

## **2. Referencial teórico**

### **2.1. Modelagem**

De um modo geral, construir um modelo que melhor represente o funcionamento de um processo em estudo é sem dúvida uma das principais etapas da metodologia de simulação, pois exige necessariamente um conhecimento minucioso do cenário ou arranjo estudado. Conforme Junqueira e Miyagi (2009), o modo pelo qual o sistema produtivo é modelado relaciona-se tanto nas suas particularidades como na sua complexidade, e também em fatores individuais, como experiência da equipe que está envolvida diretamente com o projeto e no nível de abstração cobijado. O autor complementa descrevendo que, em qualquer caso, a equipe deve ser capaz de entender e visualizar o sistema produtivo como um todo ou as principais partes em estudo, seu comportamento e a relação entre as partes (suas interfaces).

O modelo, na tomada de decisão, é a representação de um processo simplificado ou abstração do mundo real. Em regra é simplificada, porque a realidade é muito complexa para ser reproduzida fielmente. Com a modelagem, é possível realizar experiências virtuais e uma análise sobre um modelo da realidade, em vez de fazê-lo na própria realidade (TURBAN, 2004).

Basicamente existem três tipos de modelos, que Lachtermacher (2007) descreve, são eles: os modelos físicos, os analógicos e os matemáticos ou simbólicos.

Os Modelos Físicos baseiam-se em ícones, sendo uma réplica física de um sistema, via de regra é relacionado com as mesmas características, porém em uma escala diferente da original.

Os Modelos Analógicos, por sua vez, não se assemelham a um sistema da realidade, mas se admitem como tal, diferentemente dos modelos fundamentados em ícones. Um modelo analógico poderia ser um modelo físico, mas a forma desse modelo é diferente do sistema verdadeiro. Conforme Lachtermacher (2007),

exemplos desse tipo são mapas rodoviários que possuem pinturas das rodovias de uma região através de linhas sobre um papel ou um ponteiro que registra o nível de combustível existente no tanque, através de uma escala circular.

No que tange aos Modelos Matemáticos (quantitativos), estes são os mais empregados na modelagem de circunstâncias gerenciais em que as grandezas são concebidas por variáveis de decisões, e as relações entre as mesmas por expressões matemáticas. Um modelo simbólico deve conter um conjunto suficiente de detalhes de maneira que os resultados alcancem seus objetivos, o modelo seja robusto com os dados coletados e o modelo possa ser analisado no tempo disponível à sua concepção;

Esses modelos, segundo Silva (1998), são usados de uma parte do período de tempo analisado ao período seguinte, mostrando as mudanças ocorridas com o tempo, o que permite avaliar o resultado de um conjunto de decisões sucessivas, como demonstrado na Figura 01.

Lachtermacher (2007) menciona duas características basilares do modelo matemático, quais sejam o modelo definitivamente será uma simplificação do fato analisado e os detalhes devem ser agrupados ao modelo de maneira cuidadosa para que os resultados atinjam suas necessidades, seja consistente com as informações disponíveis, seja modelado e analisado no tempo disponível para tal.

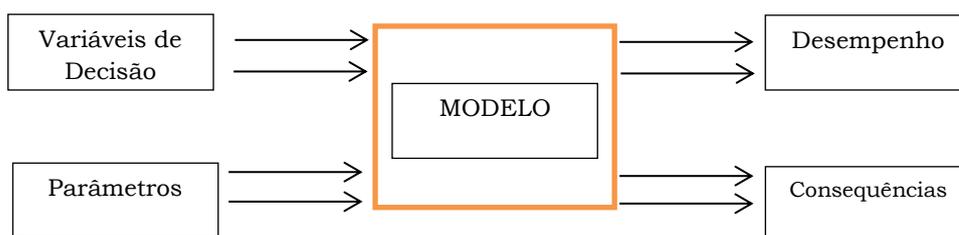


Figura 1: Representação do modelo matemático (Lachtermacher, 2007)

## 2.2. Simulação

Para qualquer empresa no ramo de serviços siderúrgicos uma ferramenta que facilite a tomada de decisão pode ser um fator competitivo no acirrado mercado mundial de prestação de serviços siderúrgicos. A simulação, nesse aspecto, pode impulsionar a alta direção da empresa a desenvolver planos estratégicos para melhoria da competitividade. Vários processos são detalhados e medidos para melhoria do seu aproveitamento isto é, aperfeiçoar suas atividades, reduzir seus recursos e otimizar seus tempos.

Coleta de tempos, análise superficiais e até mesmo tempestade de ideias são ferramentas utilizadas para otimizar os processos de negócio das empresas prestadoras de serviços siderúrgicos e são utilizadas em demasia para tomadas de decisões que muitas vezes podem não trazer o benefício desejado.

Há que se falar que é uma eficiente ferramenta para análise de processos operacionais e que pode ser utilizada para uma análise em tomada de decisões é a simulação. Esta de acordo com Hollocks (1992), é uma técnica de pesquisa operacional que elabora um cenário virtual em um computador a partir do qual uma amostra da realidade é representada, possibilitando-se realizar experiências, simulando no modelo o que pode ser previsto e o que vai acontecer na realidade.

A partir da definição que simular a realidade possibilita avaliar e tomar ações plausíveis Pedgen *et al.* (1990) descrevem que a simulação é a metodologia de compreensão de um modelo computacional de um sistema real que admite realizar qualquer tipo de ensaio através do modelo esboçado para entender seu comportamento, avaliar estratégias e tomar decisões para suas operações. Já com o intuito de copiar qualquer sistema real em qualquer que seja o serviço e as atividades inseridas, Kelton *et al.* (2004) definem que a simulação computacional de sistemas consiste no uso de um conjugado de artifícios e métodos matemáticos, com o objetivo de plugar o comportamento de qualquer sistema autêntico, na maioria das vezes utilizando-se computadores e softwares adequados.

Basicamente, a simulação não é apenas um método de determinar o custo de cada processo, o seu grau de risco e os benefícios que são aproveitados, mas

também uma maneira de considerar como todo o planejamento das atividades se inter-relaciona e quais são os efeitos derivados de cada alternativa, desenvolvendo um apoio para a tomada de decisão nos âmbitos operacional, tático e principalmente no estratégico.

Vieira (2006) e Aksarayli e Yildiz (2011) descrevem alguns resultados positivos e ganhos para a indústria a partir da simulação, tais como:

- Redução de custos com estoques inadequados, dimensionando-os perfeitamente de acordo com o planejamento da produção;
- Aumento da performance de processos já estabelecidos na empresa;
- Previsão dos efeitos de algumas decisões e resultados;
- Produção de informações para discutir as causas dos resultados observados;
- Avaliação das ideias e identificação de ineficiências;
- Desenvolvimento de novas ideias;
- Teste de integridade e viabilidade de seus planos;
- Aprovação que os novos processos sejam examinados e confirmados antes de suas aplicações;
- Conseguir um nível de otimização elevada de recursos e de pessoal;

Esses pontos positivos da simulação são de suma importância para os gestores e membros de organizações que necessitam de informações concretas para realizar decisões. A ferramenta simulação e suas considerações principais são, em geral, naturalmente acessíveis e explicáveis, tanto para pessoas que utilizam quanto para a gerência que toma a decisão de aplicá-la em seus projetos e investir em recursos para melhoria dos processos (FREITAS, 2008).

