.

O desenvolvimento de aplicações que suportem tarefas de categorização e cognição, dado as suas complexidades e a contínua interação de dois tipos de conhecimento, modelos mentais e conhecimento baseado em experiências, tendem a ter um sucesso maior e um ganho de performance quando integramos diferentes técnicas de IA. A integração

de diferentes paradigmas de Inteligência Artificial tornam as aplicações mais robustas, conscientes e mais próximas do raciocínio humano, permitindo um maior êxito no desenvolvimento de sistemas para tratar problemas do mundo real.

Segundo (BLOCH; SACKS, 2018) "... *Um sistema de computador ideal para Modelagem da Construção deve ser integrado, inteligente e compatível. Os modelos inteligentes são os capazes "capacidade de manter a integridade semântica". Passar dos desenhos CAD "ignorantes" para o BIM não significa que os modelos BIM sejam "inteligentes". Os modelos BIM consistem em elementos "cientes"("aware") de suas propriedades e de seus relacionamentos com outros elementos, e pode-se argumentar que esses modelos são, em certa medida, inteligentes. Por exemplo, se alguém mover uma coluna em um modelo, qualquer viga suportada pela coluna deve estender ou encurtar de acordo. Por outro lado, usando o mesmo exemplo, também podemos argumentar que os modelos permanecem "ignorantes". Os sistemas permitem que os usuários executem ações que obviamente não são racionais no contexto do projeto de construção, portanto, por exemplo, um usuário pode mover uma coluna a uma distância muito grande e a viga suportada ainda se estenderá às ações que ainda estão faltando nos modelos BIM. A "inteligência"nas plataformas BIM existentes é expressa no modelo paramétrico e no comportamento de intenção do projeto que mantém sua integridade.*"

A literatura sobre Inteligência Artificial, no entanto, sustenta que tornar uma máquina verdadeiramente “inteligente” exige incorporar não apenas conhecimento sobre o mundo físico, mas também o que é conhecido como “conhecimento do senso comum”, que é o conhecimento geral sobre o mundo. Este tipo de conhecimento é natural para um ser humano. É usado para tarefas como processamento de linguagem e visão computacional, mas geralmente está ausente nas plataformas BIM. Por exemplo, se um modelador deixar de colocar um corrimão em uma varanda, nenhuma objeção ou aviso será levantado, a menos que uma rotina de verificação de regras criada com o objetivo seja invocada. No entanto, para um especialista humano, o erro é imediatamente óbvio. Se a largura da abertura para a lavanderia não for grande o suficiente para passar uma máquina de lavar, entendemos que isso é uma falha de projeto, embora nenhuma bandeira vermelha seja levantada pela plataforma BIM. Como sistemas orientados a objetos, as ferramentas BIM incluem representação de objetos, suas propriedades e os relacionamentos entre objetos, mas ainda estamos longe de poder nos referir às ferramentas BIM como sendo inteligentes (BLOCH; SACKS, 2018).

Os modelos 3D que contêm apenas dados 3D (métricos) não são modelos BIM. Isso significa que um modelo gerado a partir de nuvens de pontos não é um BIM, a menos que (1) inteligência paramétrica, (2) relacionamentos e (3) atributos sejam adicionados. A Inteligência paramétrica significa que um objeto (como paredes, portas e janelas) pode ser encapsulado no projeto e modificado com uma configuração simples de suas dimensões em um banco de dados do projeto. Objetos diferentes são consistentes (por exemplo, uma porta se encaixa em uma parede) para remover informações redundantes e erros de

projeto; uma mudança em um objeto específico também deve modificar os objetos com os quais ele tem uma interação direta. Por outro lado, atributos são recursos adicionais que descrevem as propriedades de elementos estruturais, como materiais de componentes e dados de energia.

A Inteligência Artificial (IA) tem cada vez mais utilização no BIM. Ainda, muito mais para análise de dados em "Business Intelligence" (BI) do que no desenvolvimento de sistemas dotados de capacidade cognitiva e comportamento dito "inteligente".

