

2 METODOLOGIA

2.1 Referencial teórico

Koskela, em seu estudo intitulado *Application of the New Production Philosophy to Construction* (Aplicação da Nova Filosofia de Produção à Construção – NFPC), de 1992, abordou a necessidade de se reduzir o desperdício na indústria da construção civil e para tanto apresentou idéias tais como a visão da construção como sendo composta por fluxo de processos.

O pensamento de Koskela (1992) é baseado no *lean thinking* (pensamento enxuto), importado do modelo de produção aplicado à indústria automobilística na década de 50, o *lean production* (produção enxuta). O fluxo descrito por Koskela emerge de um dos cinco princípios do *lean thinking*, onde se deve fazer o valor fluir sem interrupções.

Para o autor, já na década de 90, era possível observar que os problemas de fluxo são causados por conceitos convencionais de administração. Koskela (1992) percebe que os princípios convencionais de administração violam os princípios de fluxo do processo e, deste modo, induzem a não-otimização do fluxo e a uma expansão das atividades que não geram valor.

Ele propôs ainda uma reestruturação do processo construtivo, onde deveria ser feita uma mudança de visão de conversão para visão de gestão de fluxo. Após a publicação de seu estudo seminal, diversas linhas de pesquisa foram traçadas.

No ano de 1994 Howell e Ballard dão seguimento à pesquisa de Koskela, descrevendo a chave da transição do modelo construtivo convencional para o modelo enxuto como sendo a redução de desperdício, focada diretamente na redução de custos.

Com a fusão das idéias de Koskela (1992), Howell e Ballard (1994) se observa a aplicação de fluxo contínuo na construção civil aliada diretamente à redução de desperdícios /custos.

Este estudo é norteado por essa fusão de idéias: FLUXO CONTÍNUO + REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO, e se desdobra à medida que, em mais de quinze anos da publicação de Koskela (1992) tem-se desenvolvido várias linhas de

pesquisa a respeito do assunto, mas ainda não se percebe um consenso sobre a aplicabilidade dessa nova filosofia de produção à construção.

O estudo de Koskela (1992) é ponto inicial de muitas frentes de pesquisa, no entanto, suas vertentes se dividem à medida que os pontos de chegada estão distribuídos conforme o foco a que se destinam. Não se deseja somente adaptar a produção enxuta à indústria da construção civil, de modo que seja validada essa nova filosofia de produção à construção, mas procura-se extrair ao máximo os benefícios que podem ser gerados com a aplicação da Construção Enxuta, sem que essa filosofia venha a gerar um sistema construtivo isolado.

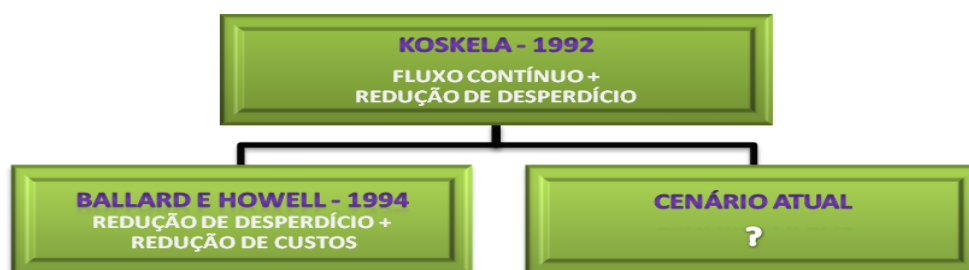


Figura 2.1: Origem do referencial teórico.

Um dos desdobramentos do primeiro estudo de Koskela de 1992, já no ano de 1998, estabelece diretrizes características da construção enxuta, onde observa a construção como não sendo única e sugere ações que podem levar à redução de sua singularidade, tais como: padronização dos componentes, utilização de modularização e pre-fabricação, uso de equipes permanentes, etc. Estas diretrizes procuram seguir os padrões da produção enxuta característica da indústria automobilística, que na verdade atua como montadora seqüencial de um determinado projeto padrão, o que não ocorre na construção civil, pois, em suas palavras, apresenta singularidade em relação a seus projetos executivos (KOSKELA, 1998).

No entanto, também se verifica a repetição de atividades na indústria da construção civil. Identificar inicialmente onde os conceitos da construção enxuta podem ser aplicados pode ser o ponto chave para revelar qual parte de implantação do processo tem sido falha.

Desta maneira, tendo sido identificados inicialmente como principais fatores determinantes da aplicabilidade do modelo enxuto à construção: a padronização dos componentes, utilização de modularização e pre-fabricação, opta-se neste trabalho,

por se estruturar seu escopo por meio da construção com a utilização de estruturas metálicas.

Apesar da grande variedade arquitetônica ao qual se pode recorrer ao utilizar este tipo de estrutura, seu uso por muitas vezes é modular, desde a logística de transporte à logística de montagem. Desta maneira irá se focar o uso da estrutura metálica aproveitando sua característica modular, que permite a fabricação de perfis metálicos (utilizados como vigas e pilares) em dimensões pré-definidas, adequadas ao projeto, de modo que as características enxutas de modularização e padronização dos componentes estejam preservadas.

Esta é apenas a primeira justificativa que aponta o trabalho como baseado em prerrogativas *lean* de construção, o que não quer dizer que o mesmo será focado na apresentação de um modelo enxuto, mas se utilizará deste referencial teórico para justificar as práticas utilizadas na análise de seus resultados.



Figura 2.2: Diretrizes estabelecidas por Koskela (1998).

2.1.1 Crítérios de estruturação do estudo

A construção é dividida em dois aspectos: um deles abrange uma variação lenta, segura e projetos simples para um fim rápido. O outro aspecto abrange uma variação incerta e projetos complexos.

Para o primeiro aspecto, uma estratégia de produção seria apropriada, ou seja, construir mais como processo de fabricação, através de iniciativas como padronização. Para o projeto dinâmico, no entanto, uma estratégia de produção é insuficiente. É necessário aprender a gerir incerteza, complexidade e velocidade, interiormente às condições características de um *site* de produção na construção, condições de produção local, produto único, e organização temporária (BALLARD e HOWELL, 1998).

Ballard e Howell (1998) concordam com as diretrizes de Koskela (1998) que defende que a indústria da construção tem uma variação lenta, segura e utiliza projetos simples para um fim rápido. Verifica-se, entretanto, que a proposta da adoção de uma estratégia de produção parece não ter sido suficiente, até o momento, para encontrar uma solução definitiva para os problemas referentes à construção civil. Cabe destacar que houve alguns avanços, de caráter parcial, no sentido de diminuir as perdas no processo construtivo, com resultados expressivos, mas ainda não suficientes.



Figura 2.3: Diretrizes estabelecidas por Ballard e Howell (1998).

Desta maneira, ganha consistência a utilização da estrutura metálica como proposta inicial para análise, uma vez que a idéia de padronização dos componentes também é compartilhada pelos autores.

A estratégia de produção citada por Ballard e Howell (1998) poderá ser aplicada quando se determina a cadeia de valor da construção. Neste caso, a cadeia de valor da construção permitirá o conseqüente mapeamento do fluxo de valor, onde será possível identificar todas as atividades no processo construtivo e o modo como se comportam neste processo.

O mapeamento do fluxo de valor revela os fluxos de trabalho e informação lado a lado. Ele também revela desperdício de tempo para expor o ciclo de tempo para cada operação e o tempo total do processo. Isto quer dizer que todo o processo deverá ser pre-definido e deverão ser traçadas as alternativas que mais se aproximam do modelo enxuto. Uma vez determinada a estrutura metálica como sendo objeto de estudo, o próximo passo será o de se determinar as atividades inerentes ao processo construtivo com este tipo de estrutura.

