



Jeferson Hentz Paz

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PNEUMÁTICO PARA UMA
MÁQUINA PRODUTORA DE BLOCOS DE CONCRETO**

Horizontina

2012

Jeferson Hentz Paz

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA PNEUMÁTICO PARA UMA
MÁQUINA PRODUTORA DE BLOCOS DE CONCRETO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Richard Thomas Lermen, Doutor em Engenharia.

Horizontina

2012

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Dimensionamento de um sistema pneumático para uma máquina
produtora de blocos de concreto”**

Elaborada por:

Jeferson Hentz Paz

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 28/11/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Me. César Antônio Mantovani
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Prof.Me. Ricardo Ferreira Severo
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica - FAHOR**

**Horizontalina
2012**

DEDICATÓRIA

À minha família, minha namorada, e a Deus, que sempre estiveram comigo em todos os momentos dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem ele não encontraria esse caminho.

À minha namorada e futura noiva, que esteve ao meu lado me auxiliando, sendo paciente nos momentos difíceis e sempre presente com seu infinito amor e carinho. Meu amor, parte desse sonho é seu, muito obrigado.

Agradeço aos meus pais que de um modo ou de outro me ajudaram nessa jornada.

Aos colegas e professores que dividiram seus conhecimentos e serviram de exemplos de vida e formação profissional.

A todos que de uma maneira ou outra contribuíram para que meu sonho se tornasse realidade.

Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.

Henry Ford

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema pneumático para a automatização de uma máquina para fabricação de blocos de concreto, cujo principal problema é a baixa produtividade em relação à mão de obra necessária. Esse dimensionamento foi realizado no intuito de aumentar a produtividade da máquina, diminuir o número de operadores, melhorar a ergonomia desta e elevar o grau de satisfação do cliente. Para alcançar essas expectativas foram adotados procedimentos metodológicos que incluem a análise do embasamento teórico apropriado; o conhecimento das equações necessárias para o desenvolvimento do dimensionamento dos atuadores e da linha principal; visitas a campo a fim de verificar o funcionamento da máquina para produção de blocos de concreto; caracterizar os locais para a adaptação dos atuadores e definir os componentes pneumáticos necessários por meio de catálogos dos fabricantes disponíveis. A partir deste estudo foi possível determinar as melhores posições para a adaptação do sistema pneumático, além de estabelecer os diâmetros dos atuadores e da linha principal, possibilitando assim, apresentar o diagrama funcional, circuito pneumático e encontrar todos os componentes necessários para a montagem do sistema. Entretanto, foi desenvolvido um modelo dimensional pneumático para a mecanização de uma máquina para fabricação de blocos de concreto.

Palavras-chaves:

Pneumática - dimensionamento—blocos de concreto.

ABSTRACT

This paper aims to scale a pneumatic system for automation of a machine for manufacturing concrete blocks, whose main problem is low productivity relative to labor required. This scaling was done in order to increase machine productivity, reduce the number of operators, improve the ergonomics of this and raising the level of customer satisfaction. To achieve these expectations were adopted methodological procedures which include the analysis of appropriate theoretical foundation; knowledge of equations necessary for the development of sizing of actuators and the main line, field visits to verify the operation of the machine to produce blocks concrete; characterize the locations for the adaptation of actuators and pneumatic components necessary to define through catalogs of manufacturers available. From this study it was possible to determine the best positions for adjusting the pneumatic system, and establish the diameters of the actuators and the main line, thus enabling present the functional diagram, pneumatic circuit and find all the components required to assemble the system. However, a model was developed for pneumatic dimensional mechanization of a machine for the manufacture of concrete blocks.