### 4.3 BUSINESS INTELLIGENCE

Segundo ([IAFRATE, 2018](#)) o Business Intelligence (BI) ou, Inteligência Empresarial, pode ser definido como um princípio de análise de dados que é "aumentado" por uma certa quantidade de ferramentas computacionais (banco de dados, painéis de análise, etc.) e "know-how" (processamento analítico de dados, etc.). Seu objetivo é ajudar os "tomadores de decisão" (estratégicos e operacionais) no gerenciamento de suas atividades.

O objetivo é a tomada de decisão certa no momento certo (o tempo é uma palavra-chave no BI), a fim de limitar os riscos de desaceleração entre a situação operacional e os indicadores que a refletem ([IAFRATE, 2018](#)).

Para ([DECKLER, 2019](#)) BI, no contexto das organizações, gira em torno de serem tomadas as melhores decisões sobre um negócio. O BI ajudaria uma empresa, por exemplo, responder às seguintes perguntas:

- Como a empresa pode atrair novos clientes?
- Como a empresa pode reter mais clientes?
- Quem são os concorrentes e como eles se comportam?
- O que está gerando lucratividade?
- Onde as despesas podem ser diminuídas?

Existem inúmeras perguntas que as empresas precisam responder todos os dias. Estas organizações necessitam de dados, juntamente com ferramentas e técnicas de BI para responder a essas perguntas e tornar efetivas suas as estratégias operacionais e decisões estratégicas. A Figura 78 mostra o processo de BI :

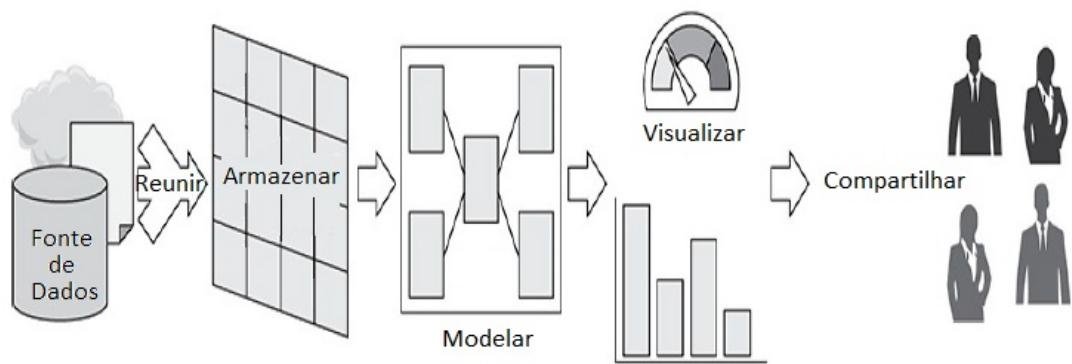


Figura 78 – Processo de Business Intelligence (BI). Fonte: Adaptada de ([LARSON, 2020](#))

Deckler ([DECKLER, 2019](#)) afirma que embora BI seja um assunto vasto em si, seus principais conceitos podem ser divididos em cinco áreas:

1. **Domínio:** Um domínio é simplesmente o contexto no qual BI é aplicado. A maioria das empresas é composta por funções comerciais relativamente padrão ou departamentos, tais como: vendas, marketing, fabricação / produção, logística, pesquisa e desenvolvimento, compra, recursos humanos, contabilidade / finanças.
2. **Dados:** Após a decisão de um domínio, o próximo passo é identificar e adquirir os dados pertinentes a esse domínio. Isso significa identificar as fontes de dados relevantes. Essas fontes podem ser internas ou externas a uma organização e pode ser de natureza estruturada, não estruturada ou semiestruturada.
3. **Modelo:** Um modelo de dados é construído sobre o armazenamento de dados para atender a dois propósitos. Primeiro, ele apresenta os dados para o usuário corporativo. Segundo, fornece um único local para armazenar cálculos sobre os negócios. Os modelos podem ser extremamente simples, como uma única tabela com colunas e linhas. No entanto, o BI quase sempre envolve várias tipos de dados de diversas fontes. Algumas fontes de dados podem ser modelos pré-construídos, armazém para dados os estruturados; BgD, NoSQL, IA, para análises sobre dados não estruturados, etc.
4. **Análise:** Depois que um domínio é selecionado e as fontes de dados são combinadas em um modelo, o próximo passo é realizar uma análise dos dados. Este é um processo chave dentro do BI, pois é quando se tenta responder a perguntas relevantes para os negócios usando dados internos e externos. A análise de dados pode assumir várias formas, como agrupar dados, criar agregações como somas, contagens e médias, além de criar cálculos mais complexos, identificando tendências, correlações e previsões. Em alguns casos, são usados ferramentas avançadas tais como análise de aprendizado de máquina, mineração de dados, análises preditivas, classificação de