O empreendimento visto de forma global pode ser dividido em duas partes, infra-estrutura (fundações) e superestrutura (esqueleto do empreendimento). Por entender que na maioria dos casos o modelo de repetição é maior na superestrutura

que na infra-estrutura, o foco do estudo se voltará para a primeira. Na infra-estrutura, o planejamento e execução das fundações compreendem uma etapa complexa, porém única, sem “repetições verticais”. Enquanto que na superestrutura há um número maior de repetições modulares.

Assim, as atividades a serem determinadas no mapeamento do fluxo de valor serão mapeadas conforme estejam relacionadas à construção da superestrutura.

Dentre as inúmeras atividades que podem ser descritas na fase de planejamento para execução da superestrutura, determinou-se o foco do estudo sobre o mapeamento das atividades ligadas à concretagem das lajes da superestrutura.

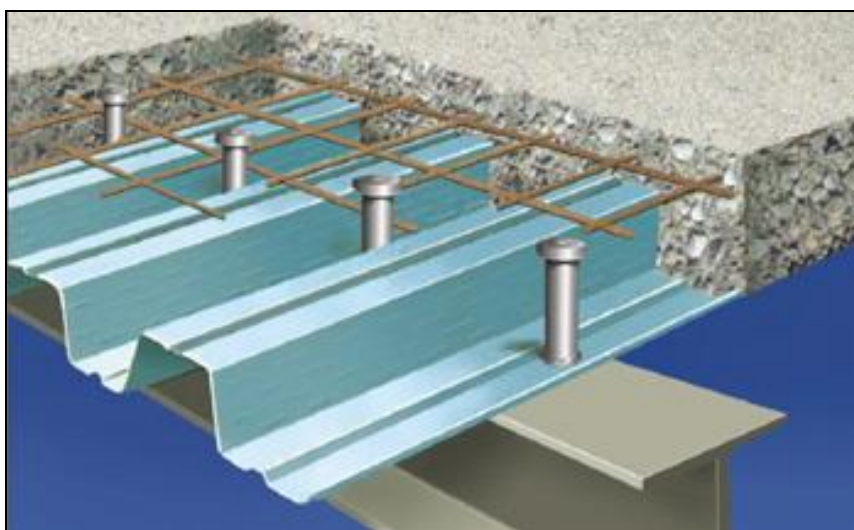


Figura 2.4: Corte transversal da estrutura utilizada na montagem do *steel deck*.

Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica , 2009.

Tratando-se desta maneira o problema, foram escolhidas três atividades determinadas no Mapeamento do Fluxo de Valor executadas durante o processo de concretagem das lajes da superestrutura, ilustradas pelas figuras 2.4 e 2.5:

- Corte e montagem do *steel deck* – **Steel Deck – Atividade A1**;
- Corte e montagem de telas soldadas – **Armação – Atividade A2**;
- Concretagem das lajes – **Concretagem – Atividade A3**.



Figura 2.5: Corte transversal da estrutura utilizada na montagem do *steel deck*.

Fonte: Revista Metálica – Arquitetura e Construção, 2009.

A determinação destas três atividades como foco deste estudo baseia-se no fato de que este é um desdobramento do trabalho de Oliveira (2007), onde é estabelecido que:

- A edificação é predial e comercial;
- A estrutura da edificação é metálica;
- A área da plataforma de trabalho possui 1000 m²;
- O gabarito é de 140 m ou 40 pavimentos, sendo 36 pavimentos tipo;
- Não será utilizado escoramento para execução das lajes.

Pode-se desta forma descrever o objeto do trabalho como sendo a análise das atividades envolvidas no processo de concretagem das lajes de 36 pavimentos tipo de uma construção predial e comercial que utiliza estrutura metálica. Cada laje possuindo área aproximada de 1000 m².

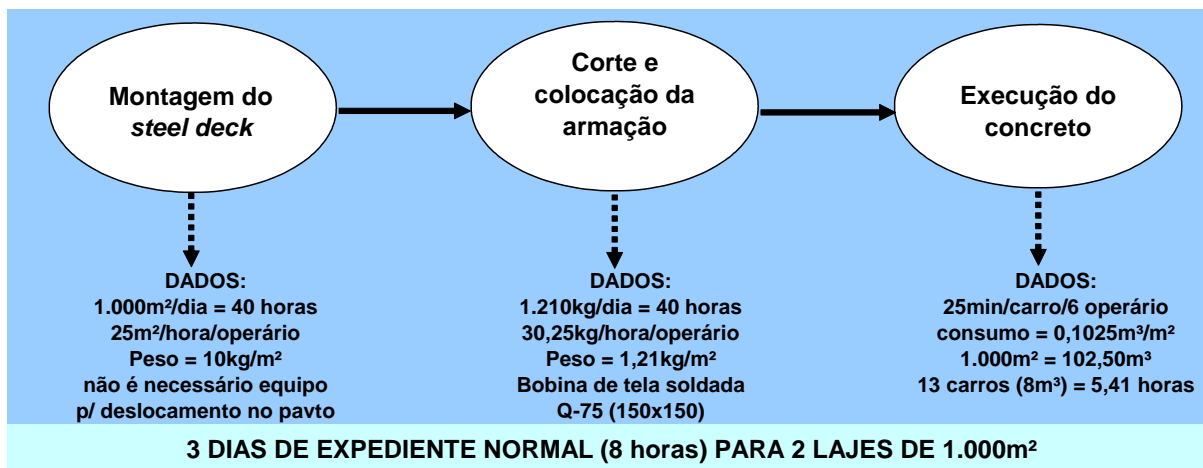


Figura 2.6: Seqüência do Tempo de Ciclo (T/C) para SD, A e C.

Fonte: OLIVEIRA, 2007.

Propõe-se que as atividades na construção de determinado tipo de empreendimento sejam moduladas, pois desta forma pode ser medido o tempo de ciclo de cada atividade isoladamente, determinando-se para cada módulo a ser trabalhado uma equipe que executará a frente de serviço. Neste trabalho, como são determinadas três atividades seqüenciais, deve ser medido o tempo de ciclo para cada atividade.

Oliveira (2007) determina um turno de 8 (oito) horas para as atividades de *Steel Deck* e Armação, excetuando-se a atividade de concretagem, onde a atividade em si abrange dois pavimentos. Para que o estudo seja equalizado, inicialmente o tempo de ciclo de cada atividade será fixado em oito horas, que representa um turno normal de trabalho, inclusive para a concretagem.

Esta idéia, módulo x tempo x equipe (figura 2.7) é a concepção que possibilitará a organização de um fluxograma das atividades na obra, onde o balanceamento entre estas atividades é essencial para que a seqüência estabelecida pelo procedimento *lean* possa medir e reduzir ao máximo as ocorrências de retrabalhos e esperas (AZEVEDO, 2007).

O mapeamento do fluxo de valor é ressaltado como ferramenta enxuta na medida em que é entendido como ferramenta de gerenciamento da construção, onde o mapeamento do tempo necessário para se completar uma atividade. Neste caso, o tempo de ciclo pode ser medido não apenas como uma unidade de tempo,

mas também como unidade de valor, estabelecendo o custo ligado a este tipo de desperdício.

Interpretar unidades de tempo como unidades de valor através do mapeamento do fluxo de valor é um modo de quantificar o desperdício, portanto, um caminho para reduzi-lo ou eliminá-lo. Em estudo de caso para aplicação dos conceitos enxutos na fabricação de concreto pré-moldado, Ballard (2003) descreve parte do sucesso do estudo: “a chave da mudança estava em aprender a identificar e utilizar o fluxo de trabalho como sendo o oposto de administrar focando o esforço em manter trabalhadores e canteiro ocupados”.