### 2.2.1. Utilização da simulação

Com a competitividade cada vez mais acirrada, a busca constante de uma maior produtividade e a excelência na eficiência dos processos faz com que as empresas de diversos ramos procurem cada vez mais ferramentas que auxiliem nas tomadas de decisões e no ganho operacional. Com isso vale ressaltar que, em diversos casos, a simulação computacional pode trazer vários benefícios para diversas áreas de serviços. Algumas dessas áreas são mencionadas na Figura 2, representada por Vieira (2006):

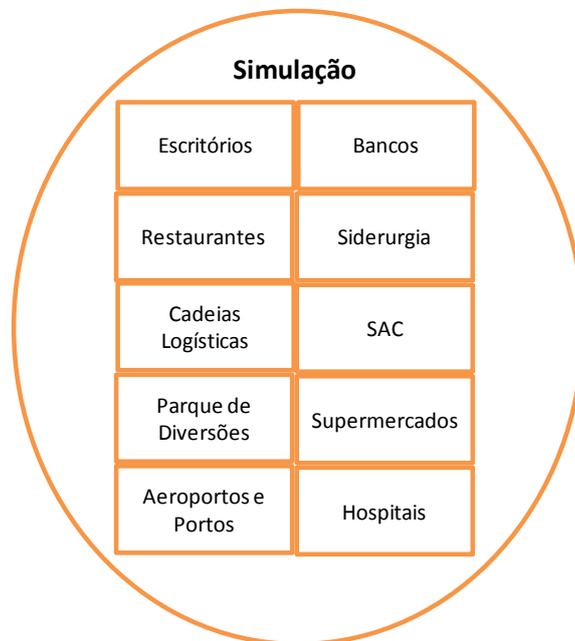


Figura 2: Áreas de aplicação da simulação (Vieira, 2006)

É comum dedicar esta ferramenta para estudo de sistemas de filas complexos, administração de como está o comportamento do estoque, estimativas da probabilidade de finalizar o estudo desenvolvido dentro do prazo, projeto e operação de sistemas de distribuição e diagnóstico de risco financeiro (VIEIRA, 2006).

Além dessas aplicações, Vieira (2006) exalta a área da saúde como favorável a ampliar o uso desta técnica com uma abordagem diferenciada

envolvendo o progresso de doenças em seres humanos. Outras áreas de serviços, tais como, serviços governamentais, bancos, hotelaria, restaurantes, instituições educacionais, forças armadas, centros de entretenimento, entre outros, também são adequadas para o seu uso.

### **2.2.2.**

#### **Tomada de decisões com o auxílio da simulação**

A partir da mudança da informação e o acesso a computadores mais potentes, muitas empresas tiveram que melhorar suas tomadas de decisões. Como cita Lachtermacher (2007), a percepção gerencial se constituía na única alternativa viável para tomada de decisões, visto que não existiam nem dados e/ou informações sobre os problemas, ou mesmo poder computacional para resolvê-los. Porém com o aparecimento de novos microcomputadores e com o refinamento da tecnologia de bancos de dados, esta deixou de ser a privilegiada opção para tomadores de decisão.

Os modelos de simulação são projetados e rodados para fornecer entendimento para a tomada de decisão e escolher rumos de ações apropriadas. Completando, também relata que com o resultado de uma simulação de computador, o gestor pode isolar as principais causas de ineficiências, gargalos ou funcionamento intermitente e, em consequência, melhorar substancialmente o comportamento do sistema (WAGNER, 1986).

De acordo com Lachtermacher (2007), com essa poderosa ferramenta no contexto atual, muitos gerentes deixaram de utilizar somente sua intuição, o que se mostrava comum no processo de tomada de decisão.

Pode-se, portanto, entender a tomada de decisão como o processo de identificação de uma oportunidade ou de um problema e seleção de uma linha de ação para resolver este. Dando mais ênfase a essa poderosa ferramenta demonstra-se que:

As técnicas de simulação podem ser usadas para analisar o desempenho de possíveis tentativas de melhoria, de maneira relativamente rápida e eficiente, sem que para isso sejam necessários grandes investimentos, como contratação de novos funcionários ou mudanças de layout, evitando assim gastos desnecessários. (BARRETO et.al., 2012)

[...] tendo em vista suas incontáveis possibilidades de aplicação e sua contribuição no processo de decisão gerencial para uma organização. (BARRETO et.al., 2012).

Pode-se também mencionar a existência de fatores que devem ser analisados na tomada de decisão para não comprometer os processos ou mesmo a estratégia da organização. Lachtermacher (2007) destaca alguns destes fatores:

- Tempo disponível para tomada de decisão
- A importância da Decisão
- O ambiente
- Certeza/Incerteza e Risco
- Agentes Decisórios
- Conflito de Interesses

Silva (1998) descreve determinados desafios que, ao concretizar a simulação, o corpo gerencial pode obter ganhos ao tomar decisões como: a avaliação do número de atendentes em um supermercado sendo de grande importância para não acrescer o custo direto; na programação de sistemas com retroinformação, como o caso de empresas que fabricam por encomenda; e, no dimensionamento de estoques que é preciso sustentar o atendimento dentro dos modelos previamente estabelecidos com a maior economia possível no gerenciamento e na manutenção dos estoques.

Contudo, Silva (1998) destaca ainda que, a simulação é de grande valia para tomadas de decisão quando o método a ser estudado é composto por um número significativo de dados e também quando a empresa só assume decisões através da análise empírica.

Sendo assim, ressalta-se que a simulação é uma das principais ferramentas de apoio à decisão, a qual auxilia os gestores a antever os efeitos prováveis de uma determinada ação e permite, assim, que as decisões apropriadas possam ser aplicadas (MUHAMMAD et al., 2009).

### **2.2.3. Aplicações da simulação computacional**

Atualmente, o uso da simulação vem crescendo em múltiplos setores de serviços. Algumas áreas onde a simulação tem sido empregada no cenário mundial e nacional estão descritas a seguir.

