



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

BT-18/87

O USO DA GRUA NA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO

NORBERTO B. LICHTENSTEIN



Boletim patrocinado pela

COMPANHIA CIMENTO PORTLAND ITAÚ

LICHTENSTEIN, NORBERTO B. O Uso da Grua na Construção de Edifício. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987 - BT PCC 18/87.

A Grua é um equipamento de transporte que possui muitos recursos, sendo utilizada intensivamente em Obras de Edifício em países da Europa e América do Norte. No Brasil, para que se intensifique sua utilização, é necessário um maior conhecimento do meio técnico a respeito das características deste equipamento assim como dos procedimentos para seu emprego. O presente trabalho tem por objetivo caminhar no sentido desta divulgação em nosso país.

LICHTENSTEIN, NORBERTO B. The Use of Tower Crane in The Building Construction. São Paulo, Departamento de Construção Civil da EPUSP, 1987 - BT PCC 18/87.

Tower Crane is an intensively used equipment for materials transportation in Europe and North America. In Brazil, it is necessary to better inform the professionals about the characteristics and the methods to operate this equipment in order to increase its use.

This paper aims to make Tower Crane better known in our country.

* Doutor em Engenharia, Professor do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

A racionalização do transporte de materiais e componentes no canteiro de obras do edifício é fator essencial no sentido da redução dos custos e cumprimento dos prazos, sendo inclusive objeto de tese de doutorado apresentada pelo autor à Escola Politécnica da USP(1).Dentre os equipamentos e sistemas de transporte passíveis de serem entregados em obras de edifício destacam-se os guindastes de torres, as Gruas.

Tais equipamentos são empregados intensivamente em obras nos Estados Unidos e na Europa sendo que sua utilização no Brasil tem sofrido um incremento nos últimos anos. O presente trabalho procura descrever os modelos de gruas encontrados no mercado nacional, assim como estabelecer uma metodologia de cálculo dos tempos envolvidos na operação destes equipamentos no transporte dos principais materiais de construção (concreto, aço, tijolos e argamassa).

2. CARACTERIZAÇÃO DA GRUA

O guindaste de torre (grua) se caracteriza pelo fato da lança ser suportada por uma estrutura metálica vertical denominada "torre". É enorme a variedade de modelos e marcas de gruas empregadas mundialmente (2) e no Brasil (3). Dentre este podem ser destacados os mostrados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 (4).

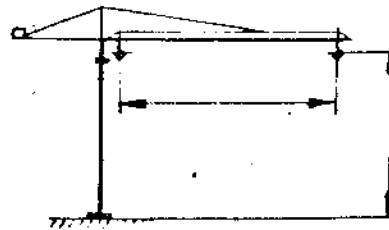


Figura 3 - Torre Estática com Lança Horizontal.

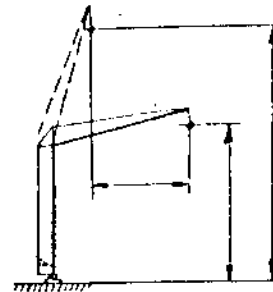


Figura 4 - Torre Estática com Lança Móvel.

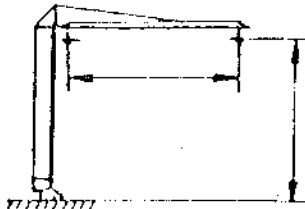


Figura 1 - Torre Giratória com Lança Horizontal.

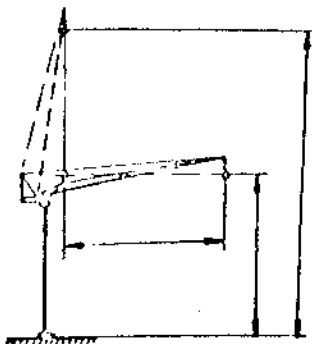


Figura 2 - Torre Giratória com Lança Móvel (Horizontal ou Inclinada).

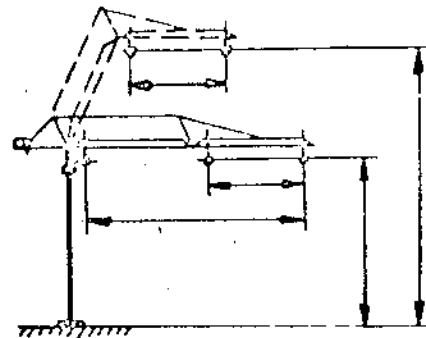


Figura 5 - Torre Estática com Lança Articulada.

A característica básica que torna possível a denominação "grua" para todos os modelos mencionados é a existência de uma lança (horizontal, inclinada ou articulada) que é suportada por uma torre vertical metálica (fixa ou giratória). Dos modelos mencionados são encontrados no mercado nacional os seguintes:

- a-) Torre giratória com lança móvel (horizontal ou inclinada)
- b-) Torre estática com lança horizontal

Os demais tem um emprego sensivelmente reduzido no mercado nacional.

- a-) Torre giratória com lança móvel (horizontal ou inclinada) (Figura 2).

A grua de torre giratória com lança móvel é ilustrada em maior detalhe na Figura 6.

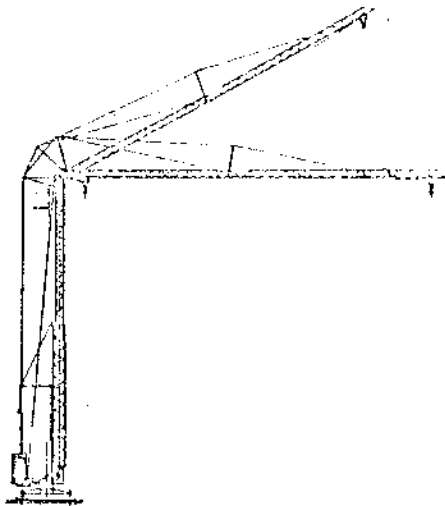


Figura 6 - Grua de Torre Giratória com Lança Móvel (Horizontal ou Inclinada) em Maior detalhe.

O deslocamento da carga é realizado pela possibilidade de três tipos de movimentos básicos que podem ser simultâneos:

- * içamento da carga
- * translação da carga ao longo da lança
- * rotação da torre em torno do seu eixo.

Além dos movimentos mencionados, a grua de torre giratória pode ter uma rotação de sua lança em torno de um eixo horizontal, segundo o plano vertical formado por lança e torre. Através desta movimentação pode-se alcançar alturas maiores de içamento, porém com perda de alcance horizontal, uma vez que a movimentação vertical da lança é demorada e não pode ser realizada a cada viagem. As guias com torre giratória e lança móvel, podem ser classificadas ainda, conforme a possibilidade de translação do conjunto ao longo de trilhos, em:

- * estacionárias ou fixas
- * móveis sobre trilhos

- b-) Torre estacionária com lança horizontal (Figura 3).

Este modelo é formado basicamente por uma torre, lança, contra-lança, um sistema de cabos e motores.