Figura 2.7: Estrutura proposta por Azevedo (2007).

Do ponto de vista operacional, a validação da construção enxuta depende de estudos de caso que verifiquem a evolução do processo. Entretanto, por estarem sendo desafiados paradigmas industriais tradicionais e desenvolvidos princípios industriais novos, uma maneira de se buscar resultados factíveis seria por meio da simulação do processo construtivo utilizando recursos eletrônicos e a análise dos dados proporcionados pela simulação.

Neste trabalho é elaborada uma planilha eletrônica em sistema operacional de fácil acesso (Microsoft EXCEL), que tem como objetivo simular o tempo de execução das atividades decorrentes da construção civil, neste caso específico, a simulação do tempo de execução de atividades como *steel deck*, armação e concretagem.

De acordo com Al-Sudairi (2007), os modelos de simulação se tornaram uma ferramenta de experimentação dos princípios enxutos em processos mais simples. Em atividades menos complexas fica fácil estudar os efeitos da aplicação da construção enxuta, de modo que os modelos são dispostos de maneira que o tempo de ciclo seja medido com maior facilidade. Os modelos de Al-Sudairi (2007) foram

criados baseados no tempo de ciclo das atividades e os resultados serviram de base para comparação entre o modelo inicial de construção e o modelo enxuto.

Este trabalho é fundamento principalmente nas primeiras idéias apresentadas por Koskela (1992), Howell e Ballard (1994), que datam do início da década de 1990. Entretanto, solidifica-se com os desdobramentos mais recentes destes mesmos autores, aliados a estudos de caso realizados por Tommelein (1997), assim como Alves (2000) e Al-Sudairi (2007).

O critério estabelecido para a simulação proposto neste trabalho, ou a interpretação dos resultados obtidos, serão descritos conforme a apresentação deste estudo e a definição dos termos utilizados nele.

2.2 Objeto de estudo

Este estudo compreende a análise das perdas no tempo do processo construtivo. Esta análise é pontual na medida em que se restringiu a uma área específica do processo construtivo e levando em conta as seguintes considerações:

- A edificação é de uso comercial;
- A estrutura predial escolhida para a edificação é metálica;
- O mapeamento será feito em 36 pavimentos tipo;
- A etapa mapeada escolhida é a concretagem das lajes, dividida em três atividades: *steel deck*, armação e concretagem.

Uma vez delimitada a área de estudo, são feitas considerações abrangentes a toda edificação. Entretanto, este deverá ser um desdobramento natural destas conclusões, onde o objeto de análise deverá ser estudado e os resultados analisados perante o cenário atual da construção civil.

2.2.1 Redução de desperdício

Muda é uma palavra japonesa que significa desperdício. É então qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor: erros que exigem retificação, produção de itens que ninguém deseja, acúmulo de mercadorias nos estoques, etapas de processamento que na verdade não são necessárias, movimentação de funcionários e transporte de mercadorias de um lugar para o outro sem propósito, grupos de pessoas em uma atividade posterior que ficam esperando porque uma atividade anterior não foi realizada dentro do prazo e bens e serviços que não atendem às necessidades do cliente (WOMACK e JONES, 1994).

“GRUPOS DE PESSOAS EM UMA ATIVIDADE POSTERIOR QUE FICAM ESPERANDO PORQUE UMA ATIVIDADE ANTERIOR NÃO FOI REALIZADA DENTRO DO PRAZO”.

A afirmação em destaque identifica um dos tipos de desperdício, ou tipos de *muda*, dentro do processo construtivo o qual, pela ótica da construção enxuta, deverá ser eliminado ou reduzido a níveis que possam ser administrados pela equipe de gerenciamento da obra.

Este desperdício deve ser medido uma vez que se concebe um plano de ação para eliminá-lo; ele deve ser quantificado durante o mapeamento do fluxo e é necessário que se elabore, ou se discuta a maneira mais eficaz de fazê-lo.

Mapeando o fluxo de atividades pode se constatar o seguinte quadro (figura 2.8): a atividade inicial para a concretagem de lajes de uma edificação de estrutura metálica é a disposição do *steel deck* (Atividade 1), seguida da colocação da armação sobre o *steel deck* (Atividade 2) e finalização com a atividade de concretagem (Atividade 3).



Figura 2.8: Seqüência das atividades.

A análise do mapeamento do fluxo da etapa de concretagem das lajes escolhida para o estudo, indica três atividades seqüenciais, observando que elas

estão interligadas entre si por uma única atividade, ou seja, a Atividade 1 está ligada diretamente a Atividade 2 e a Atividade 2 está ligada diretamente a Atividade 3. Isto quer dizer que atividade de *stell deck* está ligada à atividade de concretagem ou vice-versa através da atividade de armação. Como este processo conta apenas com um número de três atividades, é mais fácil a visualização desta afirmação.

Em um processo que conte com inúmeras atividades, seria necessário agrupá-las sempre aos pares, ou seja, agrupar a Atividade 1 com a Atividade 2, a Atividade 2 com a Atividade 3, a Atividade 3 com a Atividade 4, a Atividade 4 com a Atividade 5 e assim sucessivamente. Desta maneira observa-se que as perdas geradas por uma determinada atividade se desdobrarão sobre todo o processo construtivo. Entretanto, é possível medir a produtividade de cada uma independente do desperdício gerado inicialmente e acumulado durante toda a obra.

Na verdade, o desperdício gerado em uma determinada fase da atividade acumula tempo ocioso, que se deslocará no processo construtivo “atrasando” as atividades seguintes, ainda que estas se comportem dentro do tempo de ciclo estabelecido para sua conclusão.

Caso haja atraso na execução da Atividade 1 – *Stell Deck*, a atividade seguinte receberá o impacto desta falha na produtividade, mesmo que sua produtividade se mantenha dentro do padrão esperado. A Atividade 2 – Armação terá de esperar que a Atividade 1 - *Stell Deck* se encerre para ser iniciada. A Atividade 3 – Concretagem também sofrerá o impacto devido ao atraso da Atividade 1 - *Stell Deck*, ainda que não esteja ligada diretamente a esta.

Esta análise deverá discriminar as atividades uma a uma e suas produtividades respectivas, de modo que possam ser interpretadas de forma independente. Assim, o desperdício em uma atividade será acumulado durante a obra até o ponto em que seja compensado (ou não) pela maior produtividade de outra atividade, não necessariamente aquela imediatamente posterior.

Como no caso do exemplo anterior, caso a produtividade da Atividade 2 - Armação se mantenha dentro do padrão estabelecido, ainda assim o atraso gerado na Atividade 1 – *Stell Deck* se deslocará através do cronograma da obra. No entanto, caso a produtividade da Atividade 3 – Concretagem seja menor que o esperado, o atraso será compensado. Este dado muitas vezes é mascarado durante a obra, mas o desperdício existe enquanto durar a atividade e em algum ponto do processo será destacado.

Como o objetivo maior deste estudo é medir as perdas e quantificá-las como um índice de desperdício, se tornou necessário especificar o tipo de desperdício a ser analisado.

Retornando à afirmação em destaque:

“MUDA: GRUPOS DE PESSOAS EM UMA ATIVIDADE POSTERIOR QUE FICAM ESPERANDO PORQUE UMA ATIVIDADE ANTERIOR NÃO FOI REALIZADA DENTRO DO PRAZO”.