#### **2.2.3.1. Manufatura**

Desde empresas manufatureiras até exploração de petróleo, inúmeras modelagens computacionais podem ser encontradas. Segundo Castilho (2004), as principais análises que podem ser realizadas nesta área são:

- Mudanças de projetos já existentes decorrentes de expansão, alteração de layout, permuta ou complemento de equipamentos ou a adição de novos produtos. Gargalos podem ser identificados e antecipados através de um novo fluxo;
- Um melhor fluxo de produção pode ser obtido em um planejamento de um processo produtivo novo;
- Uma política de estoques ajustada ao processo produtivo. Encontrando o equilíbrio ideal entre a solicitação de matéria-prima e produção tendo um ganho no fluxo do processo produtivo.

Greasley (2008) utilizou a simulação para analisar a instalação de uma nova fábrica do setor têxtil com o objetivo de proporcionar um exemplo de prática e testar a proposição de que a simulação de eventos discretos é uma ferramenta apropriada no contexto do projeto de instalações, para definir o quantitativo total e benefícios qualitativos da realização da simulação, além de beneficiar a redução dos custos operacionais e a possibilidade de um projeto com o layout mais eficiente, isto é, antes de se ter a fábrica operando. Verificou, ainda, que o processo de realização do projeto de simulação iniciou discussões úteis sobre o funcionamento da instalação, cobrindo áreas como a gestão dos departamentos e suas inter-relações, a precisão dos dados mantidos sobre a capacidade da máquina, práticas de trabalho, tais como padrões de turnos e procedimentos de produção que evoluíram ao longo do tempo.

Verifica-se, portanto, que a simulação de eventos discretos apresenta uma facilidade para a aplicação na prática e pode proporcionar uma compreensão qualitativa do comportamento dos processos ao longo do tempo e alcançando benefícios com esta técnica.

Um exemplo de aplicação da simulação computacional na área industrial, utilizada por EKREN E ORNEK (2008) foi a comparação de dois tipos de layout: o funcional e o celular. O objetivo da comparação, tem como foco a interação com os parâmetros de fabricação que afetam a medida de desempenho de diferentes processos e também o melhoramento dos níveis do fluxo médio de peças, tempo de produção, tamanho de lotes, máquinas paradas e capacidade dos dois tipos de layout.

Outro exemplo de aplicação da metodologia de simulação foi realizado na empresa automotiva FIAT, sediada em Istambul, na Turquia. Como resultados desse estudo, estabeleceram-se as regras para melhorar o rendimento do sistema produtivo como redução do espaço ocupado, melhores regras de programação, redução do custo e redução dos lead times (BELGE, 2013).

Outra aplicação foi realizada na empresa produtora de alumínio Alumar, onde a simulação apoia o PCP, pois permite avaliar se, com dada programação mensal, a empresa consegue produzir no tempo estabelecido, se possui alguma sobra na capacidade ou se parte da produção não será realizada. Estrategicamente é possível analisar a questão da eficiência e disponibilidade da planta frente a uma grande variação de cenários, com relação às famílias de produtos, o PCP e as configurações de equipamento (BELGE, 2013).

#### **2.2.3.2. Logística**

O processo de gerenciar a movimentação e estocagem de produtos e materiais dentro da empresa, entre empresas ou entre cliente final e empresas é o objetivo do estudo. A simulação pode ser utilizada para melhorar estas transações, identificando os recursos apropriados dentro de centros de coleta e distribuição, verificando caminhos mais eficientes para a acelerada execução das atividades dos processos (CASTILHO, 2004).

A empresa Volkswagen realizou uma análise quantitativa fundamentada nas metodologias de otimização e de simulação combinadas que obtiveram efeitos significativos para a redução dos custos. Visto que o transporte por estrada de ferro tem um custo menor do que o rodoviário, uma política de custo otimizado abrange a adoção de um número maior de CDs. Sob certas circunstâncias, uma solução ótima tem o potencial de economizar mais de U\$20 milhões por ano em custo com transportes (BELGE, 2013).

Outro estudo de caso foi realizado na empresa ArcelorMittal, a partir do qual o modelo de simulação mostrou gratas surpresas em relação aos estudos anteriores, realizados pela empresa, feitos em planilhas no software Excel®. Descobriu-se que o número de carros-torpedo necessários para assegurar a produtividade com o acréscimo do Alto-Forno 3 é menor que o previamente pensado. Cada carro-torpedo custa cerca de U\$ 2 milhões, o que evidencia a dimensão da economia alcançada pela ArcelorMittal com o projeto de simulação (BELGE, 2013).

### 2.2.3.3. Serviços

O setor de serviços vem apresentando uma crescente evolução como uma tendência mundial. Isto porque, as pessoas têm buscado qualidade de vida, gastando mais tempo em lazer, restaurantes ou outras opções de lazer que satisfaçam suas necessidades. A Tabela 1 apresentada pelo IBGE (2012) comprova o desenvolvimento do setor de serviços.

Tabela 1: Indicadores do PIB do 1º trimestre de 2012

Período de comparação	Indicadores						
	PIB	AGROPEC	INDUS	SERV	FBCF	CONS. FAM	CONS. GOV
Tri/ Tri anterior	0,2	-7,3	1,7	0,6	-1,8	1,0	1,5
Tri ano corrente/ Tri ano anterior	0,8	-8,5	0,1	1,6	-2,1	2,5	3,4
Acum. em 4 tri/ 4 tri imediatamente anteriores	1,9	0,8	0,7	2,1	2,1	3,2	2,3
Acum. ano corrente/ Acum. ano anterior	0,8	-8,5	0,1	1,6	-2,1	2,5	3,4
Valores correntes no trimestre (R\$ milhões)	1.033.349	44.666	229.559	602.063	193.198	658.906	203.095

Sendo Tri= trimestre; AGROPEC= Agropecuária; INDUS= Indústria; SERV=Serviço;

Observa-se que, no Brasil, o PIB (Produto Interno Bruto) foi de 1.033.349,00 no primeiro trimestre de 2012 e o setor de prestação de serviço ficou em segundo lugar com 602.063,00 que representa 58,3 % do PIB, demonstrando a importância do setor para o crescimento do País.

A simulação pode ser aproveitada para análise de sistemas que garantem uma qualidade maior na prestação de serviços, proporcionando um ganho de tempo na execução e eficiência no suprimento (CASTILHO, 2004).

Pode-se citar alguns tipos de serviços onde a simulação auxilia esta análise:

- Bancos: permite um estudo de impacto de máquinas de auto-atendimento no tamanho das filas de clientes e o número de caixas necessários em diferentes horários de atendimento;
- Supermercados: o estudo da implementação de caixas rápidos para redução do tempo médio de espera do cliente, o número de caixas necessárias em diferentes horários de atendimento e na instalação de leitores ópticos nas caixas registradoras no tempo de atendimento.
- Transporte: permite avaliar qual modal de maior valia e qual o impacto no comprimento das filas quando utilizado em tipos diferentes de pagamento de passagem.