Keywords:

Pneumatics - sizing - concrete blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Máquina para produção de blocos de concreto.....	13
Figura 2: Modelos de blocos de concreto.....	15
Figura 3: Compressor de Pistão (modelo volumétrico).....	20
Figura 4: Cilindro pneumático de simples efeito ou simples ação.	22
Figura 5: Cilindro pneumático de duplo efeito ou dupla ação.	23
Figura 6: Válvula de Controle de Fluxo Variável Bidirecional.	25
Figura 7: Válvula de Controle de Fluxo Variável Unidirecional.	25
Figura 9: Simbologia do número de vias de uma válvula de controle direcional.....	27
Figura 10: Montagem de um bloco manifold com válvulas direcionais.....	28
Figura 11: Primeira etapa de trabalho da máquina para produção de blocos de concreto. ..	37
Figura 13: Terceira etapa de trabalho da máquina para produção de blocos de concreto. ..	38
Figura 14: Quarta etapa de trabalho da máquina para produção de blocos de concreto.....	39
Figura 15: Posição do atuador 1 na máquina de bloco.	39
Figura 16: Posição dos atuadores 2 na máquina de bloco.	40
Figura 17: Posição do atuador 3 na máquina de bloco.	40
Figura 18: Dinamômetro usado para medição da força realizada para o deslocamento do carrinho.....	41
Figura 19: Desenho técnico dos cilindros ISO 6431/VDMA - série P1E.	42
Figura 20: Análise de propriedades de massa de um componente realizada no SolidWorks	43
Figura 21: Operação executada para medição da força realizada para o deslocamento do palhete.....	44
Figura 22: Representação do diagrama funcional do sistema pneumático.....	48
Figura 23: Circuito pneumático do sistema proposto para automatização da Máquina para Fabricar Blocos de Concreto.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 MÁQUINAS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO	13
2.1.1 Blocos de concreto	14
2.2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	15
2.3 PNEUMÁTICA	16
2.3.1 Produção e distribuição do ar comprimido	21
2.3.2 Atuadores pneumáticos	21
2.3.3 Válvula de controle de fluxo	24
2.3.4 Válvula de controle direcional	26
2.3.5 Montagem de válvulas pneumáticas em bloco manifold	29
3 METODOLOGIA	29
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	29
3.1.1 Dimensionamento de atuadores pneumáticos lineares comerciais	29
3.1.2 Cálculo do consumo de ar necessário	31
3.1.3 Dimensionamento da linha tronco principal	32
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
4.1 MÁQUINA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO MB10000	37
4.2 DIMENSIONAMENTO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS	41
4.2.1 Dimensionamento do atuador número 1	41
4.2.2 Dimensionamento do atuador número 2	43
4.2.3 Dimensionamento do atuador número 3	44
4.3 DIMENSIONAMENTO DA LINHA PRINCIPAL	45
4.3.1 Consumo de ar por pistão	45
4.3.2 Determinação do diâmetro mínimo da linha principal	47
4.4 COMPONENTES UTILIZADOS PARA O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	48
CONCLUSÕES	51
SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro encontra-se em expansão devido aos recursos reservados pelo governo federal às obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC); do "Minha Casa, Minha Vida"; da Copa de 2014; dos Jogos Olímpicos de 2016, etc., resultando em um aumento no consumo de blocos de concreto concomitantemente ao aumento da produtividade destes materiais por parte das empresas, buscando máquinas que apresentem um elevado nível de produção com o mínimo de mão-de-obra manual possível (ANEPAC, 2012).

A empresa Biotechnos Projetos Autossustentáveis fabrica, dentre outros equipamentos, máquinas utilizadas para a produção de blocos de concreto. Essas máquinas são operadas manualmente necessitando, no mínimo, de três operadores para seu correto funcionamento. Pesquisas realizadas pela empresa apontaram insatisfação em relação à produtividade *versus* operador, sendo que para a produção de 1400 blocos diários precisa-se de quatro operadores para a máquina, ou seja, para que a produção de blocos da máquina seja satisfatória, exige-se um número considerável de operadores atuando ao mesmo tempo.

Hoje em dia, de acordo com Ribeiro (2001), o investimento em automação é uma das alternativas mais procuradas por se tratar um processo que leva à redução de perdas, à busca do custo baixo, menor tempo de produção e alta qualidade. A automação industrial não serve apenas para empresas de grande porte, pelo contrário, esse processo é importante para todas as empresas, pois a automação garante diversas vantagens.