Partindo da idéia de que as atividades são ligadas aos pares, podem ser destacados os seguintes conceitos:

2.2.2 Atrasos

Este tipo de perda ocorre quando uma determinada atividade apresenta baixa produtividade e seu tempo de ciclo é maior do que o esperado (ou determinado) durante a fase de planejamento. O atraso implica no acúmulo de perdas durante as atividades subseqüentes e é medido através da variável tempo.

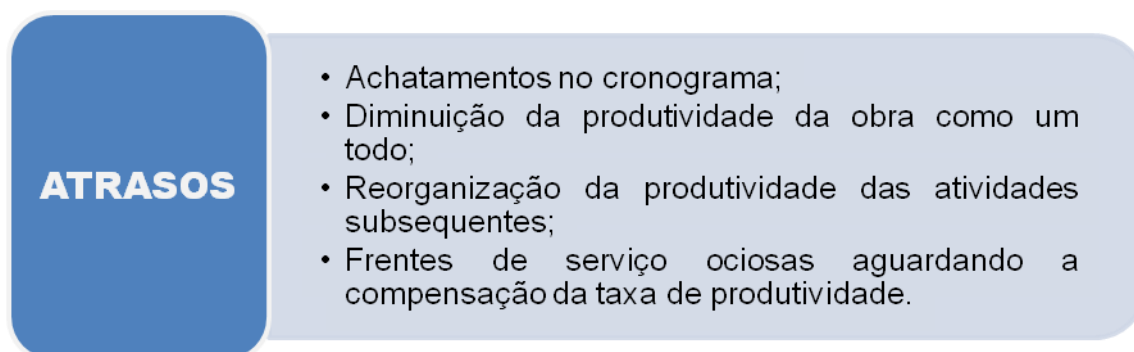


Figura 2.9: Desdobramento de atrasos nas atividades.

De um modo geral, pode-se dizer que a perda de tempo caracterizada como atraso bloqueia o início da atividade posterior, pois a equipe da atividade subseqüente tem de esperar que a tarefa anterior seja finalizada para que esta possa começar seu trabalho.

Neste caso, todas as outras atividades posteriores sofrerão o impacto do atraso, ocasionado por esta atividade específica. O atraso se deslocará através do

cronograma impactando diretamente na atividade seguinte e se perceberá seu efeito nas atividades subseqüentes. Deve haver uma reestruturação do cronograma para que este atraso possa ser compensado e seus efeitos minimizados, logo, a produtividade de uma atividade posterior qualquer, não necessariamente a atividade seguinte, deverá ser aumentada a fim de compensar esta perda.

Algumas das questões levantadas por Back e Bell (1994) apud Al-Sudairi (2007) que discutem as premissas da elaboração dos modelos de simulação são:

- O que deve ser terminado antes que a atividade possa começar?
- Esta atividade pode acontecer simultaneamente com qualquer outra?
- Que recursos são exigidos para executar esta atividade?
- Quanto tempo leva para terminar uma atividade?

Pode-se dizer que, se essas questões não forem respondidas adequadamente, será criada uma distorção já na fase de planejamento que se desdobrará por todo o gerenciamento da obra.

O atraso pode ser decorrente também de fatores que fogem ao controle de planejamento ou gerenciamento, mas mesmo assim devem estar previstos. Vale mencionar a ação de chuvas, acidentes, quebra de equipamentos, greves, etc. Entretanto, subentende-se que estas questões são minimizadas por ações mitigadoras previstas no plano de ação estabelecido no planejamento da obra.

2.2.3 Esperas

Este tipo de perda ocorre quando uma determinada atividade apresenta alta produtividade e seu tempo de ciclo é menor do que o esperado ou determinado durante a fase de planejamento. A espera não implica no acúmulo de perdas durante as atividades subseqüentes, pois tende a aproximar-se da atividade executada anteriormente e é medida pela variável tempo.

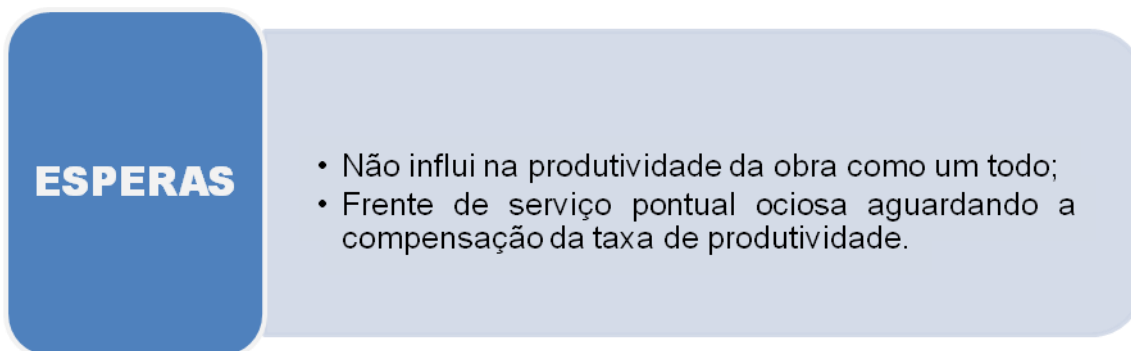


Figura 2.10: Desdobramento de esperas nas atividades.

O desperdício caracterizado como espera não impacta diretamente sobre suas atividades, pois este tipo de perda faz com que a atividade fim se aproxime da atividade executada anteriormente e se destaque da atividade subsequente.

Desta maneira, será necessário, em algum momento, que a equipe ligada a atividade em espera pare, a fim de que a atividade anterior se afaste o bastante e a atividade posterior se aproxime, dentro dos padrões estabelecidos pelo planejamento referentes aos índices de produtividade.

A espera não ocasiona acúmulo de perdas, mas faz com que a equipe fique travada, gerando mão de obra ociosa. Este distúrbio pode ter sido criado na fase de planejamento, na determinação dos índices de produtividade, quando seu tempo de ciclo foi estabelecido com um valor mais alto do que o valor necessário.

Tanto medidas de atrasos como medidas de esperas são medidas de desperdício em relação à variável tempo de uma atividade e são caracterizadas pelo efeito que ocasionam na produtividade da obra como um todo. A primeira, de forma global e a segunda de forma pontual.

2.3 Fluxo x tipos de perdas

Quando há interrupção do fluxo na cadeia de valor das atividades, o primeiro passo é identificar o tipo de desperdício gerado, se houve atraso ou se houve espera. Contudo, este estudo visa analisar os efeitos do desperdício nas atividades e a maneira como este desperdício pode ser quantificado de modo que seu

mapeamento leve a dados confiáveis referentes aos índices de acumulação das perdas em função da relação entre as produtividades das equipes.

Embora o objetivo maior seja a análise de perdas, se faz necessário estabelecer o conceito de perdas compensadas e perdas acumuladas.

2.3.1 Perdas Compensadas

Ao identificar o desperdício por meio da medição de atrasos, pode-se compensar este tipo de perda com o aumento da produtividade da atividade, balanceando o tempo sem interferir com a produtividade de atividades subseqüentes. Um exemplo dessa prática seria a inclusão de mais um operário na equipe de frente de serviço da atividade em atraso.

Entretanto, essa manobra onera o custo da obra, ou da atividade específica, pois adiciona valor à diária da mão de obra que executa a atividade, uma vez que é necessário adicionar um funcionário a mais na equipe de frente de serviço para aumentar a produtividade. Desta forma, uma ação de responsabilidade do gerente pode manter o cronograma inicial da obra sem que este seja prolongado, caso não seja conveniente postergar o término da obra.

De modo geral percebe-se que determinados atrasos podem ser compensados sem que o cronograma da obra seja comprometido, não significando, contudo, que deixaram de ocorrer perdas no processo.