É possível identificar outro exemplo de aplicação da metodologia de simulação. A empresa do segmento de cartões de crédito American Express ao utilizar tal simulação computacional, visou modelar a lógica no processo de roteamento do sistema de chamadas telefônicas para, assim, testar diferentes estratégias de roteamento de chamadas para diferentes agentes com múltiplas habilidades (BELGE, 2013).

Duman (2006) realizou a análise de outra hipótese para aplicação da simulação, na qual uma empresa de transportes que realiza distribuição de mercadorias, ao utilizar a simulação como ferramenta de apoio à decisão em um estudo de eventos discretos, obteve como resultado a redução de custos e menores erros em decisões pela gerência da empresa. Vale ressaltar que o estudo teve

como premissas básicas a análise, coleta de dados, projeto do modelo conceitual, modelo de desenvolvimento, verificação e validação, ensaios experimentais e relatórios.

Após essas etapas foi possível identificar as variáveis responsáveis pela variabilidade nas respostas de saída dos processos e focar no problema real e na análise dos resultados, tendo a simulação como uma ferramenta de contribuição significativa na tomada decisão. Isso contribuiu para alta direção da empresa com uma economia de 15% em mão-de-obra direta e indireta e gerou interesse da utilização da ferramenta em outros projetos.

#### **2.2.3.4. Médico – hospitalar**

Se por um lado a crescente tecnologia aplicada a novos processos hospitalares acarretou o desenvolvimento do setor, por outro gerou o aumento de custos, a estagnação do crescimento de hospitais e uma acentuada demanda por qualidade nos serviços. Estes são os fatores responsáveis por forçar os hospitais a aumentar sua produtividade (CASTILHO, 2004), para isso e com a finalidade de melhorar e garantir seus processos no desempenho das entidades hospitalares, várias técnicas de engenharia de produção tem sido utilizadas, dentre elas a simulação.

Em um processo de implantação de inovações, o Hospital Abert Einstein iniciou no ano passado um programa de simulações nas atividades de prestação de serviço a pacientes e serviços de apoio. As simulações foram realizadas para obter respostas sobre os problemas do serviço, mas também para medir a capacidade de atendimento de cada setor, os tempos de espera, os pontos de gargalo para o fluxo dos serviços, a utilização efetiva de cada sala da unidade, a utilização dos recursos (humanos e físicos), entre outros (BELGE, 2013).

O St. Lukes Hospital realizou a simulação para melhorar o tempo de enfermaria gasto somente por problemas de disposição (Layout), cujo resultado foi um sistema de salas de tratamento totalmente independentes, sem nenhuma especialização. A eliminação de todos os postos de enfermagem e a sua substituição por uma área de triagem maior e mais eficiente foram responsável por

uma nova maneira de coletar e processar amostras, assim como a devolução adequada de resultados aos pacientes, como, por exemplo, a entrega de raio-x. Além disso, concluiu-se que a simulação computacional permitiu um decréscimo na duração da espera na unidade de até 40%, bem como um aumento na qualidade do atendimento e na satisfação da enfermagem (BELGE, 2013).

Os autores Siebren et al. (2001) apontam quais os resultados podem ser obtidos através de experiências de simulação de eventos discretos para otimizar o uso da capacidade de utilização de uma sala de cateterismo. O objetivo foi obter uma visão do impacto de alterações em procedimentos sobre o número de pacientes que podem ser operados durante um dia, utilizando a simulação de um modelo validado para investigar os efeitos dos diferentes procedimentos. Foram utilizadas três diferentes estratégias de agendamento no mesmo ambiente, sendo que a estratégia simulada através da idade foi a melhor sugerida e a tomada de decisão realizada pelos gestores do hospital foi facilitada pela simulação realizada.

#### **2.2.4. Vantagens e desvantagens da simulação**

A utilização da simulação é vantajosa quando a empresa consegue apresentar a realidade de seus processos para o âmbito computacional, disseminando ideias básicas de gestão por meio de opções debatidas e interpretadas.

Dado um conjugado particular de variáveis para a entrada, o modelo é executado e o comportamento do sistema é ponderado. Com isso aumentam os horizontes com probabilidades de reproduzir resultados aos gestores. Segundo Freitas Filho (2008) a simulação permite compreender melhor quais as variáveis são mais importantes em relação à performance e como as próprias se correlacionam entre si e com os demais elementos do sistema. Frigeri *et al.* (2007), por sua vez, explana que a simulação admite o estudo particular de cada elemento do sistema e, com os resultados em pauta, perspectivas são ponderadas e avaliadas e, se for o caso, ajustadas com rapidez, atenuando a incerteza nas decisões tomadas.

Conforme Vieira (2004), a simulação pode propor grandes vantagens se aproveitada para tomadas de decisões mais eficientes permitindo a redução de riscos e custos abrangidos em um processo ou projeto.

Dentre as vantagens do uso da simulação em sistemas de modelagem e avaliação de desempenho pode-se citar, por exemplo:

- permite diagnosticar extensos períodos em espaço de tempo pequeno e também como avaliar e comparar os efeitos sob diversas perspectivas (FRIGERI et al, 2007);
- admite inúmeras repetições, reprojeta e examina novamente, armazenar uma história detalhada completamente precisa, abreviando e ponderando os dados gerados de forma rápida (WAGNER, 1986).
- propor hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos sucedem, além de ser utilizada para sustentação de eventos (PEDGEN et al.,1990);
- permite diagnosticar a análise de sensibilidade do tipo what-if (o que acontece se...) e várias políticas de decisão podem ser examinadas e confrontadas rapidamente (CORRÊA et al., 2001);
- controlar o tempo: ele pode ser aumentado ou contido admitindo um aumento acelerado ou uma redução da velocidade do fato em estudo (FREITAS FILHO, 2008).

Em muitos casos, conforme Abreu e Rangel (1999), determinados problemas podem ser de difícil solução, o que torna praticamente impossível encontrar soluções “perfeitas” a partir da utilização dos modelos matemáticos analíticos, tornando-se a simulação uma ferramenta intensa de apoio à decisão admitindo que soluções potencialmente boas sejam testadas (CORRÊA et al., 2001).

Mesmo tendo inúmeras vantagens não se pode deixar de mencionar as desvantagens que a simulação proporciona, que são:

- a simulação pode se tornar custosa e levar diversos meses para o seu desenvolvimento, principalmente quando os dados são de complexa obtenção (VIEIRA, 2006);
- a constituição e alimentação do modelo requerem muita dedicação e discernimentos apurados (CORRÊA et al., 2001), tendo em vista que sem dados de entrada adequados a simulação deixa de produzir bons resultados;
- uma vez que os modelos tentam captar a variabilidade dos sistemas, é comum que apareçam dificuldades em determinar quando existe alguma relação significativa no sistema ou nos processos aleatórios construídos embutidos do modelo (PEDGEN et al., 1990), o que caracteriza a simulação como uma ferramenta de difícil explanação, em determinados momentos;
- a prática se dá ao longo do tempo, com a obtenção de experiência (BANKS e CARSEN, 1984), fazendo com que a construção do modelo requiera treinamento exclusivo para os envolvidos no projeto.