dados, regressão, detecção de anomalias, agrupamento e análise de dados em tempo real e de dados não estruturados.

5. **Visualização:** O conceito-chave final em BI é a visualização ou a apresentação real da análise que está sendo realizada. Os seres humanos são orientados visualmente o que desperta o interesse na visualização de resultados de análises na forma de gráficos, relatórios e painéis. A exibição visual de tabelas, matrizes, gráficos de barras ajudam a fornecer contexto e significado para a análise. As visualizações permitem que milhares, milhões ou até trilhões de dados sejam apresentados de maneira concisa que é facilmente compreensível.

O BIM como processo e tecnologia pode fornecer maior consistência de dados estruturados para construção. No entanto, os atuais sistemas BIM devem ser desenvolvidos de forma a incorporar conhecimento não técnico e não geométrico associado às práticas de construção, além dos dados técnicos e geométricos. Nesse sentido, os sistemas de conhecimento, como ferramentas especiais, geralmente capturam as experiências de profissionais e armazena informações, casos operacionais, com todas as lições aprendidas e soluções adotadas para serem usadas posteriormente como orientação de soluções para novos problemas. Todavia, capturar o conhecimento em formato digital é sempre um problema de desenvolvimento de um sistema que se expande com o tempo, adicionando-se mais casos de conhecimento de todo o ciclo de vida de um edifício.

Na construção civil, com BIM ou não, usar BI pode auxiliar na resposta de questões do tipo:

- Quais são os padrões de fornecimento e tendências de vários materiais de construção?
- Como está o consumo de material este ano diferente do seu contraparte no ano passado?
- Quantos acidentes aconteceram nos últimos 10 anos e quanto eles custaram?
- Qual é o aumento percentual no custo de recursos humanos nos últimos 5 anos?
- O reparo da máquina tem alguma influência na construção progresso? Em caso afirmativo, qual foi o coeficiente de influência?
- e assim por diante...

Em termos do uso de BI no BIM para extrair informações de um diretório distribuído no modelo relacional, precisaríamos consultar múltiplas fontes de dados e integrar as informações em um ponto específico antes de apresentar as respostas ao usuário, o que poderia, dependendo da questão ser impossível...

O uso de ferramentas de mineração de dados em armazéns com uso de técnicas da Inteligência Artificial para tratar a complexidade do Big Data produzido pelo BIM tem

permitido a elaboração das consultas com relativo sucesso na obtenção das respostas. Além disso, este ferramental "inteligente" tem indicado que mais questionamentos sobre dados possam ser feitos, com rapidez e eficiência.

\*\*\*\*\*

---

## Referências

ALMEIDA, M. A. F. *Aprender, atividade inteligente: e se esta inteligência for parcialmente artificial?* 102 p. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, setembro, 1999. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [38](#).

ALMEIDA, M. A. F. *Hipertômatas na Computação aplicada à Educação.* 21 p. Exame de Qualificação de Doutorado, Florianópolis, Fevereiro 2001. Citado na página [54](#).

ALMEIDA, M. A. F. Notas de aulas de inteligência artificial. PUC Minas. 2003. Citado 6 vezes nas páginas [3](#), [83](#), [84](#), [85](#), [91](#) e [92](#).