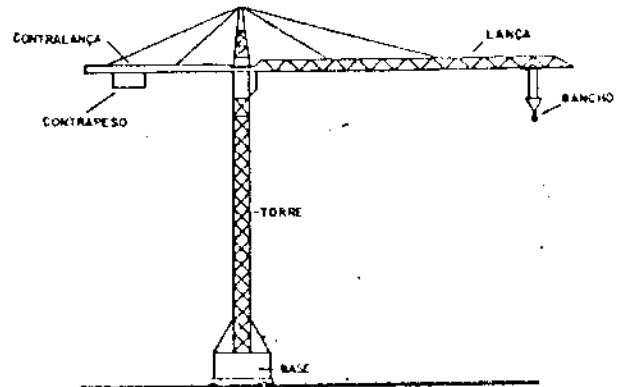


Figura 7 - Grua de Torre Estática com Lança Horizontal em maior Detalhe

O deslocamento espacial da carga através da grua é realizado pela possibilidade de três tipos de movimentos básicos que podem ser simultâneos:

- * içamento vertical da carga
- * translação da carga ao longo da lança
- * rotação da lança (e não da torre como no caso da grua de torre giratória) em torno do eixo da torre.

A Figura 8 ilustra cada um dos movimentos básicos da grua:

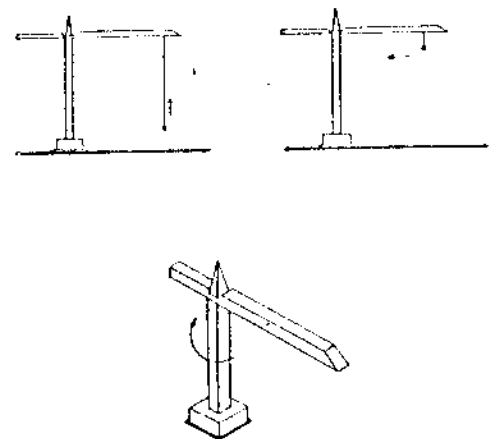


Figura 8 - Movimentos da Grua de Torre Estática e Lança Horizontal.

A velocidade com que a grua executa cada um dos movimentos mencionados é característica de cada equipamento. Existem equipamentos no mercado, por outro lado, que permitem uma regulação na velocidade com que cada movimento é feito.

Além dos movimentos básicos da grua retro-mencionados, existem guindastes de torre com lança horizontal que dispõem de outras formas de movimentação específicas. Desta forma, as guias com lanças horizontais podem ser classificadas em:

- * guias fixas ou estacionárias
- * guias ascensionais
- * guias móveis sobre trilhos

As guias fixas são as guias clássicas, dotadas tão somente dos três tipos de movimentos já mencionados e apoiadas sobre blocos de fundação de concreto (Figura 9).

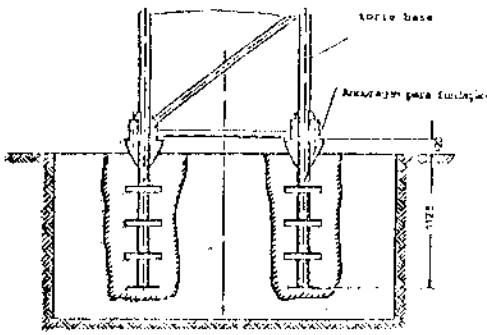


Figura 9 - Apoio da Grua Estacionária (5).

As guias Ascensionais tem a possibilidade da realização, além dos movimentos básicos da grua fixa, da ascensão do conjunto no interior do edifício, apoiando-se na estrutura deste.

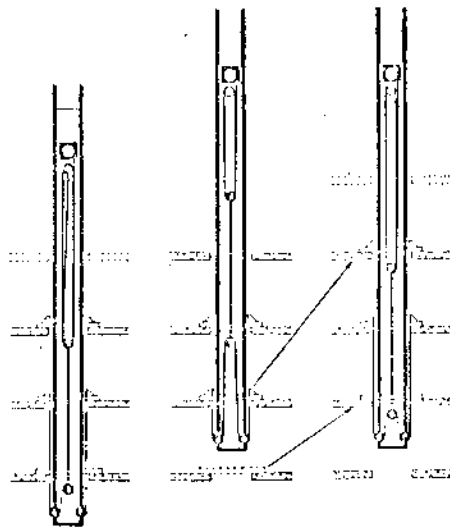


Figura 10 - Apoio da Grua Ascensional (6).

As guias móveis sobre trilhos são dotadas da possibilidade da translação de todo o conjunto ao longo de um segmento de reta ou mesmo de uma curva de grande raio de curvatura. Na tabela 1 é apresentada uma comparação entre as guias Estacionárias e Ascensionais.

Tabela 1 - Quadro Comparativo entre as Guias Estacionária e Ascensional

	GRUA ESTACIONÁRIA	GRUA ASCENSIONAL
Posição no canteiro	Deve ser prevista área de canteiro para a base da grua ou, em terrenos pedregosos, pode ser uma dificuldade.	Não exige área de canteiro.
Suporte da base	Bloco de concreto especialmente construído.	Eventualmente pode ser apoiado, para a montagem inicial, no bloco de concreto da própria estrutura (com possível reforço). Após o início da ascensão a base passa a ser apoiada na estrutura, gerando a necessidade de eventual reforço.
Montagem inicial	Na montagem inicial é empregado normalmente um pendente móvel.	Idêntica.
Altura da Torre	Normalmente na montagem inicial a torre tem uma pequena altura. À medida do andamento da estrutura, a torre vai crescendo. O aumento da altura da torre pode ser realizado por, dependendo do modelo, acoplamento de novos módulos ou por um mecanismo de telescopia. Independentemente do andamento da estrutura, a altura total da torre é dada pela altura do edifício somada a uma altura livre pre-estabelecida de aproximadamente 6 m.	A altura inicial da torre é idêntica à do correspondente grua estacionária. Com o andamento da estrutura a torre permanece a mesma, apenas o conjunto inteiro ascende. Com isto é reduzida a altura total necessária de torre com a contrapartida do resto do mecanismo ascensional. O ciclo ascensional deve ser compatível com o ciclo de construção da estrutura; qualquer quebra no mecanismo ascensional provoca atraso no cronograma da obra.
Estalamento da Torre	A torre é estalada na estrutura conforme espaçamento recomendado pelo fabricante. O estalamento, além do custo de alças e quadro, representa uma carga extra na estrutura e, em, eventualmente, pode representar a necessidade de reforço.	Não é necessário.
Dimensão da Lança	Estando torrada fora da torre do edifício, normalmente está localizada fora do baricentro do canteiro, o que tende a gerar a necessidade de contrapesos de lanças maiores.	Pode ser localizada no corpo do edifício, está próxima do baricentro do terreno, o que tende a gerar equipamentos de lanças menores.
Operação	Quando montada a cabine na torre, lança ou contra-lança, normalmente, é boa a visibilidade. O uso do operador está situado na base, não existe diferença quanto ao tipo de grua.	Quando a cabine de comando é montada na lança, torre ou contra-lança, a visibilidade do operador é sensivelmente prejudicada.
Desmontagem	Processo de desmontagem claramente inverso à montagem, realizando-se sem dificuldades. Desmontagem pode ser realizada ao final da obra, por interferir muito pouco com o andamento desta.	Processo de desmontagem muito dificultado, com lança e contra-lança tendo de ser apoiadas na última laje e desmontadas através de equipamento auxiliar. A laje de cobertura neste caso deve prever este carregamento extra. No caso de grua ser montada no poço do elevador, normalmente sua desmontagem deve se dar antes da concretagem da caixa d'água e casa de máquinas. Isto leva à grua ser empurrada apenas na base da estrutura e, possivelmente, alienaria da obra.

3. TRANSPORTE DE CONCRETO COM GRUA

A movimentação de concreto através de grua tem como pressuposto básico o emprego de somente um equipamento que desloca o concreto desde o caminhão betoneira até o seu ponto de aplicação. Desta forma, a questão se resume em adotar um procedimento para a operação deste equipamento, no caso a grua, que minimize o tempo total de concretagem.