### **2.2.5. Metodologia de desenvolvimento da simulação**

Todo problema que envolve simulação para ser solucionado é geralmente recomendado descrever em um primeiro passo a etapa de planejamento do sistema que pretende estudar. Com a finalização dessa etapa, é realizada em seguida a modelagem, o experimento e por fim a conclusão do projeto e as tomadas de decisão.

Para Freitas (2008) apud Banks (1984), Law e Kelton (1991), Pegden (1990) e Kelton e Sadowski (1997) tais etapas do desenvolvimento da simulação são mostradas, na Figura 3, através de um fluxograma.

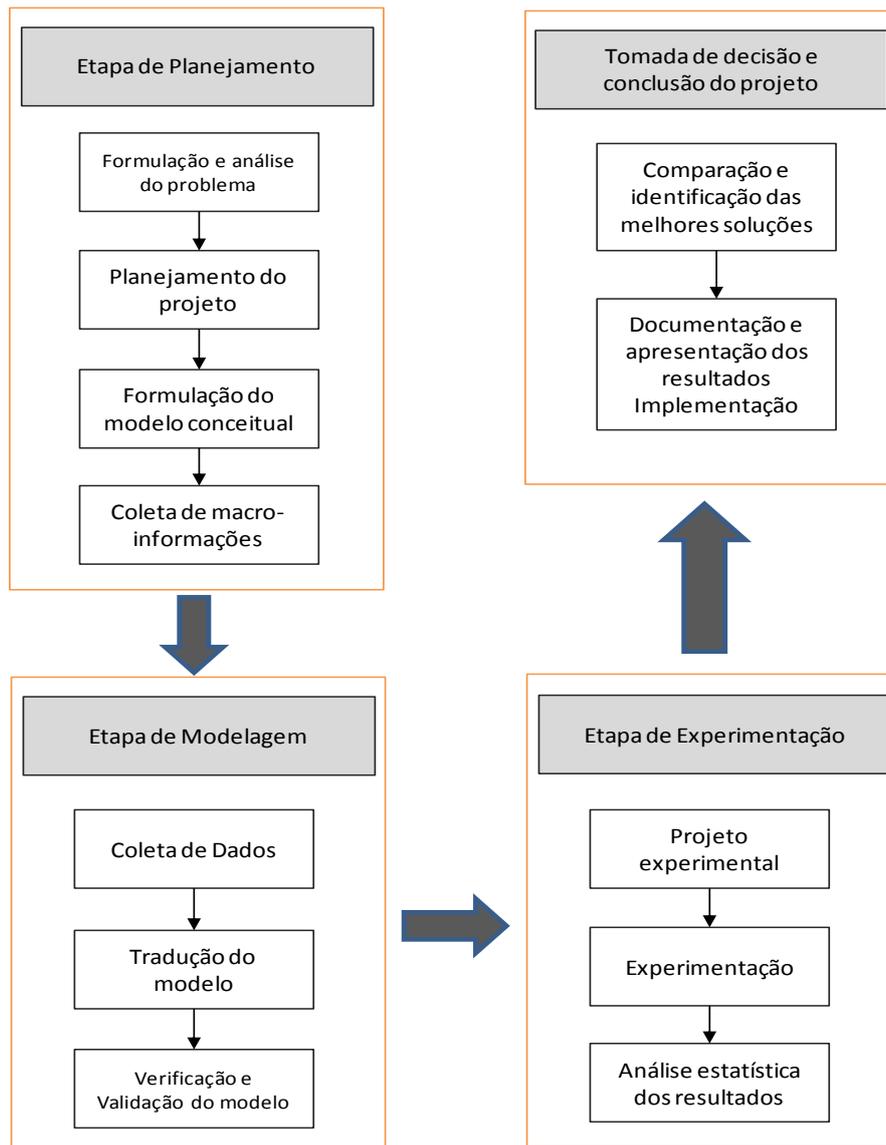


Figura 3 - Passos de um estudo envolvendo modelagem e simulação (Freitas, 2008)

Analisando essas principais fontes de modelagem e simulação, Freitas (2008) descreve essas etapas detalhando-as para uma melhor compreensão.

- **Formulação e Análise do problema:** Todo estudo de simulação começa com a descrição do problema. Freitas (2008) afirma que as intenções e fins devem ser claramente definidos. Para chegar a essa formulação algumas importantes perguntas devem ser respondidas, como:

- ✓ *Por que o problema está sendo estudado?*
- ✓ *Quais serão as respostas que o estudo espera alcançar?*
- ✓ *Quais são os critérios para avaliação da performance do sistema?*
- ✓ *Quais são as hipóteses e prerrogativas?*

- Planejamento do Projeto: almeja-se nessa etapa a certeza de que os recursos como pessoal, software, suporte e gerência serão disponibilizados para a realização do trabalho proposto. Freitas (2008), diz que, além dos recursos supra mencionados, o planejamento deve incluir uma exposição dos vários cenários que serão analisados e um cronograma com o tempo de cada atividade.

- Formulação do modelo conceitual: como o modelo real é representado por um modelo conceitual, Freitas (2008), sugere delinear um esboço do sistema, através de fluxogramas, determinando elementos, apresentando as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema. Castilho (2004) descreve que é recomendado começar a modelagem da forma mais simples para depois evoluir o modelo proposto. Além disso, Freitas (2008, p.29) sugere outras perguntas a serem respondidas:

- ✓ *Qual estratégia de modelagem? Discreta? Contínua? Uma Combinação?*
- ✓ *Que quantidade de detalhes deve ser incorporada ao modelo?*
- ✓ *Como o modelo reportará os resultados? Relatórios pós-simulação? Animações durante a execução?*
- ✓ *Que nível de personalização de cenários e ícones de entidades e recursos devem ser implementados?*
- ✓ *Que nível de agregação dos processos (ou de alguns) deve ser praticado?*

- Coleta de macro-informações e dados: informações e dados das atividades são coletados através de históricos reais e acompanhamento in-loco dos processos que serão simulados. Freitas (2008) descreve que em geral macro-informações servem para conduzir os futuros esforços de coleta de dados voltados à alimentação de parâmetros do sistema modelado.