ALMEIDA, M. A. F. Notas de aulas de simulação de sistemas. PUC Minas. 2009. Citado na página [28](#).

A.L.S.CHAN; CHOW, T. Evaluation of overall thermal transfer value (ottv) for commercial buildings constructed with green roof. *Applied Energy*, v. 107, p. 10–24, 2013. Citado na página [96](#).

AN, S. et al. Bim-based decision support system for automated manufacturability check of wood frame assemblies. *Automation in Construction*, v. 111, p. 249–262, 2020. Citado na página [53](#).

BARRETO, J. M. Notas de aulas modelagem e simulação de sistemas físicos e biológicos. Mestrado em Engenharia Elétrica - GPEB-UFSC. 1995. Citado 2 vezes nas páginas [22](#) e [25](#).

BARRETO, J. M. *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. 2. ed. Florianópolis: ppp Edições, 2001. Citado 5 vezes nas páginas [3](#), [68](#), [71](#), [73](#) e [83](#).

BENTO, E. P.; KAGAN, N. Algoritmos genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de redes de distribuição. *Sba: Controle & Automação da Sociedade Brasileira de Automatica*, scielo, v. 19, p. 302 – 315, 09 2008. Citado na página [95](#).

BLOCH, T.; SACKS, R. Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of bim models. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 91, p. 256–272, 2018. Citado na página [101](#).

CADZOW, J. A. *Discrete-Time Systems - An Introduction with Interdisciplinary Applications*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1973. Citado na página [24](#).

CAICARA, C. *Sistemas integrados de gestão: ERP - uma abordagem gerencial*. Curitiba: Editora Intersaber, 2012. Citado na página [60](#).

- CARNAP, R. Technical Report n. 247 Research Laboratory of Electronics, *An Outline of a Theory of Semantic Information*. 1952. Citado na página 54.
- CAYRES, P. H. *Modelagem de Banco de Dados*. Rio de Janeiro: RNP/ESR, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 35.
- CELLIER, F. *Continuous System Modeling*. Berlin: Springer-Verlag, 1991. Citado na página 25.
- CODD, E. F. A relational model of data for large shared data banks. *Comm. ACM*, n. 13, p. 377–387, 1970. Citado 3 vezes nas páginas 38, 44 e 48.
- DAVIES, W. D. T. *System identification for self-adaptive control*. London: John Wiley & Sons, 1970. Citado na página 23.
- DEB, K. et al. A fast elitist multi-objective genetic algorithm: Nsga-ii. *IEEE Transactions on Evolutionary Computing*, n. 6, p. 182–197, 2002. Citado na página 97.
- DECKLER, G. *Learn Power BI*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 12, 30, 102 e 103.
- E.DAYHOFF, J. *Neural Networks Architectures*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. Citado na página 85.
- FAYYAD, U. M.; SHAPIRO, G. P. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. [S.l.]: AAAI/MIT Press, 1996. Citado na página 66.
- GHOSH, A.; CHASEY, A. D.; MERGENSCHOER, M. Building information modeling for facilities management: currents practices and future prospects. In: \_\_\_\_\_. *Building Information Modeling Applications and Practices*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2015. cap. 9. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 23.
- GOEL, N.; THOMPSON, R. *Computer Simulations of Self-Organization in Biological Systems*. Londres & Sidney: Croom Helm, 1988. Citado na página 27.
- GUPTA, U. *Information Systems: Success in the 21st Century*. New York: Prentice Hall, 2003. Citado 6 vezes nas páginas 1, 2, 8, 9, 10 e 59.
- HILLIER, F; LIEBERMAN, G. *Introdução à Pesquisa Operacional*. [S.l.]: Artmed, 2013. ISBN 9788580551198. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 26.
- IAFRATE, F. *Artificial Intelligence and Big Data: The Birth of a New Intelligence*. Great Britain: ISTE & Wiley, 2018. Citado 6 vezes nas páginas 3, 87, 88, 89, 90 e 102.
- INTEL. *Neuromorphic Computing*. 2018. Disponível em: <<https://newsroom.intel.com.br/tag/neuromorphic-computing/#gs.8q0z9q>>. Citado na página 10.
- JOHNSON-LAIRD, P. *Mental Models*. Nova York: McGraw Hill, 1983. Citado na página 23.
- KAMBER, M. *Data Mining: Concepts and Techniques*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2001. Citado na página 65.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. *Simulation with Arena*. Sixth. New York: McGraw Hill, 2015. Citado na página 28.