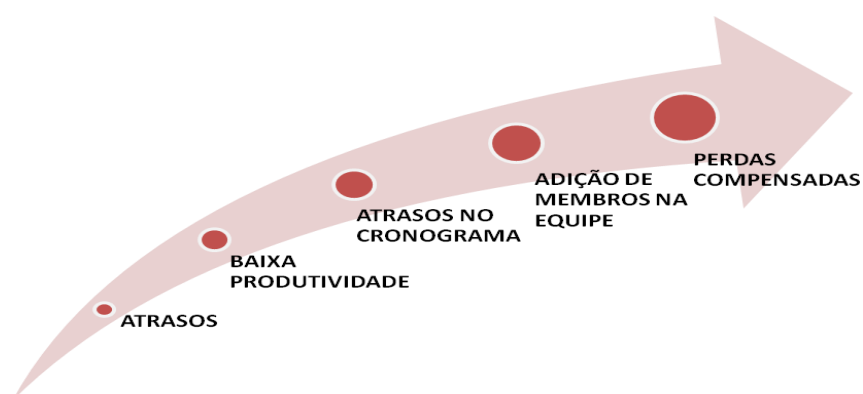


Figura 2.11: Compensação de perdas – atrasos.

O mesmo ocorre com as esperas. Durante um determinado período de tempo a atividade deverá ser paralisada, ou ter sua produtividade diminuída de maneira

que não se mantenha frente de obra ociosa. A ocorrência de esperas pode significar que um membro foi mantido na equipe de frente de serviço desnecessariamente, logo adicionou custo à diária da mão de obra que executa a atividade.

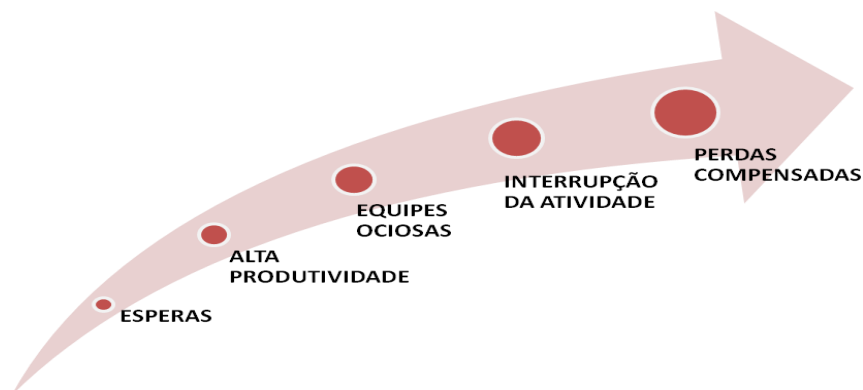


Figura 2.12: Compensação de perdas – esperas.

Podem ocorrer ainda atrasos e esperas em uma mesma atividade em períodos diferentes da obra e essas perdas podem se compensar de modo que ao final da obra não seja notada nenhuma diferença em datas programadas no cronograma.

Ressalta-se que as perdas, neste sentido, ocorreram, apesar de não terem sido notadas e ainda assim proporcionaram desperdício na obra, que devem ser medidos.

Sendo assim, o conceito de perdas compensadas pode ser descrito como o tipo de perda mais comum apresentado durante a construção de um empreendimento, onde o gerenciamento do processo construtivo busca compensar medidas de atrasos e esperas sem que o cronograma da obra seja comprometido. Vale ressaltar que esse tipo de perda não é medido ou contabilizado.

2.3.2 Perdas Acumuladas

O conceito de perdas acumuladas pode ser entendido como a soma da medida de atrasos ou esperas. Independente da compensação da produtividade através de artifícios que visem manter a estabilidade do cronograma, as perdas ocorridas durante o processo produtivo, sejam elas esperas ou atrasos, são somadas, acumuladas e medidas ao final do processo a fim de se estabelecer um

parâmetro que represente o que realmente foi perdido durante a obra, ou seja, o índice de desperdício gerado.

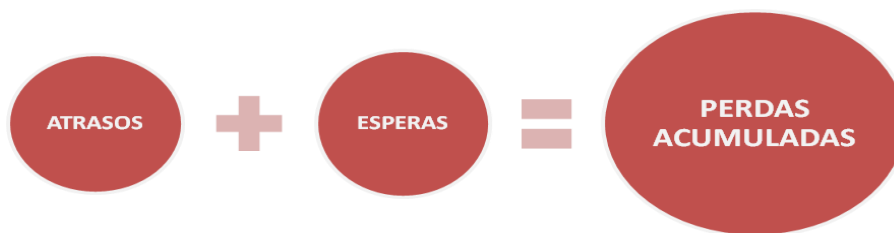


Figura 2.13: Perdas acumuladas = atrasos + esperas.

Neste trabalho são medidas as perdas acumuladas de modo que se estabeleça o mapeamento do fluxo das atividades e os efeitos gerados pelos atrasos e esperas, simulados através de um modelo matemático, concebido a partir dos parâmetros identificados no processo construtivo atual.

O efeito causado pelas perdas acumuladas será analisado de forma que os resultados obtidos sejam interpretados de maneira que se estabeleça um índice de acumulação das perdas em função da relação entre as produtividades das equipes.

2.4 Tempo de ciclo das atividades (*lead time*)

2.4.1 Limites Estabelecidos

A limitação do estudo foi estabelecida seguindo critérios factíveis, observados no modelo de construção real, ou seja, observados por conceitos convencionais de administração.

Neste modelo construtivo atual, turnos de trabalho duram aproximadamente 8 (oito) horas, interrompidas na metade do ciclo por 1 (uma) hora de almoço, o que faz com que a jornada de trabalho diária seja dividida ao meio e dure um total de 9 (nove) horas.

Em geral os turnos são iniciados às 7:00h. Este primeiro intervalo de trabalho é interrompido às 11:00h para o almoço, completando assim 4 (quatro) horas ininterruptas de trabalho. Às 12:00h, após 1 (uma) hora de intervalo, se reinicia o

turno de trabalho até às 16:00h, onde é concluído o ciclo diário de 8 (oito) horas de trabalho.



Figura 2.14: Turno diário de trabalho: 8 (oito) horas – Modelo de construção convencional.

Inicialmente, em um modelo convencional de construção, os turnos de trabalho duram 8 (oito) horas, pois este é o período máximo estabelecido como jornada normal de trabalho.

Seja descrito o conceito de jornada normal de trabalho:

A jornada normal de trabalho será o espaço de tempo durante o qual o empregado deverá prestar serviço ou permanecer à disposição do empregador, com habitualidade, excetuadas as horas extras; nos termos da Constituição Federal da República Federativa do Brasil, art. 7º, XIII. Sua duração deverá ser de até 8 horas diárias, e 44 horas semanais; no caso de empregados que trabalhem em turnos ininterruptos de revezamento, a jornada deverá ser de 6 horas, no caso de turnos que se sucedem, substituindo-se sempre no mesmo ponto de trabalho, salvo negociação coletiva (Disponível em <[http:// www.centraljuridica.com](http://www.centraljuridica.com)>. Acesso em 09 de dezembro de 2009).

A Consolidação das Leis do Trabalho, na Seção II – Da Jornada de Trabalho, art. 68 e art. 69, descreve a jornada normal de trabalho como sendo:

Art. 58 - A duração normal do trabalho, para os empregados em qualquer atividade privada, não excederá de 8 (oito) horas diárias, desde que não seja fixado expressamente outro limite.