- Tradução do sistema modelado: ter conhecimento dos princípios fundamentais da simulação, bem como um treinamento adequado com a ferramenta de simulação que será utilizada. A partir de questões básicas, Freitas (2008,p.30) enfatiza esse assunto:

✓ *Quem fará a tradução do modelo conceitual para a linguagem de simulação? É fundamental a participação do usuário se este não for o responsável direto pelo código.*

✓ *Como será realizada a comunicação entre os responsáveis pela programação e a gerência do projeto?*

✓ *E a documentação? Os nomes de variáveis e atributos estão claramente documentados?*

- Verificação e Validação: verificar o sistema simulado e validar conforme a realidade, a partir de várias repetições do cenário. Castilho (2004) relata que a etapa de verificação tem o objetivo de averiguar se o modelo está rodando adequadamente tanto no nível funcional quanto computacional e se as informações geradas satisfazem o objetivo de estudo. Já com relação à validação, Castilho (2004) descreve que nesta etapa é necessário que o desenvolvedor do processo simulado interaja com o pessoal que domina o processo para que consiga identificar a validade do modelo.

- Projeto experimental e Experimentação: projetar um conjunto de experimentos que determine a informação almejada, decidindo como cada um dos testes deve ser concretizado é o principal objetivo dessa etapa. O fundamental objetivo é conseguir mais informações com menos experimentações (Freitas 2008).

- Interpretação e Análise estatística dos resultados: visa analisar as avaliações de desempenho nos cenários planejados. Segundo Castilho apud Law e Kelton (1991), sugere que sejam utilizados intervalos de confiança para determinar a precisão estatística dos resultados, bem como o uso de saídas gráficas. Algumas questões são sugeridas por Freitas (2008, p.31), tais como:

- ✓ *O sistema modelado é do tipo terminal ou não-terminal?*
- ✓ *Quantas replicações são necessárias?*
- ✓ *Qual deve ser o período simulado para que se possa alcançar o estado de regime?*

- Comparação de sistemas e Identificação das melhores soluções: a ideia nessa fase é a comparação de todas as propostas entre si, com a finalidade de encontrar a mais adequada das soluções.

- Documentação: a documentação é sempre necessária e de grande importância para o trabalho, isso é descrito em dois passos por Freitas (2008):

*1º - serve como guia para que alguém, familiarizado ou não com o modelo e os experimentos realizados, possa fazer uso do mesmo e dos resultados já produzidos;*

*2º - se forem necessárias futuras modificações no modelo, toda documentação existente vem facilitar e muito os novos trabalhos.*

- Apresentação dos resultados e Implementação: os resultados da simulação devem ser realizados por toda a equipe participante de forma clara e sem surpresas de última hora.

Vale ressaltar que as etapas acima não precisam estar necessariamente presentes em todos os projetos desenvolvidos e também não precisam seguir a ordem, tendo em vista que isso dependerá das características de cada projeto.

O método de desenvolvimento do projeto do estudo de caso será embasado nas etapas acima relatadas.

#### **2.2.6. Software de simulação utilizado**

Para se realizar uma simulação computacional é necessário ter um conhecimento em algum software de simulação disponível no mercado mundial. Esse conhecimento foi possível através de várias experiências com novos computadores, onde Prado (2004) relata que, a partir de meados dos anos oitenta, a simulação passou a explorar o enorme potencial do computador, acarretando o surgimento da chamada “simulação visual”. Desta forma, tal contaminação foi predominante para criação de vários softwares com essa finalidade, tais como: Arena, Taylor, Promodel, Automod, GPSS, etc.

Um dos principais softwares utilizados no mercado é o ARENA®, o qual segundo informações de PARAGON (2008) é um “ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho & animação, análise estatística e análise de resultados”.

O referido software (ARENA®), por apresentar-se como uma ferramenta completa, será utilizado como base para o estudo de trabalho o qual tem por objetivo principal mostrar a simulação como uma poderosa ferramenta para tomada de decisão.

#### **2.2.7. Distribuições estatísticas**

Na construção de modelos de simulação se faz necessário uma coleta de dados que mostre a realidade do comportamento dos processos estudados. É a confiabilidade desses dados que faz gerar resultados confiáveis. Qualquer modelo que seja alimentado com dados errados terá as suas saídas (output) com respostas erradas.

Geralmente para o tratamento dos dados utilizam-se programas para auxiliar na definição da melhor distribuição de probabilidade. Para esse auxílio poderá ser utilizado um software de estatística, entre os quais se pode destacar: StatFit®, Best Fit e Minitab®, etc, um exemplo é mostrado na Figura 4.

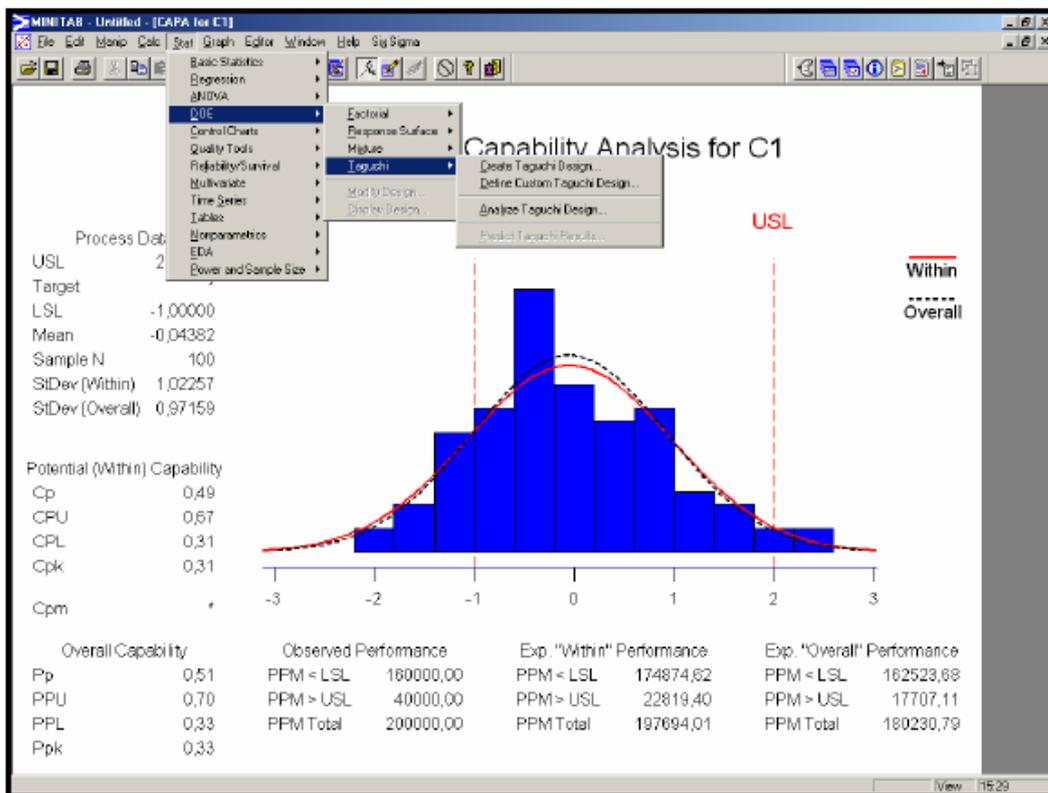


Figura 4: Exemplo do software estatístico

Para uma visão geral das principais distribuições estatísticas as seções seguintes fornecem informações a respeito dessas distribuições.