- KIBERT, C. J.; HOLLISTER, K. C. An enhanced construction specific sql. *Automation in Construction*, v. 2, n. 2, p. 303–313, 1994. Citado 2 vezes nas páginas [45](#) e [49](#).
- KRATOCHVIL, M. *Managing Multimedia and Unstructured Data in the Oracle Database*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2013. Citado 4 vezes nas páginas [1](#), [11](#), [12](#) e [14](#).
- LARSON, B. *Data Analysis with Microsoft Power BI*. Nova York: McGraw-Hill Education, 2020. Citado 2 vezes nas páginas [3](#) e [103](#).
- LEE, Y.-C.; EASTMAN, C. M.; SOLIHIN, W. Logic for ensuring the data exchange integrity of building information models. *Automation in Construction*, v. 85, p. 249–262, 2018. Citado na página [77](#).
- LIEBING, R. W. The process of detailing is a refined method of professional communication, accomplished with the excellence of a guild artisan. In: \_\_\_\_\_. *Handbook of Detailing - The Graphic Anatomy of Construction*. Abingdon, UK: Springer-Verlag, 2009. Citado 3 vezes nas páginas [17](#), [18](#) e [19](#).
- LIM, Y. W. et al. Computational BIM for green retrofitting of the existing building envelope. *WIT Transactions on The Built Environment*, Southampton, UK, v. 192, n. 1, p. 33–44, 2019. Citado 6 vezes nas páginas [3](#), [95](#), [96](#), [97](#), [98](#) e [99](#).
- LU, W.; LAI, C. C.; TSE, T. *BIM and big data for construction cost management*. Abingdon, Oxon: Routledge, 2019. Citado 8 vezes nas páginas [1](#), [2](#), [4](#), [15](#), [16](#), [17](#), [55](#) e [56](#).
- LV, Z. et al. BIM Big Data Storage in WebVRGIS. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 16, n. 4, p. 2566–2573, April 2020. Citado 4 vezes nas páginas [3](#), [78](#), [79](#) e [80](#).
- MCLEOD, R.; SCHELL, G. *Management Information Systems*. New York: Prentice Hall, 2003. Citado 2 vezes nas páginas [1](#) e [22](#).
- MEIER, A.; KAUFMANN, M. *SQL & NoSQL Databases Models, Languages, Consistency Options and Architectures for Big Data Management*. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg, 2019. Citado na página [76](#).
- MICROSOFT. *Relacional versus Dados NoSQL*. 2020. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/architecture/cloud-native/relational-vs-nosql-data>>. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [39](#).
- O'BRIEN, J. A.; MARAKAS, G. M. *Introduction to Information Systems*. New York: McGraw-Hill, 2010. Citado 2 vezes nas páginas [60](#) e [61](#).
- PAVAN, A. et al. Bim electric objects plug-in for industry 4.0. In: \_\_\_\_\_. *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*. Milan, Italy: Springer Open Access, 2020. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [53](#).
- PAVAN, A. et al. National bim digital platform for construction (innovance project). In: \_\_\_\_\_. *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*. Milan, Italy: Springer Open Access, 2020. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [52](#).
- PEGDEN, D.; SADOWSKI, R. P.; SHANNON, R. E. *Introduction to Simulation Using SIMAN*. New York: McGraw-Hill Higher Education, 1991. Citado na página [28](#).