A sequência básica de operações pode ser assim resumida:

- carregamento da caçamba
- movimentação da caçamba através da grua
- içamento até a altura do pavimento de concretagem
- translação ao longo da lança
- rotação em torno da torre
- descarga da caçamba
- retorno da caçamba até o caminhão betoneira em movimentos opostos.

Os tres tipos de movimentos da grua podem ser feitos simultaneamente ou sequencialmente, dependendo da habilidade do operador e de sua visibilidade para a realização das operações.

Em outras palavras, existem situações em que é possível ao operador, ao mesmo tempo em que iça a caçamba, já ir realizando a translação ao longo da lança e a rotação em torno da torre.

Na situação inversa, em que cada sequência do movimento somente é realizada ao término da sequência anterior, não é empregado todo o potencial do equipamento, sendo recomendada apenas quando se pretende uma grande segurança na movimentação. Na prática, muito utilizada é uma sistemática intermediária, em que alguns movimentos são realizados simultaneamente a outros, em uma interpenetração parcial de sequências.

O tempo necessário para o lançamento de uma caçamba de concreto desde o seu carregamento junto a betoneira até a volta da caçamba vazia, passando pelo descarregamento em algum ponto da laje, depende essencialmente da habilidade do operador da grua em dois aspectos:

- capacidade para obter a simultaneidade dos três movimentos básicos da grua, de forma a diminuir o tempo total do ciclo sem riscos de choques com a estrutura do edifício.
- capacidade para determinar o percurso correto da caçamba pois em cada ciclo um ponto diferente da laje deve ser alcançado.

Esta dependência da habilidade do operador

leva a uma variabilidade no tempo de concretagem com guas. Pode ser imaginada, no entanto, a possibilidade do estabelecimento de um algoritmo e, conseqüentemente, de um programa de computador que oriente o operador, ou mesmo o dispense, a respeito dos movimentos a serem realizados e que possibilite o cálculo prévio dos tempos envolvidos.

Neste algoritmo podem ser estabelecidos alguns procedimentos básicos. O primeiro deles diz respeito ao uso de duas caçambas para concretagem, caçambas estas que são usadas alternadamente, diminuindo-se o tempo de ociosidade da grua. Após o carregamento da caçamba esta é içada na vertical até uma altura de aproximadamente seis metros. Este procedimento é justificável pela necessidade de se evitar a possibilidade de acidentes e choques. A partir deste ponto começa a haver a simultaneidade dos três movimentos básicos da grua. Este movimento composto deve ser tal que, ao seu final, a caçamba se encontre a uma altura de três metros acima da laje, na mesma vertical do ponto a ser alcançado pela caçamba. O movimento final é o da descida da caçamba até a laje.

A grande questão do algoritmo, portanto, é estabelecer o procedimento do operador para o movimento composto entre o ponto que se situa a seis metros na mesma vertical do local de carregamento e o ponto que se situa a três metros na mesma vertical do local de descarga na laje. O primeiro ponto é fixo para a concretagem de determinada laje, enquanto que o segundo é variável para cada um dos ciclos.

Para responder a esta questão é necessária a fixação de um sistema de coordenadas pelas res, conforme a figura 11.

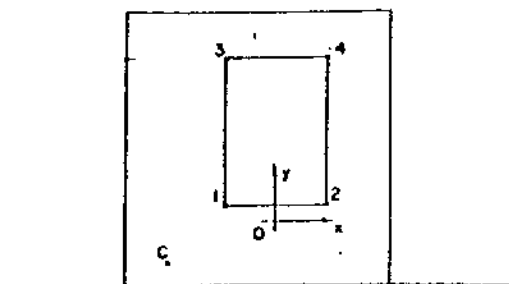


Figura 11 - Sistemas de Coordenadas Polares para a Modelagem do Transporte com Grua

Onde: O = centro da torre da grua e origem do sistema de referência.

C = local de carregamento da caçamba

1,2,3...n = vértices do pavimento tipo
além destes dados devem ser conhecidos também:

V_{CG} = volume útil da caçamba em m^3
e = espessura média da laje a ser concretada.

Dividindo-se a capacidade da caçamba pela espessura média da laje, obtém-se a área média (A) a ser coberta em cada uma das viagens da caçamba.

$$A = \frac{V_{CG}}{e} \quad (1)$$

Considerando-se esta área como tendo a forma de um quadrado, este teria a dimensão:

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{\frac{V_{CG}}{e}} \quad (2)$$

Com este valor (b), e com as coordenadas dos vértices do pavimento tipo é possível quadricular este pavimento, obtendo-se no centro dos quadrados as coordenadas dos pontos a serem atingidos em cada viagem da caçamba.

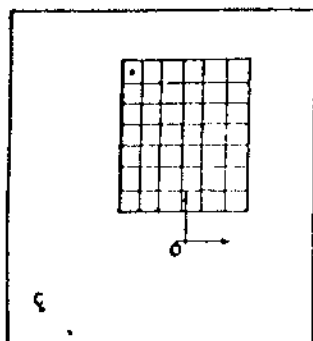


Figura 12 - Determinação dos Pontos a Serem Servidos em Cada Viagem da Grua

Assim, todos os pontos necessários estão determinados. O ponto de origem do movimento composto.

$$A (r_c, \theta_c, b)$$

e os n pontos onde terminam os movimentos compostos

$$B_i (r_i, \theta_i, H + 3)$$

onde: H = cola da laje a ser servida.

Para cada ponto determinam-se os tempos:

$$t_r = \frac{\theta_i - \theta_c}{\omega}$$

$$t_t = \frac{r_i - r_c}{v_t}$$

$$t_i = \frac{H + 3 - b}{v_i} = \text{constantes}$$

onde:

- t_r = tempo de rotação
- t_t = tempo de translação do carrinho
- t_i = tempo de içamento no movimento composto
- ω = velocidade angular da grua
- v_t = velocidade de translação do carrinho ao longo da lança
- v_i = velocidade de içamento da grua.

Sendo o movimento composto,

$$T = \text{máx} (t_r, t_t, t_i)$$

Assim o tempo total para o descarregamento de uma caçamba, considerando-se as velocidades de movimentação da grua constantes e independentes da carga movimentada, é igual a:

$$T_i = 2 t_{ic} + 2 \text{máx} (t_{ri}, t_{ti}, t_{ii}) + 2 t_d + t_{dcG} + t_{tc} \quad (3)$$

- onde: t_{ic} = tempo de içamento simples
- t_d = tempo de descida simples
- t_{dcG} = tempo de descarga caçamba
- t_{tc} = tempo de troca das caçambas

A Figura 13 ilustra a designação dos tempos em cada fase do movimento.