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo geral apresentar o dimensionamento de um sistema pneumático para automação de uma máquina para fabricar blocos de concreto. Para que o objetivo geral seja alcançado, faz-se necessário os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o embasamento teórico apropriado através dos conceitos necessários para dimensionar um sistema pneumático;
- Conhecer as equações necessárias para o desenvolvimento do dimensionamento dos atuadores e da linha principal;
- Ir a campo verificar o funcionamento da máquina para produção de blocos de concreto;

- Realizar os cálculos para o dimensionamento através da definição dos locais para a adaptação dos atuadores;
- Definir os componentes pneumáticos necessários por meio de catálogos dos fabricantes disponíveis;
- Fazer uma análise dos resultados encontrados.

Com a indústria brasileira da construção civil aquecida e a venda de blocos de concreto em alta, a produtividade e a falta de mão de obra são grandes problemas para as empresas, sendo assim, os empresários estão avaliando cada vez mais na hora da compra os fatores produtividade e mão de obra para operação. Levando em conta esses motivos à empresa Biotechnos Projetos Autossustentáveis está disposta a fazer uma automatização na máquina para fabricação de blocos de concreto, com a expectativa de aumentar a produtividade, reduzir o número de operadores e diminuir o trabalho repetitivo executado pelos mesmos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, o trabalho apresenta uma fundamentação teórica sobre sistemas pneumáticos, processo de fabricação de blocos e métodos de automatização.

2.1 MÁQUINAS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

De acordo com Fioriti e Akasaki (2004), as máquinas produtoras de blocos de concreto são caracterizadas como vibro-prensas, devido ao tipo de mecanismo que é empregado para se fazer com que o material de dosagem penetre e preencha as fôrmas macho e fêmea, que são acopladas nas vibro-prensas. Vale ainda ressaltar que, quando temos as vibro-prensas trabalhando com a alimentação das fôrmas controlada, estas podem ter suas propriedades físicas otimizadas, devido à estreita relação que este parâmetro possui com os graus de diminuição do volume a que os blocos são submetidos. A Figura 1 apresenta um modelo de vibro-prensas.



Figura 1: Máquina para produção de blocos de concreto. Fonte: Pec Formas, 2012.

O mecanismo de vibração das vibro-prensas é um dos principais responsáveis pela qualidade dos blocos que são moldados. A vibração rege as operações de moldagem e colabora diretamente para a prensagem dos blocos. De modo geral, a melhor vibração é aquela que permite obter num tempo mínimo, blocos de qualidade homogênea em todos os pontos da fôrma, provocando assim uma ótima compactação. Os parâmetros que definem a vibração são os seguintes: direção, fôrma, frequência, amplitude, velocidade, aceleração e duração (FIORITI, 2002, p.9).

2.1.1 Blocos de concreto

Blocos de concreto são obtidos através de uma mistura homogênea de brita, areia e cimento especial CP-V (cimento de alta resistência inicial). Os blocos de concreto são utilizados para fazer alvenarias, alicerces, arrimo, entre outros. No caso do uso do bloco de concreto para muros de arrimo, economiza-se mão de obra especializada e madeira (tabuas, escoras, carpinteiro, etc.) proporcionando menor custo e economia de tempo (JUNIOR, 2004).

Ainda conforme o autor mencionado acima, os blocos de concreto aparente são blocos cujas faces contêm um bom acabamento que dispensa o reboco, podendo aplicar a pintura diretamente em cima do bloco ou deixá-lo aparente.

Esses componentes são identificados pela sua resistência à compressão obtida em laboratórios, classificando-os como bloco para alvenaria de vedação ou blocos para alvenaria estrutural. A grande diferença entre o bloco de vedação para o bloco estrutural está no valor de sua resistência que é fixado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, *apud* SANTOS, 2011).

Os modelos dos blocos de concreto se caracterizam pelas suas diferentes formas, conforme mostra a Figura 2.