### 2.2.7.1. Distribuição normal

A distribuição normal é geralmente uma das principais distribuições estatística. É conhecida também como distribuição gaussiana. Um grande número de variáveis aleatórias podem ser representadas por essa distribuição, por isso a sua grande importância.

Correa (2003) descreve que essa distribuição é conhecida como “curva em forma de sino”, a partir da qual, uma vez realizadas repetidas mensurações, não se observa o mesmo resultado todas as vezes, mas ~~sim~~ apenas um conjunto de valores que oscilam, de forma simétrica em torno do valor real. A partir da figura 5 é possível verificar graficamente a curva de distribuição normal.

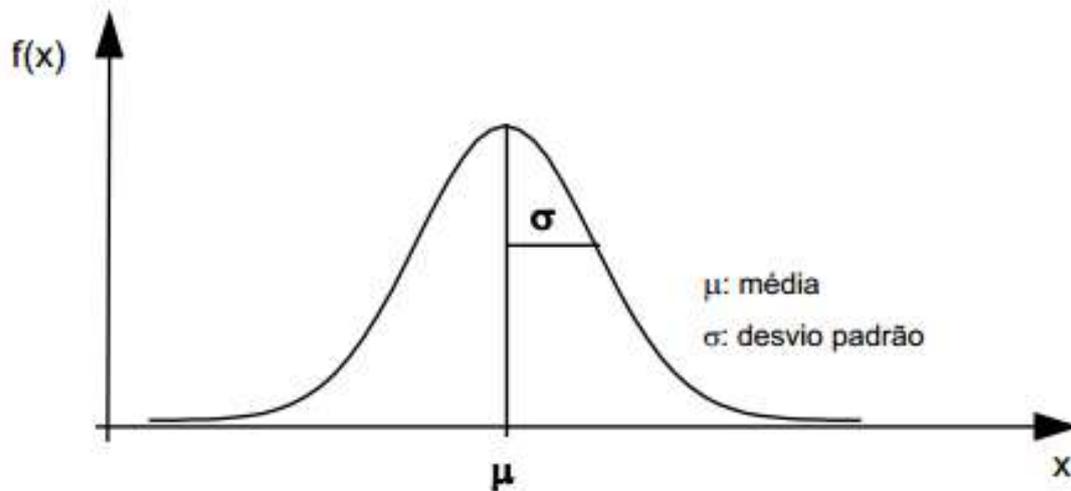


Figura5: Representação da curva Normal.

Conforme Triola (2008), a área total sob a curva igual a “1” e todo ponto da curva com altura vertical não inferior a “0” são condições necessárias para criar uma função de densidade. A Equação (1) representa a densidade normal padrão.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad -\infty < x < \infty$$

eq.(1)

onde,

$\mu = \text{média}$

$\sigma = \text{desvio - padrão}$

### 2.2.7.2. distribuição exponencial

Essa distribuição é conhecida como uma função de taxa de falha constante, utilizada para representar o tempo entre ocorrências aleatórias, como situações com tempo de espera em uma fila. É usada como modelo para o tempo de vida de certos produtos e matérias ou tempo para completar uma tarefa ( DUARTE apud HARREAL et al.,2000; SOARES et al.,1991). A equação da representação da curva de distribuição exponencial é apresentada na figura 6.

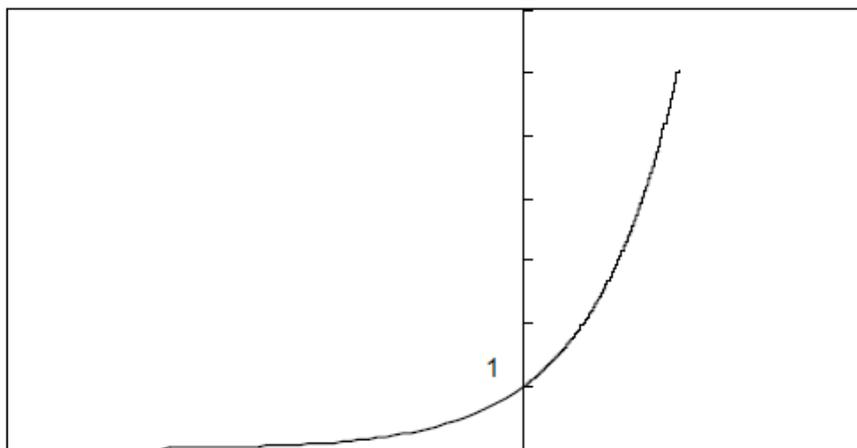


Figura 6: Representação da curva Exponencial

Pode-se observar que, se  $x < 0$ , a área sob a curva é limitada, o mesmo valendo para a função geral  $f(x) = e^{\alpha x}$ . Com isso, segundo Triola (2008), é possível definir uma função de densidade a partir da função exponencial  $e^{\alpha x}$ , isso se limitando ao domínio dos números reais negativos. Vale registrar que  $f(x) = e^{\alpha x}$  equivale à função  $e^{-\alpha x}$  para  $x > 0$ .

Porém 
$$\int_0^{\infty} e^{-\alpha x} dx = \left( -\frac{1}{\alpha} e^{-\alpha x} \right)_0^{\infty} = \frac{1}{\alpha}$$
 eq.(4)

Logo 
$$\propto \int_0^{\infty} e^{-\alpha x} dx = 1$$
 eq.(5)

e, portanto,  $f(x) = \alpha e^{-\alpha x}$  define uma função de densidade de probabilidade para  $x > 0$ . Essa função é mostrada na equação (6).

$$f(x) = \begin{cases} \alpha e^{-\alpha x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad \text{eq.(6)}$$

### 2.2.7.3. Distribuição Gama

É uma distribuição de probabilidade das mais gerais entre as contínuas. Essa distribuição pode ser utilizada, representando tempo de reparo de máquinas, tempos de serviços ou mesmo tempo de vida de produtos, conforme descreve Law e Kelton (1982). Segundo Triola (2008), essa distribuição é uma generalização da distribuição exponencial, que utiliza a função gama representada pela equação (7).

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\alpha-1} dx \quad \alpha \geq 1 \quad \text{eq.(7)}$$

Uma variável aleatória tem distribuição gama com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  e sua função de densidade de probabilidade é mostrada pela equação (8).

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x \leq 0 \end{cases} \quad \text{eq.(8)}$$

onde,

$\alpha$  = *parâmetro de forma*;

$\beta$  = *parâmetro de escala*;

$e$  = *base do logaritmo neperiano*;

$x$  = *número de ocorrências*;

A forma da curva dessa distribuição está representada na figura 7. É ilustrada o efeito do parâmetro  $\alpha$  sobre a densidade gama.