Art. 59 - A duração normal do trabalho poderá ser acrescida de horas suplementares, em número não excedente de 2 (duas), mediante acordo escrito entre empregador e empregado, ou mediante contrato coletivo de trabalho. (Disponível em <[http:// www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del5452](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/Del5452)>. Acesso em 09 de dezembro de 2009).

Percebe-se no texto acima que, obedecendo a Constituição Federal, a Consolidação das Leis do Trabalho prevê turnos diários de 8 (oito) horas de trabalho e salvo exceção, concorda e aceita que se adicionem 2 (duas) horas a esta jornada normal de trabalho em caráter excepcional.

Desta maneira, em uma situação típica do modelo de construção convencional, após os constantes atrasos no cronograma, costuma-se introduzir 2 (duas) horas adicionais de trabalho ao horário normal estabelecido. Estas horas adicionais são as chamadas horas extras.

Ainda que a finalidade da introdução deste período de trabalho conhecido como hora extra seja a de compensar atrasos no cronograma, a sobrecarga de 25% de tempo de ciclo para a conclusão das atividades (inclusão de duas horas adicionais de trabalho ao horário normal estabelecido) não é medida suficiente para restabelecer o equilíbrio entre a defasagem das atividades, pois não visa reduzir o desperdício e se comporta como uma medida compensatória do problema.

2.4.2 Tempo de Ciclo Ideal

Neste estudo optou-se por estabelecer um tempo de ciclo para as atividades de valor igual ao tempo máximo de serviço diário permitido legalmente em um modelo convencional de construção. Ou seja, turno de 8 (oito) horas, regido pelo que determina a legislação vigente.

Este tempo de ciclo não é um valor absoluto, mas um valor ideal. É estabelecido considerando-se as seguintes premissas:

- Tempo de ciclo de 8 (oito) horas considerando a conclusão da atividade em um único pavimento;
- Equipes de trabalho dimensionadas para executar serviço, em um único pavimento, em um período de 8 (oito) horas.



Figura 2.15: Interligação entre o tempo de ciclo e equipes para realização da atividade em 1 (um) pavimento.

Isto quer dizer que as equipes de trabalho serão distribuídas em número de profissionais envolvidos na tarefa de forma que a produtividade do grupo estabeleça uma razão matemática entre metragem quadrada a ser executada e tempo de produção de cada indivíduo.

Certamente cada indivíduo selecionado como mão de obra para determinada frente de trabalho possui uma produtividade diferente, no entanto, a produtividade individual de cada um é compensada quando se forma um grupo. Desta maneira, para este estudo, se estabelece que cada frente de trabalho pronta a executar uma atividade em um único pavimento (seja esta atividade a Atividade 1- *Stell Deck*, a Atividade 2 – Armação ou a Atividade 3 – Concretagem) leve um tempo de ciclo em torno de 8 (oito) horas.

Como cada indivíduo apresenta uma produtividade diferente e esta será compensada pela produtividade do grupo, o tempo de ciclo de cada atividade não é linear, isto quer dizer que o tempo de execução de cada pavimento variará conforme a produtividade do grupo seja compensada (Figura 2.15).

O processo construtivo depende diretamente de mão de obra, o que difere do processo industrial, que muitas vezes depende de equipamentos de produção seriada. A produtividade das atividades está sujeita a pequenas interferências como cansaço físico, convalescência, etc. Por esta razão pode haver oscilações no tempo ciclo, que porventura interfiram na produtividade das atividades e devem ser gerenciados como variáveis internas, diferente do que pode ser descrito com variáveis externas, incidentes de fatores ligados diretamente ao material e equipamentos utilizados pela mão de obra, como atrasos na entrega, não-conformidades, etc.

Por não se tratar de uma equação dependente de uma única variável, trata-se o tempo de ciclo estabelecido em 8 (oito) horas como uma situação ideal, utópica, onde não haveria qualquer atraso ou espera durante a execução de uma determinada atividade.

Sendo assim, as atividades seriam seqüenciadas em turnos de 8 (oito) horas diárias, sendo executadas pavimento após pavimento, em um caminho crítico mais curto e com data de previsão de término definida.

Esta situação onde a produtividade é considerada como ideal, é utilizada para estabelecer o cronograma da obra e as perdas (atrasos ou esperas) podem ser mensuradas à medida que se monitora o tempo de ciclo real produzido para cada

atividade diariamente e este é confrontado com o estabelecido pela produtividade ideal.

Oliveira (2007) empregando em seu estudo conceitos estabelecidos pela metodologia PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) / CPM (*Critical Path Method*) avalia o tempo de ciclo das atividades da seguinte forma:

- **Estimativa Otimista:** estimativa de tempo mínimo que uma atividade pode tomar, obtida supondo-se condições totalmente favoráveis na execução da atividade.
- **Estimativa Mais Provável:** estimativa de tempo normal que uma atividade deve tomar, onde o resultado ocorreria mais frequentemente se a atividade fosse repetida um grande número de vezes.
- **Estimativa Pessimista:** estimativa de tempo máximo que uma atividade pode durar, ocorrendo apenas em condições totalmente adversas. A possibilidade de eventos drásticos e catastróficas não é considerada, a menos que eles sejam claramente associados ao projeto.

Considerando os conceitos acima, pode se dizer que o tempo de ciclo ideal ou produtividade ideal determinado neste estudo é o que mais se aproxima da descrição do termo estimativa mais provável.

Seguindo o princípio de que a produtividade ideal é de 8 (oito) horas, esboça-se uma relação de precedência e duração das atividades, onde é delineado o tempo total requerido para completar o projeto sem que ocorram atrasos ou esperas, conforme Figura 2.16.



Figura 2.16: Tempo de conclusão das atividades. Produtividade ideal.

Estabelecido o tempo de ciclo ideal como sendo de 8 (oito) horas diárias, se faz necessário estabelecer também os limites mínimo e máximo ao qual está sujeita a produtividade das atividades, uma vez que o tempo de ciclo não pode ser tão pequeno que tenda a ser nulo, ou tão grande que caracterize uma parada na obra.

Isto quer dizer que se a produtividade aumenta, o tempo de ciclo é reduzido, gerando esperas. É aceitável que, mesmo que o tempo de ciclo tenha sido estabelecido em 8 (oito) horas, em algumas ocasiões a atividade será terminada pela equipe de trabalho antes do previsto como situação ideal e este desperdício é caracterizado como espera.

Verifica-se também que, existindo um limite que deve ser estabelecido como tempo de ciclo mínimo, a ocorrência contínua de produtividade mais alta significa que a equipe de trabalho está superdimensionada. Em outras palavras, há membros em excesso na equipe de trabalho, o que faz com que o tempo de ciclo para se encerrar a atividade seja menor. Caracteriza-se assim o desperdício, com acréscimo de custo desnecessário e mão de obra superdimensionada, o que impacta diretamente no custo final da obra.

Estabelecido um limite de tempo de ciclo mínimo, é necessário estabelecer um limite de tempo de ciclo máximo, pois as atividades em algum momento necessitam ser finalizadas. Ao ultrapassar o tempo de ciclo ideal, estabelecido em 8 (oito) horas, caracteriza-se o atraso na conclusão da atividade.

Isto quer dizer que a ocorrência contínua de produtividade mais baixa significa que a equipe de trabalho está sub-dimensionada. Em outras palavras, há escassez de membros na equipe de trabalho, o que faz com que o tempo de ciclo para se encerrar a atividade seja maior.

Caracteriza-se assim o desperdício, gerado pelo custo desnecessário com a mão de obra ociosa, o que impacta diretamente no custo final da obra.