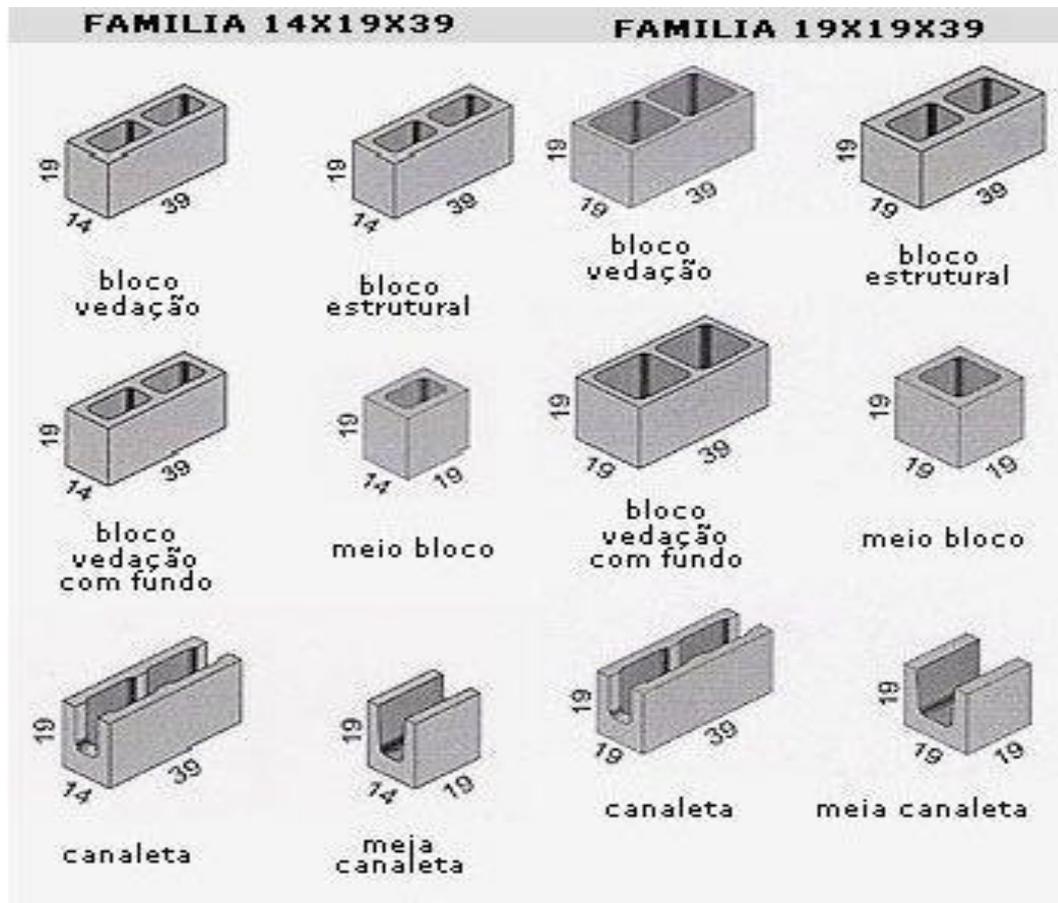


Figura 2: Modelos de blocos de concreto. Fonte: Biotechnos, 2012.

2.2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação, segundo Ribeiro (2001), é a substituição do trabalho humano ou animal por máquina, sendo uma operação de máquina, ou de sistema automaticamente, ou por controle remoto, com a mínima interferência do operador humano.

O mesmo autor relata que o conceito de automação varia com o ambiente e experiência da pessoa envolvida. Por exemplo, para uma dona de casa, a máquina de lavar roupa ou lavar louça; para um empregado da indústria automobilística, pode ser um robô; para uma pessoa comum, pode ser a capacidade de tirar dinheiro do caixa eletrônico.

Automação caracteriza-se pelo uso de potência elétrica ou mecânica para ativar algum tipo de máquina. A ideia é acrescentar à máquina algum tipo de

inteligência para que ela realize sua tarefa de modo mais eficiente e com vantagens econômicas e de segurança (RIBEIRO, 2001).