O tempo teórico para a concretagem de uma laje é dado por:

$$T = \sum T_i + K \cdot t_B$$

$$T = n \left[2 \cdot \frac{b}{v_i} + 2 \text{máx} (t_{ti}, t_{ri}, t_{ii}) + 2 \cdot \frac{3}{v_i} + t_{dcG} + t_{tc} \right] + K t_B$$

$$T = \frac{V_c}{V_{CG}} (t_{dec} + t_{tc} + \frac{18}{V_i}) + Kt_B + 2 \sum \text{máx} (t_{ri}, t_{ti}) \quad (4)$$

onde:

t_B = tempo para posicionamento do caminhão betoneira

K = número de caminhões betoneira da concretagem

V_c = volume de concreto a ser movimentado

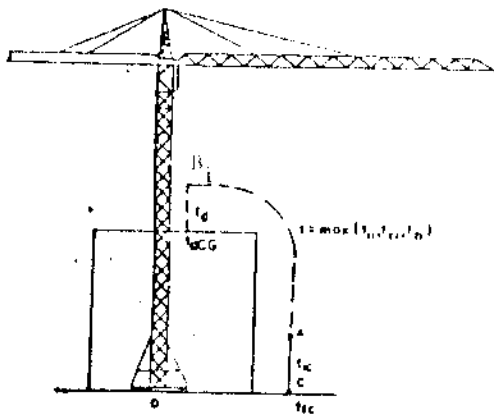


Figura 13 - Designação dos Tempos em cada Fase do Movimento da Grua

temore, no entanto, que esta metodologia para o cálculo dos tempos, metodologia está baseada na proposta por Warszawski (7), não leva em conta a possibilidade de choque da caçamba com a própria estrutura do edifício em construção. De fato, no movimento entre o ponto A e os pontos B_1 , pode ocorrer da caçamba, ao passar pelo perímetro do edifício em construção não se encontrar a uma altura suficiente que evite o choque. A figura 14 ilustra o que foi dito. Para enfrentar este risco de acidente, o procedimento mais a favor da segurança é promover sempre todos os movimentos de içamento antes dos movimentos de translação e rotação (curva B). Neste caso a fórmula geral para o cálculo dos tempos de concretagem passa a ser dada por:

$$T_i = 2 t_{ic} + 2 \text{máx} (t_{ri}, t_{ti}) + 2 t_{td} + t_{dec} + t_{tc}$$

$$T = K T_i + K t_B$$

$$T = K t_B \left[\sum 2 \left(\frac{h_i + 3}{V_i} + 2 \frac{3}{V_i} + t_{dec} + t_{tc} + 2 \text{máx} (t_{ri}, t_{ti}) \right) \right]$$

$$T = \frac{V_c}{V_{CG}} (t_{dec} + t_{tc} + \frac{2 N h + 12}{V_i}) + K t_B + 2 \sum \text{máx} (t_{ri}, t_{ti}) \quad (5)$$

onde:

N = nº de pavimento

h = pé direito do pavimento

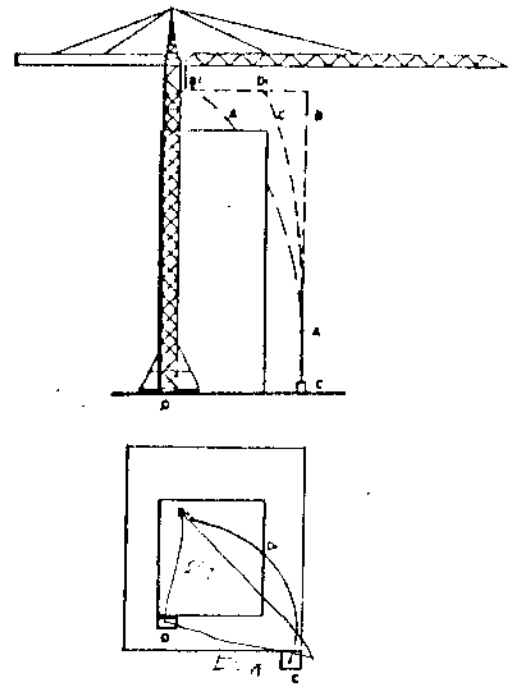


Figura 14 - Percursos da Caçamba conforme o procedimento de Operação da Grua na Concretagem de uma laje

Esta trajetória proposta está a favor da segurança e provoca uma perda inútil de tempo

Passa-se a seguir, a propor um procedimento mais elaborado que procura minimizar o tempo total sem a possibilidade de choques com a estrutura. Não se pretende propor o melhor procedimento em cada caso mais sim um procedimento possível.

O algoritmo desenvolvido pressupõe o uso de uma grua cujas velocidades características são fixas, não permitindo regulações das mesmas. Para guias com mais recursos, que permitam uma gradação de velocidades, o algoritmo deve ser adaptado.

A idéia básica para se evitar a possibilidade de choques é a de mudar o movimento com

posto da grua. O ponto final do movimento composto deixa de ser o ponto Bi e passa a ser, em planta, o ponto do perímetro do edifício que seria alcançado, com uma altura igual à do pavimento somada a três metros (ponto Di), como mostrado na figura 14, curva C.

O primeiro passo para a determinação do movimento é encontrar o ponto Di, para cada viagem da caçamba. Para tanto, inicialmente deve-se calcular os tempos:

$$t_r = \frac{\theta_i - \theta_c}{\omega}$$

$$t_t = \frac{r_i - r_c}{v_t}$$

No caso de $t_r > t_t$ toma-se como procedimento o início da trajetória somente com o movimento de rotação, até o instante $\Delta t = t_r - t_t$. A partir deste instante o movimento será tanto de rotação como de translação. Já no caso de $t_t > t_r$, a situação é inversa, ocorrendo a translação até o instante $\Delta t = t_t - t_r$, a partir daí ocorrendo o movimento composto. Obviamente nos dois casos o movimento de içamento vai sendo feito desde o começo. Para melhor visualização, é mostrada a figura 15:

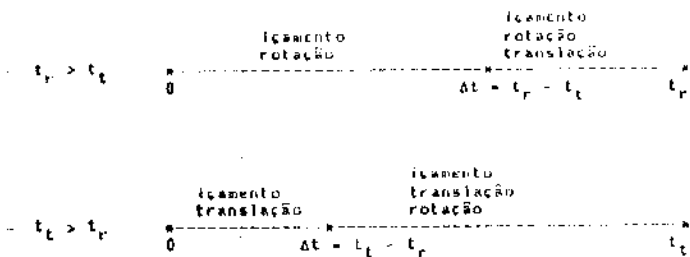


Figura 15 - Esquema da Realização de Cada Movimento da Grua ao longo de uma Viagem da Caçamba.

Para a determinação do ponto em que o movimento alcança o perímetro do edifício, o cálculo tem o seguinte roteiro:

Caso 1: $t_r > t_t$ (Tempo de rotação maior que o tempo de Translação)

$$\theta_{Di} = \theta_c + \omega \cdot t_{Di}$$

$$r_{Di} = r_c$$

$$r_{Di} = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot \text{sen}(\theta_1 - \theta_2)}{r_2 \cdot \text{sen}(\theta_{Di} - \theta_2) + r_1 \cdot \text{sen}(\theta_1 - \theta_{Di})} \quad *$$

$$0 < t_{Di} \leq t_r - t_t$$

$$\theta_1 \leq \theta_{Di} \leq \theta_2$$

**

Onde a expressão (*) é a equação do segmento de reta que une os vértices cujas coordenadas são (r_1, θ_1) e (r_2, θ_2) .

Este sistema de três equações a três incógnitas $(r_{Di}, \theta_{Di}, t_{Di})$, condicionadas pelas inequações (**), pode ou não ter resposta. No caso de não haver solução, significa que não existe esta intersecção nesta fase do movimento. Acontecendo este fenômeno, parte-se a fase do movimento composto

$$\theta_{Di} = \theta_c + \omega(t_r - t_t) + \omega t_{Di}$$

$$r_{Di} = r_c + v_t \cdot t_{Di}$$

$$r_{Di} = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot \text{sen}(\theta_1 - \theta_2)}{r_2 \cdot \text{sen}(\theta_{Di} - \theta_2) + r_1 \cdot \text{sen}(\theta_1 - \theta_{Di})}$$

$$t_r - t_t < t_{Di} \leq t_r$$

$$\theta_1 \leq \theta_{Di} \leq \theta_2$$

Na eventualidade de não haver solução, um novo segmento de reta deve ser considerado (uma nova fachada no edifício), e o procedimento de cálculo retorna ao primeiro sistema de equações.