Determinada a razão pelo qual é necessário estabelecer limites de tempo de ciclo mínimo e máximo e interpretando que estes dados não podem ser medidas aleatórias, pois prolongam o ciclo de desperdício, convencionou-se o seguinte:

1. Tempo de Ciclo Mínimo – 6 (seis) horas. Estimativa Otimista.

Redução de 25% no tempo de ciclo ideal. É aceitável que o tempo de ciclo ideal possa se apresentar mais baixo em determinadas situações em que a produtividade aumenta. No entanto, a recorrência freqüente desta

produtividade mais baixa indica que a equipe de frente de trabalho foi, por algum equívoco, superdimensionada. Tempo de ciclo inferiores ao estabelecido como tempo de ciclo mínimo não são aceitáveis, pois não são dados factíveis. Ocorrências dessas espécies são caracterizadas como falhas de planejamento.

2. Tempo de Ciclo Máximo – 16 (seis) horas. Estimativa Pessimista.

Aumento de 100% no tempo de ciclo ideal. É aceitável que o tempo de ciclo ideal possa se apresentar mais alto em determinadas situações em que a produtividade diminui. No entanto, a recorrência freqüente desta de produtividade mais alta indica que a equipe de frente de trabalho foi, por algum equívoco, sub-dimensionada. Tempo de ciclo superiores ao estabelecido como tempo de ciclo máximo não são aceitáveis, pois indicam que a atividade está paralisada. Ocorrências dessas espécies são caracterizadas como falhas de planejamento.

2.5 Produtividade ideal x produtividade real

A produtividade ideal pode ser descrita como a produtividade estabelecida na fase de planejamento do processo construtivo para a conclusão de uma determinada atividade por uma equipe de trabalho.

Esta produtividade é uma variável que determina a velocidade do fluxo de atividades. Índices de produtividade baixos representam atrasos no processo construtivo e índices de produtividade altos representam esperas. Em função da razão existente entre as perdas geradas no processo e a produtividade, optou-se neste estudo por representar a produtividade real por uma função matemática.

Para Oliveira (2007), um planejamento deve considerar a incerteza da estimação da duração da tarefa através do uso da distribuição probabilística, onde a duração de determinada atividade pode assumir a variável randômica padrão daquela distribuição.

2.5.1 Função normal

A função matemática inicialmente adotada por Oliveira (2007) para a representação da produtividade real foi a função normal em virtude de suas características fundamentais, que são chamadas de média, m e desvio padrão, s .

Escolhida por possuir apenas dois parâmetros, a função normal é considerada ainda como uma importante distribuição contínua, pois muitas variáveis aleatórias de ocorrência natural ou de processos práticos obedecem esta distribuição.

A curva normal tem forma de sino, ou seja, é unimodal e simétrica, e o seu valor de máxima freqüência, chamado moda, coincide com o valor da média e da mediana. A média é o centro da curva. A distribuição de valores maiores que a média e a dos valores menores que a média é perfeitamente simétrica, ou seja, se for traçada uma linha exatamente pelo centro da curva obtém-se duas metades, sendo cada uma delas a imagem especular da outra.

A figura a seguir mostra uma curva normal típica, com seus parâmetros descritos graficamente.

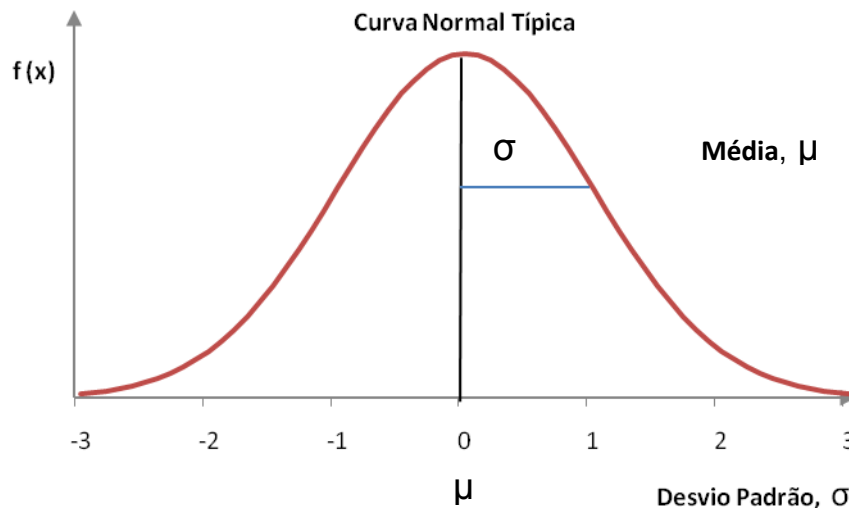


Figura 2.17: Curva normal típica.

As extremidades da curva se estendem de forma indefinida ao longo de sua base (o eixo das abscissas) sem jamais tocá-la. Portanto, o campo de variação da distribuição normal se estende de $-\infty$ a $+\infty$.

Assim sendo, a curva apresenta uma área central em torno da média, onde se localizam os pontos de maior frequência e também possui áreas menores, progressivamente mais próximas de ambas as extremidades, em que são encontrados valores muito baixos para o eixo das abscissas (à esquerda) ou valores muito altos (à direita), ambos presentes em baixas frequências.

Como em qualquer função de densidade de probabilidade a área sob a curva normal é 1 (um), sendo a frequência total igual a 100%. Assim, a curva normal é uma distribuição que possibilita determinar probabilidades associadas a todos os pontos da linha de base.

Portanto, tomando-se quaisquer dois valores pode-se determinar a proporção de área sob a curva entre esses valores. E essa área é a própria frequência da característica que ela determina. (Biometria, 2009).

Esta função foi escolhida também pela objetividade com que se podem extrair os dados necessários diretamente do gráfico da função, tais como a visualização da frequência com que os eventos acontecem.

Contudo, as características da função normal não se mostraram adequadas à simulação dos eventos decorrentes da alteração da produtividade das atividades.

Como abordado anteriormente, a curva normal tem forma de sino, ou seja, é unimodal e simétrica. Esta característica faz com que ao se determinar o tempo de ciclo como 8 (oito) horas e o tempo máximo de ciclo como 16 (dezesesseis) horas, a amplitude da curva seja muito acentuada.

Os valores recorrentes superiores à média se apresentam em pequeno número e os valores recorrentes inferiores à média se apresentam em grande número. Isto quer dizer que os dados obtidos não se aproximam do esperado.

Visualmente pode se observar estes resultados diretamente, através do gráfico. Nota-se que ao traçar a média no intervalo que representa metade da distância até o pico da curva, a área representativa da concentração do intervalo de dados obtidos é estreita, o que indica uma porcentagem pequena de atrasos.

Na prática ocorre o oposto. É comum observar-se atrasos durante a execução das atividades, pois a produtividade diminui à medida que é influenciada por diversos fatores externos.

A ocorrência de esperas recorrente é comum em casos da equipe de execução, ou frente de trabalho, estar superdimensionada. Ou ainda, se for intencional, a fim de se compensar possíveis atrasos no cronograma.