Conforme Fialho (2012), a automação, através de fluidos sob pressão, dividiu-se em dois grupos bem definidos que, apesar de parecidos com relação aos componentes que utilizam e, algumas vezes, estão em uma mesma máquina, têm seus limites de operações basicamente em função das pressões de trabalho e das forças que são capazes de gerar, além do custo que pode superar os 100% de diferença. O primeiro grupo, e certamente o de mais antiga aplicação pelo homem, é o fluido hidráulico (fluido líquido sob pressão); já o segundo é o fluido pneumático (fluido gasoso sob pressão).

A automação requer um estudo muito bem elaborado de custo envolvido e real benefício que o processo vai gerar. Ainda é comum, atualmente, algumas empresas, ao exporem a seus profissionais a necessidade de que alguns processos sejam automatizados, com o objetivo à melhora de produtividade, tê-los sugerindo, ou mesmo implementando, automatizações em todo e qualquer processo produtivo de sua empresa, sem ter aplicado um estudo profundo de viabilidade técnica e financeira (FIALHO, 2012).

2.3 PNEUMÁTICA

Segundo Parker (2000), o termo pneumática é derivado do grego Pneumos ou Pneuma (respiração, sopro) e é caracterizado como a parte da Física que se ocupa da dinâmica e dos fenômenos físicos relacionados com os gases ou vácuos. É também definido como o estudo da conservação da energia pneumática em energia mecânica, por meio dos respectivos elementos de trabalho.

Parker (2000), ao referir-se a sistemas pneumáticos cita as vantagens e limitações, as quais podem ser verificadas abaixo.

Vantagens:

- Incremento da produção com investimento relativamente baixo.
- Redução dos custos operacionais. A velocidade nos movimentos pneumáticos e a libertação do operário (homem) de operações repetitivas possibilitam o aumento do ritmo de trabalho, elevada produtividade e, portanto, um menor custo operacional.

- Robustez dos componentes pneumáticos. A robustez referente aos controles pneumáticos torna-os relativamente insensíveis a vibrações e golpes, permitindo que ações mecânicas do próprio processo sirvam de sinal para as diferentes sequências de operação. São de fácil manutenção.
- Facilidade de implantação. Pequenas alterações nas máquinas convencionais, combinadas à disponibilidade de ar comprimido, são os requisitos necessários para implantação dos controles pneumáticos.
- Resistência a ambientes hostis. Poeira, atmosfera corrosiva, oscilações de temperatura, umidade, submersão em líquidos, dificilmente prejudicam os componentes pneumáticos, quando projetados para esse objetivo.
- Simplicidade de manipulação. Os controles pneumáticos não exigem operários especializados para sua manipulação.
- Segurança. Como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra acidentes, tanto pessoais, quanto no próprio equipamento, além de evitarem problemas de explosão.
- Redução do número de acidentes. A fadiga é um dos principais aspectos que favorecem acidentes; a implantação de controles pneumáticos diminui sua incidência (liberação de operações repetitivas).

Limitações:

- O ar comprimido exige uma boa preparação para realizar o trabalho proposto: remoção de impurezas, eliminação de umidade para evitar corrosão nos equipamentos, engates ou travamento se maiores desgastes nas partes móveis do sistema.
- Os componentes pneumáticos são comumente projetados e utilizados a uma pressão máxima de 1723,6 kPa. Logo, as forças envolvidas são pequenas se comparadas a outros sistemas. Assim, não é conveniente o uso de controles pneumáticos em operação de extrusão de metais. Provavelmente, o seu uso é vantajoso para recolher ou transportar as barras extrudadas.
- Velocidades muito baixas são difíceis de ser obtidas com o ar comprimido devido às suas propriedades físicas. Neste caso, utilizam-se sistemas mistos (hidráulicos e pneumáticos).
- O ar é um fluido altamente compressível, portanto, é impossível se obterem paradas intermediárias de velocidades uniformes. O ar comprimido é um

poluidor sonoro quando são realizadas exaustões para a atmosfera. Esta poluição pode ser evitada através da utilização de silenciadores nos orifícios de escape.