Outra observação diz respeito ao sentido da movimentação. A partir dos valores (r_1, θ_1) e (r_2, θ_2) , determina-se o sentido do deslocamento tanto na rotação como na translação. A partir desta determinação, as velocidades de rotação e translação adquirem valores positivos ou negativos convencionados.

Caso 2: $t_t > t_r$ (tempo de translação maior que o tempo de rotação)

$$\theta_{Di} = \theta_c$$

$$r_{Di} = r_c + v_t \cdot t_{Di}$$

$$r_{Di} = \frac{r_1 \cdot r_2 \cdot \text{sen}(\theta_1 - \theta_2)}{r_2 \cdot \text{sen}(\theta_{Di} - \theta_2) + r_1 \cdot \text{sen}(\theta_1 - \theta_{Di})}$$

$$0 < t_{Di} \leq t_t - t_r$$

$$\theta_1 \leq \theta_{Di} \leq \theta_2$$

No caso de não haver resposta:

$$\theta_{Di} = \theta_c + \omega t_{Di}$$

$$r_{Di} = r_c + v_t(t_t - t_r) + v_t \cdot t_{Di}$$

$$r_{Di} = \frac{r_1 r_2 \sin(\theta_1 - \theta_2)}{r_2 \sin(\theta_{Di} - \theta_2) + r_i \sin(\theta_1 - \theta_{Di})}$$

$$t_t - t_r < t_{Di} \leq t_t$$

$$\theta_1 \leq \theta_{Di} \leq \theta_2$$

Não havendo solução, toma-se um novo segmento de reta do perímetro e retorna-se ao primeiro sistema de equações.

A partir deste algoritmo mostrado é possível determinar os pontos D_i (r_{Di} , θ_{Di} , $H+3$), para todas as viagens da caçamba na concretagem. Este algoritmo dá origem à curva C, mostrada na Figura 14. O procedimento geral resume-se em:

- içamento simples até uma altura de seis metros (ponto A)
- movimento composto segundo algoritmo descrito entre o ponto A e o ponto D_i .
- movimento horizontal composto entre o ponto D_i e o ponto B_i
- descida do ponto B_i até o local de descarga
- descarga
- retorno em movimentos opostos nos anteriores.

A partir deste procedimento é possível a determinação do tempo teórico total necessário para a concretagem.

$$T_i = 2 t_{ic} + 2 \max(t'_{ri}, t'_{ti}, t'_{ii}) + 2 \max(t''_{ri}, t''_{ti}) + 2 t_d + t_{dcG} + t_{tc}$$

$$T = \sum T_i + K t_B$$

$$T = K t_B + \sum [2 \cdot \frac{6}{v_i} + 2 \max(t'_{ri}, t'_{ti}, t'_{ii}) + 2 \max(t''_{ri}, t''_{ti}) + 2 \cdot \frac{3}{v_i} + t_{dcG} + t_{tc}]$$

$$T = K t_B + \frac{v_c}{v_{CG}} [t_{dcG} + t_{tc} + \frac{18}{v_i}] +$$

$$+ 2 \sum [\max(t'_{ri}, t'_{ti}, t'_{ii}) + \max(t''_{ri}, t''_{ti})]$$

$$t'_{ti} = \frac{\theta_{Di} - \theta_c}{\omega}$$

$$t'_{ri} = \frac{r_{Di} - r_c}{v_t}$$

$$t'_{ii} = \frac{H + 3 - 6}{v_i} = \frac{H - 3}{v_i}$$

$$t''_{ri} = \frac{\theta_1 - \theta_{Di}}{\omega}$$

$$t''_{ti} = \frac{r_i - r_{Di}}{v_t}$$

O procedimento proposto, aqui denominado procedimento 1 e cuja transposição em um programa de computador é encontrada em (1) somente tem possibilidade de ser seguido no caso da máquina ser operada automaticamente. O tempo de concretagem seria algo próximo do máximo rendimento possível da grua, garantindo-se segurança contra choques.

Com os equipamentos atuais, não automáticos o tempo total acaba sendo função da habilidade do operador, podendo ser tomado como limite máximo de tempo aquele encontrado através do procedimento correspondente à curva B da figura 14, calculada pela fórmula 5 denominado aqui procedimento 2. Algumas observações genéricas, no entanto, podem ser feitas a respeito dos tempos de concretagem dos diversos pavimentos.

- Procedimento 2 (curva B da Figura 14): A curva tempo de concretagem x pavimento na da mais é, utilizando-se este procedimento, que uma reta como a mostrada na Figura 16.

O cálculo do tempo é baseado na soma de duas parcelas. A parcela referente ao içamento, que varia linearmente com o andar a ser concretado, e uma parcela referente à movimentação horizontal, que é constante para todos os pavimentos.

A declividade da reta é função da velocidade de içamento e do número de viagens da caçamba.

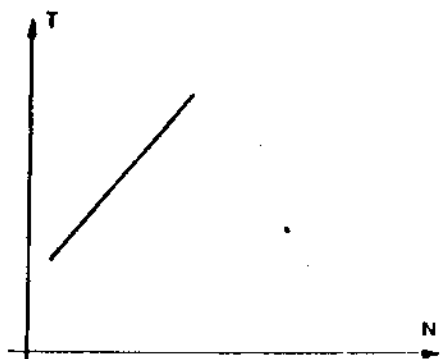


Figura 16 - Configuração Genérica do Gráfico do Tempo de Concretagem com Grua em Função do Pavimento a ser Servido, Empregando-se o Procedimento 2.

mas o condicionante é o movimento horizontal.

- O procedimento 2 provoca um tempo de concretagem superior ao procedimento 1. A porcentagem em que este tempo é superior, é pequena para os primeiros pavimentos, crescendo continuamente enquanto a curva referente ao procedimento 1 permanecer horizontal. Mesmo ao longo do setor 2 da curva do procedimento 1, a relação percentual continua a crescer, ainda que com menor intensidade. A partir do setor 3, a diferença absoluta dos tempos propiciados pelos dois procedimentos permanece constante, enquanto a relação percentual decresce continuamente. A Figura 18 ilustra a configuração das diferenças percentuais.

- Procedimento 1 (curva C da Figura 14): A curva é composta por três setores distintos, conforme figura 17.

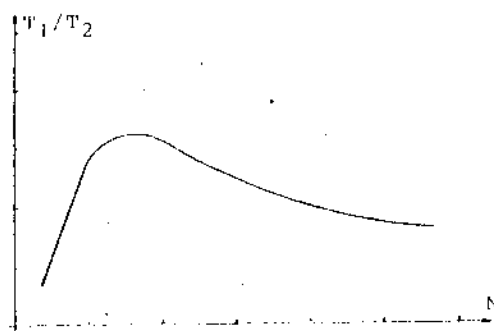


Figura 18 - Relação Percentual entre os Tempos de Concretagem com Grua, Empregando-se o Procedimento 1 e o Procedimento 2.