- RODRIGUES, F. et al. Development of a web application for historical building management through bim technology. *Hindawi Advances in Civil Engineering*, p. 1—15, January 2019. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [52](#).
- ROGERS, P.; GORDON, R. J. Simulation for real-time decision making in manufacturing systems. In: *WSC 93: Proceedings of the 25th conference on Winter simulation*. New York: ACM, 1993. p. 866—874. ISBN 0-7803-1381-X. Citado na página [27](#).
- ROMMEY, M.; STEINBART, P. *Accounting information systems*. New York: Pearson, 2003. Citado 3 vezes nas páginas [2](#), [41](#) e [42](#).
- RUJIRAYANYONG, T.; SHI, J. J. A project-oriented data warehouse for construction. *Automation in Construction*, n. 15, p. 800—807, November 2006. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [37](#).
- SACKS, R. et al. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling For Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. New York: Wiley, 2018. Citado 4 vezes nas páginas [1](#), [16](#), [19](#) e [20](#).
- SASAKI, B. M. *Graph Databases for Beginners: Why Graph Technology Is the Future*. 2018. Disponível em: <<https://neo4j.com/blog/why-graph-databases-are-the-future/?ref=blog>>. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [40](#).
- SCHRIBER, T. J. *Simulation Using GPSS*. New York: John Wiley & Sons, 1974. Citado na página [28](#).
- SELLAMI, R.; DEFUDE, B. Big data integration in cloud environments: Requirements, solutions and challenges. In: \_\_\_\_\_. *NoSQL Data Models: Trends and Challenges*. Abingdon: John Wiley & Sons, Inc, 2018. Citado 2 vezes nas páginas [2](#) e [40](#).
- SHANNON, R. E. Introduction to the art and science of simulation. In: *WSC '98: Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1998. p. 7—14. ISBN 0-7803-5134-7. Citado na página [27](#).
- SOLIHIN, W. et al. A simplified relational database schema for transformation of bim data into a query-efficient and spatially enabled database. *Automation in Construction*, n. 84, p. 367—383, October 2017. Citado na página [77](#).
- SOWA, J. F. *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. New York, USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1984. Citado na página [23](#).
- SPRIET, J.; VANSTEENKISTE, G. *Computer Aided Modelling and Simulation*. New York: Addison Wesley, 1982. Citado na página [27](#).
- STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. *Princípios de sistemas de informação: uma abordagem gerencial*. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2002. Citado 8 vezes nas páginas [1](#), [2](#), [29](#), [31](#), [32](#), [42](#), [43](#) e [46](#).
- STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. *Princípios de sistemas de informação*. São Paulo: Cengage Learning, 2015. Citado 11 vezes nas páginas [1](#), [2](#), [36](#), [60](#), [62](#), [63](#), [64](#), [65](#), [67](#), [69](#) e [70](#).
- STANIEK, M.; CZECH, P. Self-correcting neural network in road pavement diagnostics. *Automation in Construction*, v. 96, p. 75—87, December 2018. Citado 2 vezes nas páginas [3](#) e [90](#).

- TAFFESE, W. Z.; SISTONEN, E. Machine learning for durability and service-life assessment of reinforced concrete structures: Recent advances and future directions. *Automation in Construction*, n. 77, p. 1—14, 2017. Citado na página [88](#).
- TAYLOR, R. E.; SCHMIDT, J.; CHACHRA, V. Optimization of simulation experiments. In: *WSC '73: Proceedings of the 6th conference on Winter simulation*. New York: ACM, 1973. p. 242–263. Citado na página [22](#).
- TEOREY, T. J. et al. *Projeto e modelagem de banco de dados*. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2014. Citado na página [29](#).
- VAISH, G. *Getting Started with NoSQL*. [S.l.]: Packt Publishing, 2013. ISBN 1849694982, 9781849694988. Citado 2 vezes nas páginas [1](#) e [35](#).
- WIENER, N. *Cibernetica e Sociedade*. Rio de Janeiro: Ed. Cultrix, 1954. Citado na página [22](#).