A existência física do ar, bem como a sua utilização como forma de energia é reconhecida há milhares de anos. Comprimindo ar atmosférico em um recipiente, transformando-o em ar comprimido a uma dada pressão de trabalho, obtemos energia pneumática. O equipamento utilizado para a obtenção deste processo é chamado de compressor. O ar comprimido é uma forma de energia conhecida pelo homem há muitos anos atrás, mas somente a partir de 1950 ele foi utilizado industrialmente na automação e na racionalização da força humana para trabalhos cíclicos e metódicos. Nos dias atuais, o ar comprimido tornou-se indispensável nos mais diferentes ramos industriais (BONACORSO & NOLL, 1997).

2.3.1 Produção e distribuição do ar comprimido

Para Rollins (2004), o ar comprimido é uma fonte significativa de força industrial que apresenta muitas vantagens como, por exemplo, segurança, economia, adaptação e fácil condução, além de poupar mão de obra. Embora o custo total para realizar um determinado trabalho com o ar comprimido inclua amortização, reparo e manutenção do equipamento, custo do ar comprimido bem como da mão de obra e de seus encargos, foi demonstrado muitas vezes que a mão de obra mais os encargos representam mais de 95% do custo total de operação, ou seja, os custos relacionados com ar comprimido se referem a menos de 5%. Por isso, o custo do ar comprimido e das ferramentas pneumáticas é, geralmente, insignificante quando comparado à economia por seu uso.

De acordo com Fialho (2012), a pneumática emprega o ar como fonte de energia para o acionamento de seus componentes. Esse ar, entretanto, precisa ser colocado em condições adequadas para sua utilização, das quais podemos citar pressão adequada e qualidade (redução máxima possível de impurezas e umidade). A condição de pressão adequada é produzida por compressores; por outro lado a de qualidade precisa de recursos como purgadores, secadores e filtros.

Vale apontar a contribuição de Croser&Ebel (2002), ao que diz respeito à geração de ar comprimido que se inicia com a compressão. O ar comprimido flui através de toda uma série de componentes antes de atingir o dispositivo de

consumo. O tipo de compressor e sua localização em grau menor ou maior alteram a quantidade de partículas de sujeira, óleo e água que adentram em um sistema pneumático. O equipamento a ser considerado na geração e preparação de ar inclui:

- Filtro de entrada;
- Compressor de ar;
- Reservatório de ar;
- Secador de ar;
- Filtro de ar, com separador de água;
- Regulador de pressão;
- Lubrificador de ar, conforme solicitado;
- Pontos de drenagem.

Os autores referidos anteriormente citam ainda que o ar comprimido mal preparado irá inevitavelmente criar mau-funcionamento e pode se manifestar no sistema como se segue:

- Rápido desgaste das vedações e partículas em movimento nos cilindros e válvulas;
- Válvulas lubrificadas;
- Silenciadores contaminados;
- Corrosão nos canos, válvulas, cilindros e outros componentes;
- Jato de lubrificação dos componentes que se movem.

Para evitar esses problemas é utilizada no sistema uma unidade de condicionamento, que consiste no seguinte: filtragem, regulação da pressão e introdução de certa quantidade de óleo para a lubrificação de todas as partes mecânicas dos componentes pneumáticos. A utilização desta unidade de serviço é indispensável em qualquer tipo de sistema pneumático, do mais simples ao mais complexo. Ao mesmo tempo em que permite aos componentes trabalharem em condições favoráveis, prolonga a sua vida útil (PARKER, 2000).

Compressores de ar são máquinas destinadas a aumentar a pressão de certo volume de ar, que se encontra nas condições atmosféricas até uma determinada pressão, exigidas na execução dos trabalhos realizados pelo ar comprimido (PARKER, 2000).