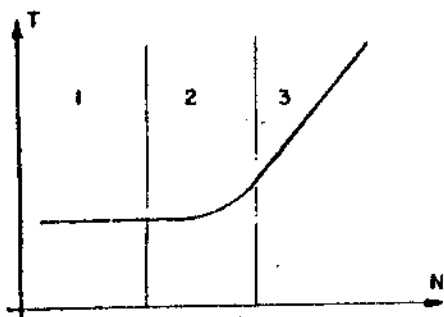


Figura 17 - Configuração Genérica do Gráfico do Tempo de Concretagem com Grua em Função do Pavimento a ser Servido, empregando-se o Procedimento 1.

Analisando-se as Figuras 16, 17 e 18, percebe-se que não é necessária a aplicação de todo o cálculo referente ao procedimento 1, cálculo este sensivelmente demorado, para a determinação do tempo de concretagem de cada um dos pavimentos de um hipotético edifício.

O primeiro setor é horizontal, ou seja, o tempo de concretagem dos primeiros pavimentos é constante. Nestes primeiros pavimentos o movimento de içamento nunca é o condicionante do processo. O número de pavimentos em que o tempo de concretagem permanece constante é tanto maior quanto menor for a velocidade angular e de translação em relação à velocidade de içamento.

No terceiro setor, a curva é uma reta paralela àquela correspondente ao procedimento 2, ou seja, neste caso em todas as viagens da caçamba o movimento condicionante é o içamento.

O segundo setor é o intermediário, aquele em que em algumas viagens da caçamba o condicionante é o movimento vertical e em algu

O cálculo simplificado tem o seguinte roteiro:

- cálculo do tempo de concretagem do segundo pavimento empregando-se o procedimento 2 ($T_{2,2}$), cálculo este muito mais simples que o referente ao procedimento 1.
- cálculo do tempo de concretagem de um pavimento alto (trigésimo quinto por exemplo) empregando-se o procedimento 1 ($T_{35,1}$)
- traçado de uma horizontal no gráfico a partir de $T_{2,2}$
- traçado de uma reta a partir de $T_{35,1}$ cu-

já declividade é de:

$$d = \frac{h \cdot x}{1800 v_j} \text{ horas/pavimento}$$

onde x = número de viagens da caçamba de concreto.

A figura 19 indica as curvas do tempo de concretagem empregando-se o cálculo simplificado (em que é necessário o cálculo preciso segundo o procedimento 1 de apenas um pavimento) e o cálculo preciso (em que todos os pavimentos tem seu tempo de concretagem calculado precisamente segundo o procedimento 1).

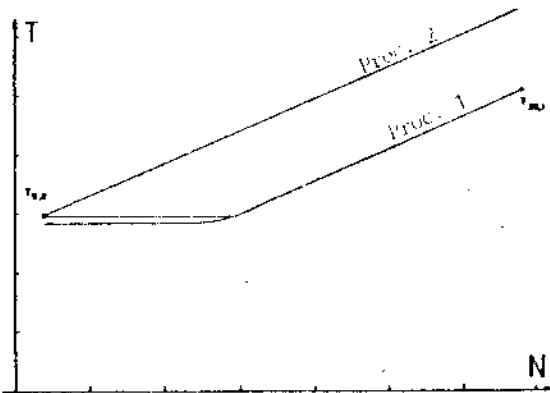


Figura 19 - Tempo de Concretagem com Grua, calculado a partir do procedimento simplificado proposto, em função do pavimento a ser servido.

4. TRANSPORTE DE AÇO COM GRUA

a) Pátio descarga - pátio de estocagem

O procedimento para o emprego da grua no deslocamento horizontal de barras de aço de grandes dimensões é ilustrado na Figura 20.

Um feixe de barras localizado no pátio de descarga (D) é içado inicialmente até uma altura de seis metros (D1). A seguir realizam-se simultaneamente os movimentos de rotação e translação da grua até o posicionamento do feixe de barras no ponto E1.

A carga é descida até o estoque (PTO E) sendo realizado na sequência o movimento inverso do guindaste até o ponto D para o içamento de um novo feixe de barras.

O tempo total de transporte de uma massa de aço pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$T = \frac{M_a}{M_G} [t_{caG} + t_{daG} + 2 \left(\frac{12}{v_i} \right) +$$

$$+ \max \left\{ \frac{v_e - 1d}{v_L} \dots \frac{v_e - 9d}{w} \right\}] \quad (11)$$

onde:

- M_a = massa de aço a ser movimentada
- M_G = massa de aço movimentada por viagem da Grua
- t_{caG} = tempo para fixação do feixe de barras
- t_{daG} = tempo de desmontagem do feixe de barras.

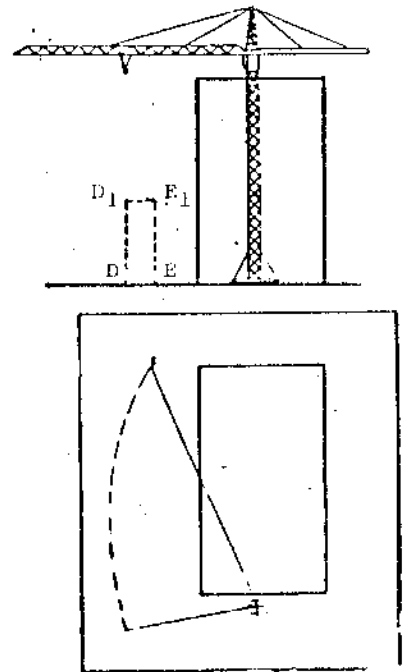


Figura 20 - Procedimento para a movimentação do Aço entre Descarga e Estoque com grua.

b) Pátio armação - ponto de aplicação

O emprego de grua para a movimentação do aço entre o pátio de armação e o ponto de aplicação torna possível que todos os pilares e vigas sejam previamente armados no pátio, pois praticamente não existem limitações quanto às dimensões máximas do componente a ser movimentado.

Com isto as armaduras podem ser montadas independentes do andamento da obra e somente a sua colocação nas formas é que acaba integrando o caminho crítico do cronograma.

Por outro lado, contudo, o número de armaduras de elementos que pode ser movimentada em cada viagem não depende somente da capacidade de carga da grua, mas também da geometria dos elementos, de forma a ser possível o encaixe para transporte.

Assim, o tempo total a ser dispensado pelo equipamento de transporte tem uma generalização de cálculo muito difícil, por depender das características geométricas de cada elemento estrutural, o que é variável de obra para obra.

5. TRANSPORTE DE BLOCOS E TIJOLOS COM GRUA

A primeira discussão a ser realizada quando se pretende movimentar tijolos e blocos com grua diz respeito ao sistema de acondicionamento dos tijolos a serem transportados. No caso do emprego de guias, é praticamente essencial a palletização dos tijolos, para que estes possam ser movimentados no espaço. A dimensão do pallet passível de ser modulada é função da capacidade suporte da grua, porém geralmente é empregada a própria palletização do fabricante de blocos. O transporte de blocos, conforme já mencionado, pode ser dividido em duas faces distintas:

- * pátio descarga - pátio estocagem
- * pátio estocagem - ponto de aplicação

a) Pátio descarga - pátio estocagem

A fase descarga-estoque pode até não existir na eventualidade do caminhão equipado com "munck" descarregar os blocos diretamente no seu estoque. Quando esta possibilidade tiver de ser descartada por dificuldades no canteiro, a grua deve realizar este movimento.