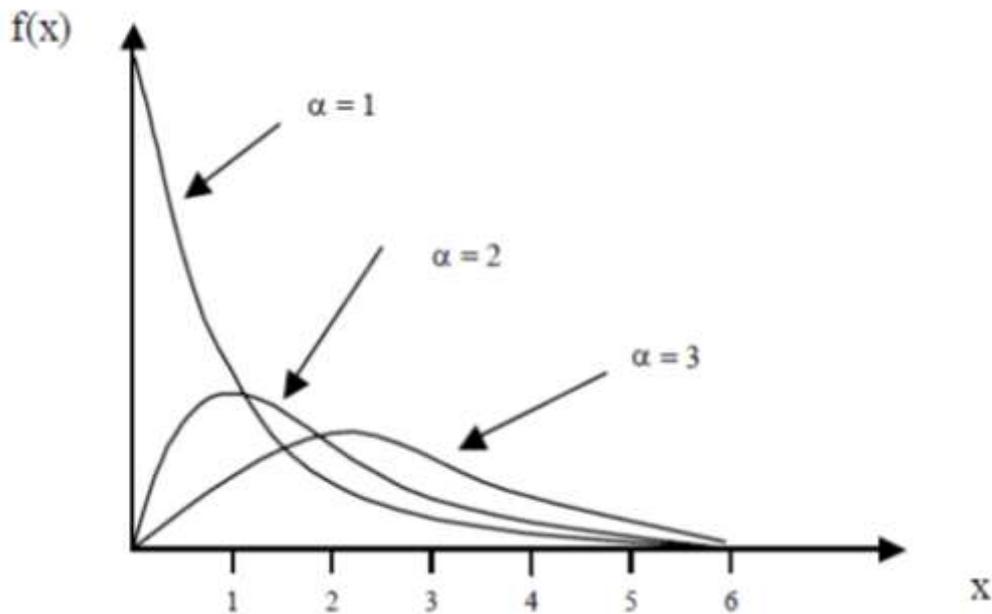


Figura 7: Curva da Distribuição Gama

#### 2.2.7.4. Distribuição Binomial

Essa distribuição é definida como uma variável aleatória discreta de probabilidades que descreve o número de vezes que um evento ocorre em “n” repetições independentes do experimento (MENDES, 2010). Duarte (2003) descreve que essa distribuição é usualmente utilizada para encontrar determinado número de peças defeituosas em um lote de produção de tamanho “k”. Sua função de probabilidade é representada pela equação (11), a média pela equação (12) e a variância pela equação (13).

$$f(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x} \quad \text{eq. (11)}$$

para  $x = 0, 1, 2, \dots, n$ .

$$\mu = np \quad \text{eq. (12)}$$

$$\text{Var}(x) = npq \quad \text{eq. (13)}$$

### 2.2.7.5. Distribuição de Poisson

É uma distribuição que quando  $n \rightarrow \infty$  e  $p \rightarrow 0$ , mantendo-se constante o  $\alpha = np$  na expressão da distribuição binomial esta se torna uma distribuição de Poisson. Segundo PEREIRA (2000) é uma distribuição discreta. Sua função de distribuição é representada pela equação (14) onde é possível obter a probabilidade de ocorrências do evento  $x$  vezes em um intervalo e seus parâmetros pela equação (15).

$$P(X = x) = \frac{e^{-\alpha} \alpha^x}{x!} \quad \text{para } x = 0, 1, 2, \dots \quad \text{eq. (14)}$$

onde,

$$\alpha = \text{média}$$

Tal distribuição se aplica a ocorrências de eventos ao longo de intervalos determinados, sendo que a variável aleatória  $x$  corresponde ao número de ocorrências do evento no intervalo (TRIOLA, 2008).

### 2.2.7.6. Distribuição de Weibull

Tendo um campo muito vasto de aplicação, a função weibull tem sido amplamente utilizada em vários fenômenos aleatórios. Conforme Hines et al. (2011), uma das principais utilizações da distribuição weibull refere-se a sua capacidade de fornecer uma excelente aproximação à lei da probabilidade de diversas variáveis aleatórias. Essa distribuição têm sido importante na área de aplicação mecânica e elétrica, como modelo para o tempo de falha de componentes.

Sua função de densidade é representada por três parâmetros conforme definida na equação (15) e sua representação gráfica conforme a figura 8.

$$F(x) = \frac{\beta}{\delta} \left( \frac{x - \gamma}{\delta} \right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x - \gamma}{\delta}\right)^\beta\right], \quad x \geq \gamma$$

$$= 0, \quad \text{caso contrário.}$$

eq. (15)

onde,

$\gamma$  = *parâmetro de localização*;

$\delta$  = *parâmetro de escala*; e

$\beta$  = *parâmetro de forma*.

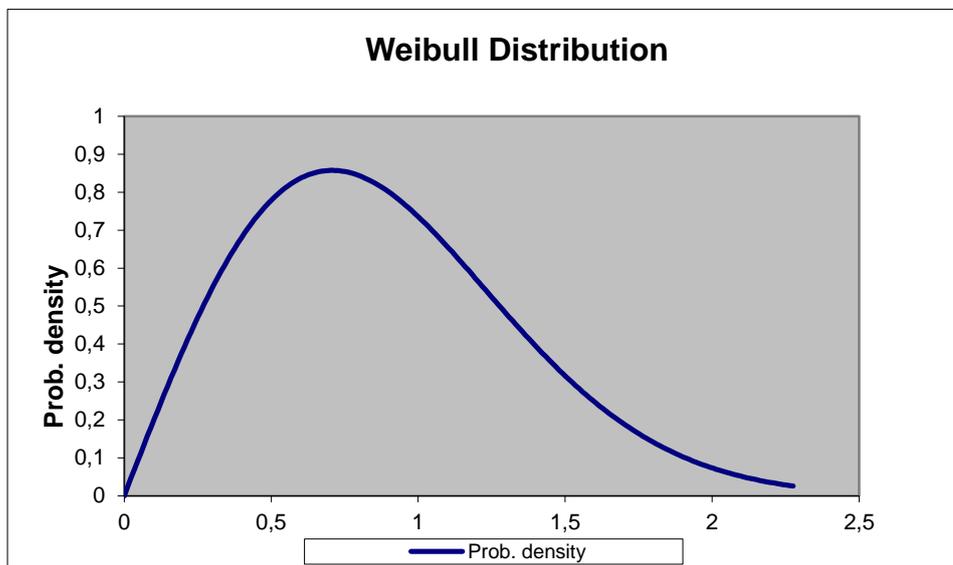


Figura 8: Função Densidade de Weibull para  $\beta=2$