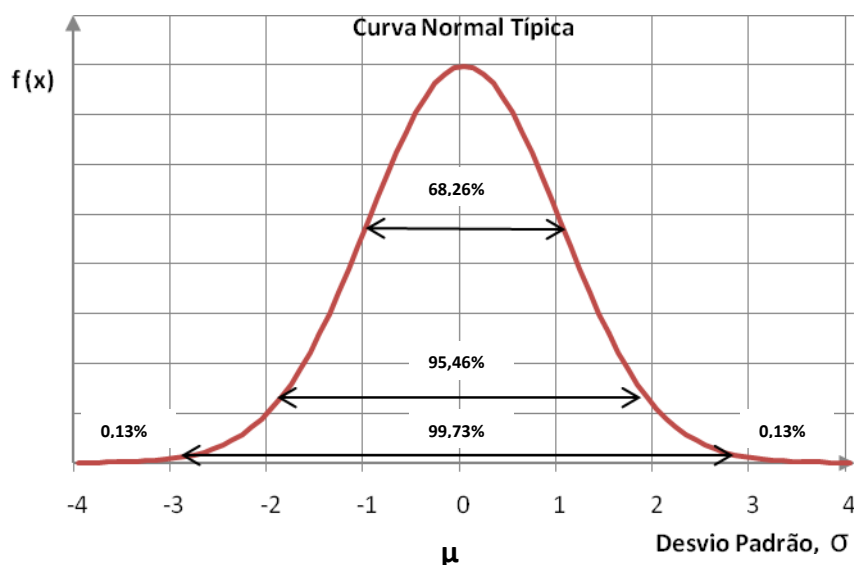


Figura 2.18: Curva normal típica. Distribuição de probabilidade.

Deste modo, a utilização da função normal para a simulação dos eventos foi substituída por outro tipo de função que se adequasse às premissas pré-estabelecidas neste trabalho, onde as condições de contorno fossem preservadas e os dados de análise fossem representativos do processo construtivo convencional.

2.5.2 Função qui-quadrado

Neste trabalho, optou-se por utilizar uma função matemática onde seria necessário que a concentração de “repetições” dos eventos (tempo de ciclo das atividades), estivesse mais próxima do valor da média estabelecida, ou seja, da produtividade ideal. Sendo assim, ao analisar a distribuição qui-quadrado, verificou-se que suas características eram compatíveis com o resultado esperado.

A distribuição qui-quadrado é muito usada em inferência estatística, sendo um caso particular da função gama. Entre outras utilizações, é de realçar a sua aplicação no estudo da variância de uma população a partir de uma amostra.

Esta função fica perfeitamente especificada pelos graus de liberdade, k (Figura 2.19).

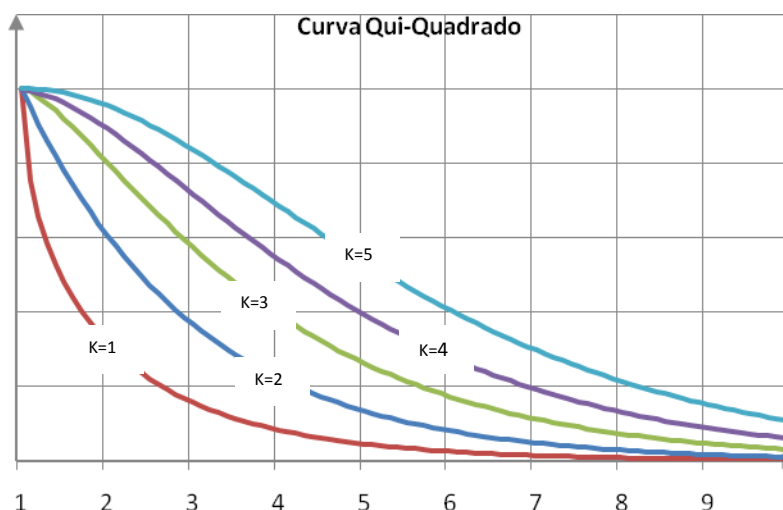


Figura 2.19: Curva qui-quadrado típica.

O coeficiente qui-quadrado, é um valor da dispersão para duas variáveis de escala nominal, usado em alguns testes estatísticos. Mostra em que medida é que os valores observados se desviam do valor esperado, caso as duas variáveis não estivessem correlacionadas. (Biometria, 2009).

As extremidades da curva se diferenciam da curva normal, uma vez que apenas para valores positivos se estendem de forma indefinida ao longo de sua base (o eixo das abscissas) sem jamais tocá-la. Portanto, o campo de variação da distribuição normal se estende de um ponto definido no eixo a $+\infty$.

Assim sendo, a curva apresenta uma área definida de acordo com o grau de liberdade determinado com parâmetro.

Após a análise de alguns resultados obtidos pela simulação em planilha observou-se que a curva que mais se aproxima dos resultados esperados é a curva cujo grau de liberdade k é igual a 3 (três). Nesta curva percebeu-se a concentração mais equilibrada de valores aproximados à produtividade ideal estabelecida.

Semelhante à função normal, esta função foi escolhida pela objetividade com que se podem extrair os dados necessários diretamente do gráfico da função, tais como a visualização da freqüência com que os eventos acontecem.

Ao se determinar o tempo de ciclo como 8 (oito) horas e o tempo máximo de ciclo como 16 (dezesesseis) horas, a amplitude da curva é menos aguda e mais ampla. Os valores recorrentes superiores à média se apresentam em maior número e os valores recorrentes inferiores à média se apresentam em menor número.

É comum observarem-se atrasos durante a execução das atividades, pois a produtividade diminui à medida que é influenciada por diversos fatores externos.

Análoga à distribuição normal e como em qualquer função de densidade de probabilidade a área sob a curva normal é 1 (um), sendo a frequência total igual a 100%. Assim, a distribuição qui-quadrado também é uma distribuição que possibilita determinar probabilidades associadas a todos os pontos da linha de base.

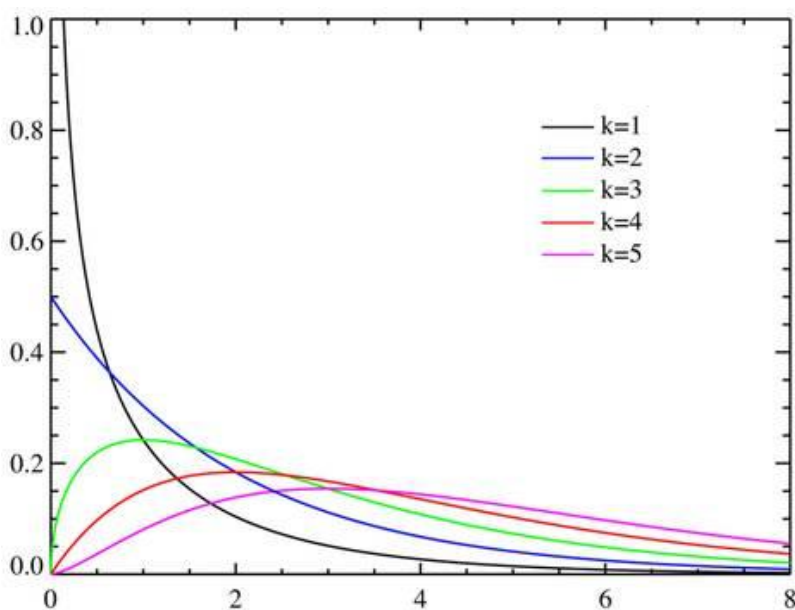


Figura 2.20: Aspecto da distribuição qui-quadrado. Graus de liberdade, k .

Fonte: Metrologia, 2009.

Hendrickson (2003) apud Oliveira (2007) propõe elaborar uma tabela de duração e precedência para as atividades com a estimacão de suas respectivas durações. Neste estudo, como mencionado anteriormente, será elaborada uma planilha eletrônica (Microsoft EXCEL), que tem como objetivo simular o tempo de execução das atividades decorrentes da construção civil, neste caso específico, a simulacão de atividades como execucao de *steel deck*, armação e concretagem.

Esta tabela indica a precedência para as atividades, ou seja, a ligacão das atividades aos pares e estabelece parâmetros para o tempo de ciclo ideal, ou produtividade ideal das atividades.

Os resultados obtidos seguem ainda a distribucao qui-quadrado de uma curva de aspecto de grau de liberdade 3 (três).