Para tanto, inicialmente a grua realiza um içamento do pallet até uma altura de seis metros, para a seguir realizar um movimento composto de rotação da torre e translação do pallet ao longo da lança. O pallet é descido até o estoque e a grua realiza os movimentos opostos para ser carregada com um novo pallet. A figura 21 ilustra o procedimento. O tempo total necessário para a fase do movimento descarga-estoque é dado pela expressão:

$$T = \frac{N_t}{N_p} [t_{cpG} + t_{dpG} + 2(t_{ic} + \max(t_r, t_t) + t_d)]$$

$$T = \frac{N_t}{N_p} [t_{cpG} + t_{dpG} + \frac{24}{v_i} + 2 \max(\frac{0e - 0d}{\omega}, \frac{r_e - r_d}{v_t})] \quad (12)$$

Onde:

- N_t = número de tijolos a ser movimentado
- N_p = número de tijolos do pallet
- t_{cpG} = tempo de carregamento do pallet pela grua
- t_{dpG} = tempo de descarga do pallet pela grua.

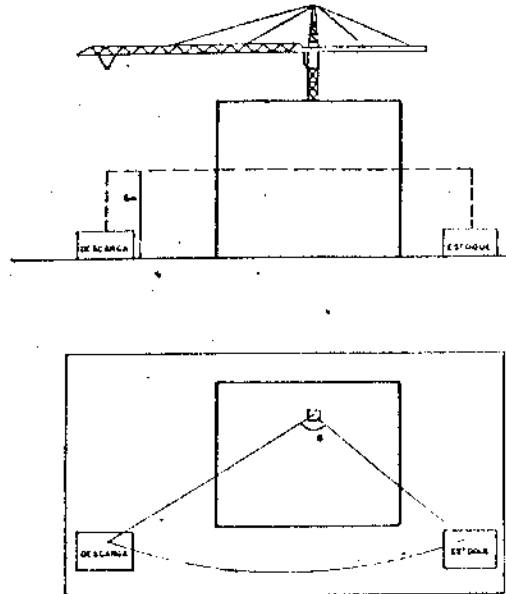


Figura 21 - Procedimento para o Transporte de Tijolos com Grua Entre Descarga e Estoque.

b) Pátio estocagem - ponto de aplicação

A segunda fase do movimento, em que os tijolos são levados do estoque até os diversos andares, envolve um procedimento sensivelmente diferente daquele mostrado para a movimentação de concreto através de grua.

Isto se deve, essencialmente, à configuração geométrica da obra na fase em que os tijolos e blocos devem ser alocados nos diversos andares, conforme mostrado na figura 22

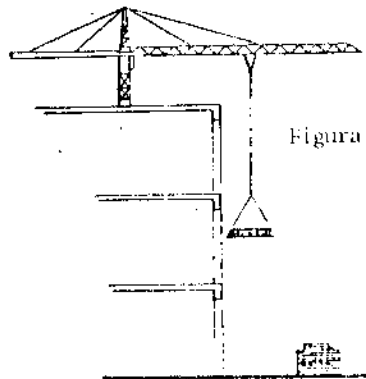


Figura 22 - Configuração da Obra no momento do Transporte dos Tijolos com Grua entre Isto que e Pavimento

A questão que se coloca é como introduzir os tijolos no pavimento através da grua. Esta questão é resolvida pelo emprego de um equipamento auxiliar: Plataformas, que podem ser metálicas ou de madeira (Figura 23)

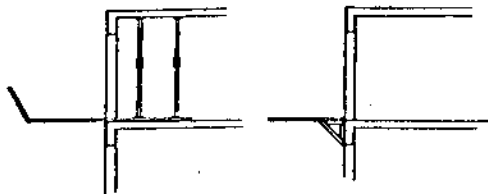


Figura 23 - Tipos de Plataformas para o Recebimento dos Tijolos no Pavimento.

As plataformas metálicas são equipamentos não sofisticados, estroncados contra a própria estrutura do edifício e que se projetam para fora do corpo da obra de uma distância de dois a três metros. As plataformas metálicas tem como grandes vantagens em relação às de madeira (que por sua vez nada mais são do que chapas de compensado apoiadas sobre mãos francesas de madeira) a possibilidade de montagem e desmontagem muito rápida (o conjunto inteiro é transportado de andar para andar pela própria grua) e uma maior durabilidade.

O procedimento, portanto, para o transporte dos pallets de tijolos e blocos através da grua pode ser assim resumido, como ilustrado na Figura 24:

- * içamento do pallet até uma altura de seis metros na mesma vertical do pátio de estocagem (ponto A);
- * composição dos três movimentos característicos da grua entre o ponto A e um ponto situado dois metros acima da plataforma na mesma vertical (ponto B);
- * descida do pallet até a plataforma (ponto C);
- * retirada dos pallets da plataforma;
- * movimentos opostos da grua até o pátio de estocagem para o carregamento de um novo pallet.

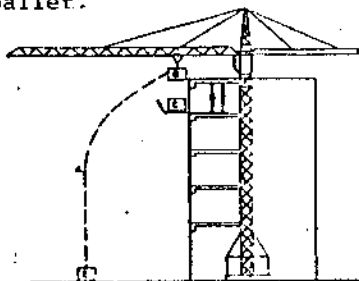


Figura 24 - Procedimento para o Transporte de Tijolos com Grua entre o Estoque e o Pavimento.

O tempo total necessário para a movimentação entre estoque e pavimento é dado por:

$$T = \frac{N_t}{N_p} [t_{cpG} + t_{dpG} + 2 [t_{ic} + \text{máx} (t_i, t_r, t_t) + t_d]]$$

$$T = \frac{N_t}{N_p} [t_{cpG} + t_{dpG} + \frac{16}{v_i} + 2 \cdot \text{máx} (\frac{N \cdot h - 4}{v_i}, \frac{\theta_r - \theta_e}{\omega}, \frac{r_c - r_e}{v_t})] \quad (13)$$

A questão que se coloca, neste caso, é como definir a localização da plataforma de recebimento de pallets. Uma vez que esta plataforma fica instalada por um curtíssimo espaço de tempo (somente o necessário para que o pavimento receba toda a quantidade de tijolos necessária), sua localização não produz interferência com o andamento normal dos trabalhos da obra.

A melhor localização na fachada é aquela que minimiza o tempo total de transporte dos pallets. Para se definir este local basta aplicar a expressão (13) para diferentes pontos possíveis da fachada e escolher aquele que propicia o menor tempo do movimento, para uma determinada localização da grua e para um determinado pátio de estocagem.

Na figura 25 está ilustrada a forma da variação esperada do tempo de transporte com o pavimento a ser servido para diferentes localizações da plataforma.

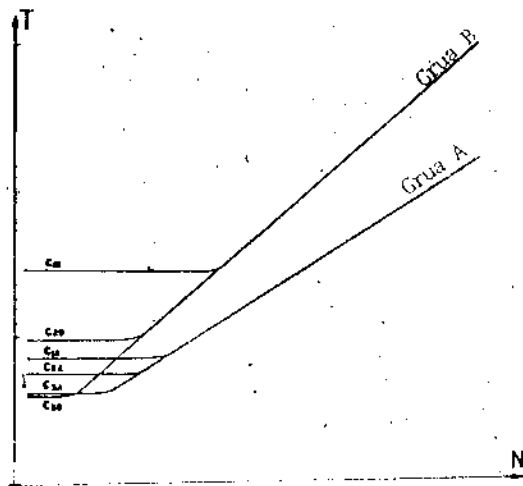


Figura 25 - Tempo de Movimentação dos Tijolos para Diferentes Localizações na plataforma (C1, C2, C3) e para Diferentes Gruas (A e B).

Percebe-se que para pavimentos muito altos e localização da plataforma não é importante pois o movimento condicionante é o içamento.

6. TRANSPORTE DE ARGAMASSA COM GRUA

A dificuldade que se coloca no transporte de argamassa com grua é como introduzir a caçamba cheia nos pavimentos. A questão é pertinente pois, ao contrário da fase de transporte de tijolos, na fase de transporte da argamassa as paredes do pavimento já estão executadas (Figura 26).

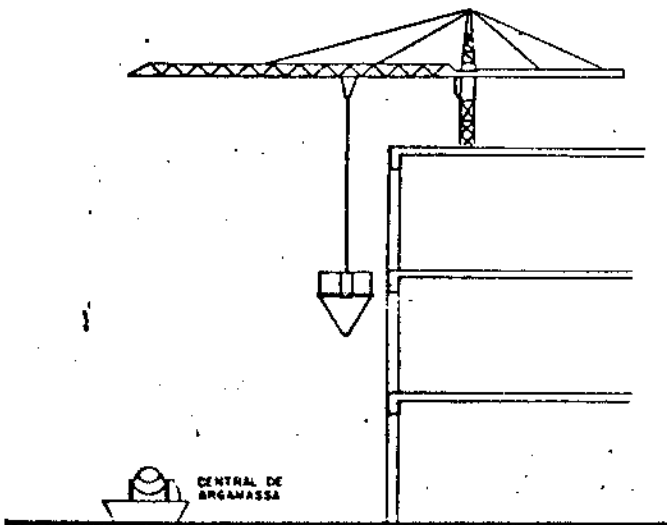


Figura 26 - Configuração da Obra ao ser Iniciada a Movimentação de Argamassa até os Pavimentos com Grua.

Frente a esta dificuldade existem duas alternativas de procedimento. A primeira é a de deixar de executar a alvenaria em determinado trecho da fachada. Neste local é então instalada a plataforma, metálica ou de madeira, mostrada na figura 23. Esta solução, no entanto, tem alguns inconvenientes que praticamente a inviabilizam. O primeiro deles é o de que o serviço de execução dos revestimentos com argamassa é lento, não se prestando à formação de estoques nos pavimentos. Com isto, é impossível montar e desmontar rapidamente a plataforma, como feito na movimentação de blocos e tijolos. Teriam de ser empregadas diversas plataformas, não localizadas em uma mesma vertical, para que não fossem prejudicados os movimentos da grua. Estando defasados nos diversos pavimentos, os vãos deixados nos pavimentos provocam uma interferência no andamento dos trabalhos atrasando a execução da fachada.

Assim, a alternativa para a movimentação de argamassa com grua está relacionada com a utilização de uma caçamba conveniente. Para esta utilização é conveniente, por exemplo, a caçamba mostrada na Figura 27. Esta caçamba, que permite a descarga inclinada, facilita a entrada do material através dos vãos de janela, diretamente sobre a caixa de argamassa, como mostrado na Figura 27. Neste caso não existe interferência com o andamento da obra pois a alvenaria, e posteriormente a fachada como um todo, pode ser executada normalmente. O procedimento recomendado para a movimentação de argamassa com grua é, portanto, o seguinte:

- * içamento da caçamba até uma altura igual a seis metros
- * Composição dos três movimentos característicos da grua até o ponto almejado
- * Descarga da caçamba
- * Retorno em movimentos opostos aos iniciais
- * Troca da caçamba vazia por outra cheia de argamassa

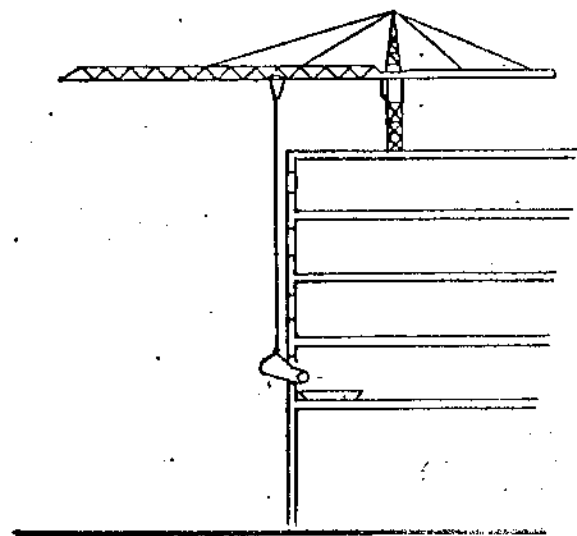


Figura 27 - Uso de Caçamba Especial para a Movimentação de Argamassa com Grua.

A definição pelo ponto de fachada onde deve ocorrer a descarga da caçamba leva em conta dois pontos básicos.

O primeiro, e normalmente o fator condicionante, é a localização ideal da caixa de argamassa, que deve ficar em local amplo, nor

malmente a sala do apartamento que tem, inclusive, a vantagem adicional de possuir as maiores janelas. O segundo ponto é o tempo de transporte entre a central de argamassa e a janela em questão. A expressão empregada para o cálculo do tempo necessário para a movimentação de uma quantidade de argamassa é a seguinte:

$$T = \frac{V_{ar}}{V_{CG}} [2 \cdot \left(\frac{6}{v_i} + \max(t_i, t_r, t_t) \right) + t_{tc} + t_{dcG}]$$

$$T = \frac{V_{ar}}{V_{CG}} \left[\frac{12}{v_i} + t_{tc} + t_{dcG} + 2 \cdot \max \left(\frac{N_i - 6}{v_i}, \frac{\theta_x - \theta_x}{\omega}, \frac{r_x - r_u}{v_t} \right) \right] \quad (14)$$

Onde:

V_{ar} = volume argamassa a ser movimentada

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grua é um equipamento de transporte que, se de um lado tem um custo inicial muito superior ao do elevador de obra, de outro possui um desempenho que pode viabilizar sua utilização.

A única forma de realizar esta comparação é justamente a análise da grua em termos de sua produtividade, como se procurou fazer no presente trabalho.

Em trabalho a ser publicado em um próximo boletim técnico será analisado o desempenho do sistema de transporte empregando-se o elevador de obra e guinchos de coluna, no sentido de estabelecer as bases de uma comparação fundamentada entre os sistemas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) LICHTENSTEIN, N.B. Formulação de modelo para o dimensionamento do sistema de transporte no canteiro de obra do edifício. São Paulo, 1987. (Tese de doutoramento apresentada à Escola Politécnica da USP).

(2) GO ANYWHERE, LIFT ANYTHING. International Construction, London, 25 (12): 36-55. Dec, 1986.

(3) CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS. Construção Pesada, São Paulo, 10 (115): 95-98, Ago 1980.

(4) BRAUNER, R. Técnicas e Utilização do guindaste de torre. Construção Pesada,

São Paulo, 8 (91): 172-177, Ago 1978.

(5) LIEBHERR BRASIL. Guindaste Giratório de Torre. Guaratinguetá, s.d.

(6) CARDÃO, C. Técnicas da Construção. Belo Horizonte, Engenharia, Arquitetura, 1976 v.1.

(7) WARSZAWSKI, A. Analysis of Transportation Methods in Construction. Journal of the Construction division, ASCE. New York, 99 (1): 191-202, Jul, 1973.