Em relação a compressores industriais, Fialho (2012), cita dois princípios conceptivos, os volumétricos e dinâmicos. Nos compressores volumétricos ou de

deslocamento positivo, a elevação de pressão é conseguida com a redução do volume ocupado pelo gás. Na operação dessas máquinas podem ser identificadas diferentes fases, que compõem o ciclo de funcionamento. Inicialmente, certa quantidade de gás é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é cerrada e sofre redução de volume. Finalmente, a câmara é aberta e o gás liberado para consumo, processo esse que é intermitente. Já nos compressores dinâmicos ou turbocompressores, estes têm dois órgãos principais, o impelidor e o difusor. O impelidor é um órgão rotativo provido de pás que transfere ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se faz em parte na forma cinética e em outra parte na forma de entalpia. A Figura 3 apresenta um Compressor de Pistão:



Figura 3: Compressor de Pistão (modelo volumétrico). Fonte: Schulz, 2012.

A instalação de uma rede de ar comprimido não apenas em âmbito industrial, mas para qualquer que seja a utilização, requer determinados cuidados que vão desde a localização da central geradora (compressores), sistema de arrefecimento (quando necessário), dimensionamento da rede, sistemas de montagem e fixação da rede, tratamento do ar e identificação conforme normas (FIALHO, 2012).

2.3.2 Atuadores pneumáticos

Atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que, por meio de movimentos lineares ou rotativos transformam a energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão em energia mecânica, fenômeno esse que produz trabalho. Os atuadores são conhecidos normalmente como cilindros pneumáticos, constituídos por um tubo cilíndrico que em ambas as extremidades contém uma tampa para fechamento. Na extremidade inferior existe uma conexão que serve para admissão e exaustão do ar; já na superior existe um furo central pelo qual se movimenta uma haste, que na extremidade interna ao cilindro, possui um embolo com vedação. A ação do ar expandindo-se no interior do tubo cilíndrico possibilita o movimento de expansão dessa haste (MANFRINATO, 2009).

O mesmo autor ainda cita que os atuadores pneumáticos são regidos por normas internacionais, tais como: ISO 6431, ISO 6432 e DIN ISO 6431, porém a representação simbólica normalizada dos atuadores deve estar de acordo com a norma DIN/ISO 1929 de agosto de 1979, ainda hoje em vigor.

Os cilindros pneumáticos basicamente estão classificados em duas famílias, que diferenciam entre si por detalhes construtivos, em função de suas características de funcionamento e utilização. Os tipos de cilindros são: simples efeito ou simples ação e duplo efeito ou dupla ação.

Cilindros de simples efeito recebem esta denominação porque utilizam ar comprimido para conduzir trabalho em um único sentido de movimento, seja para avanço ou recuo. Este tipo de cilindro possui somente um furo por onde o ar entra e sai do seu interior, comandado por uma válvula. Na extremidade oposta à de entrada do ar, é dotado de um pequeno furo que serve de respiro, procurando impedir a formação de contra pressão internamente, causada pelo ar residual de montagem. O recuo, em geral, acontece por ação de mola e força externa. Quando o ar é exaurido, o pistão (haste+ êmbolo) volta para a posição inicial (PARKER, 2000).

De acordo com Fialho (2012), o princípio de funcionamento parte do comando de uma válvula controladora direcional que ao ser acionada, permite que o ar comprimido gerado através de um compressor seja injetado por uma mangueira, na conexão, elevando-se a pressão na câmara posterior até o ponto de superar a força exercida pela mola, provocando com isso o movimento de abertura da haste. Enquanto a válvula permanecer acionada, a pressão do ar continua atuando no

interior do cilindro, mantendo assim a haste distendida, apenas com o desligamento da válvula é que o fluxo de ar para o interior do atuador é cessado, servindo agora a mesma conexão para a exaustão do ar, em função da força restauradora da mola. Devido aspectos funcionais, são desaconselhados para aplicações que requeiram curso superior a 100 mm (FIALHO, 2012). Segue Figura 4, Cilindro pneumático de simples efeito ou simples ação:

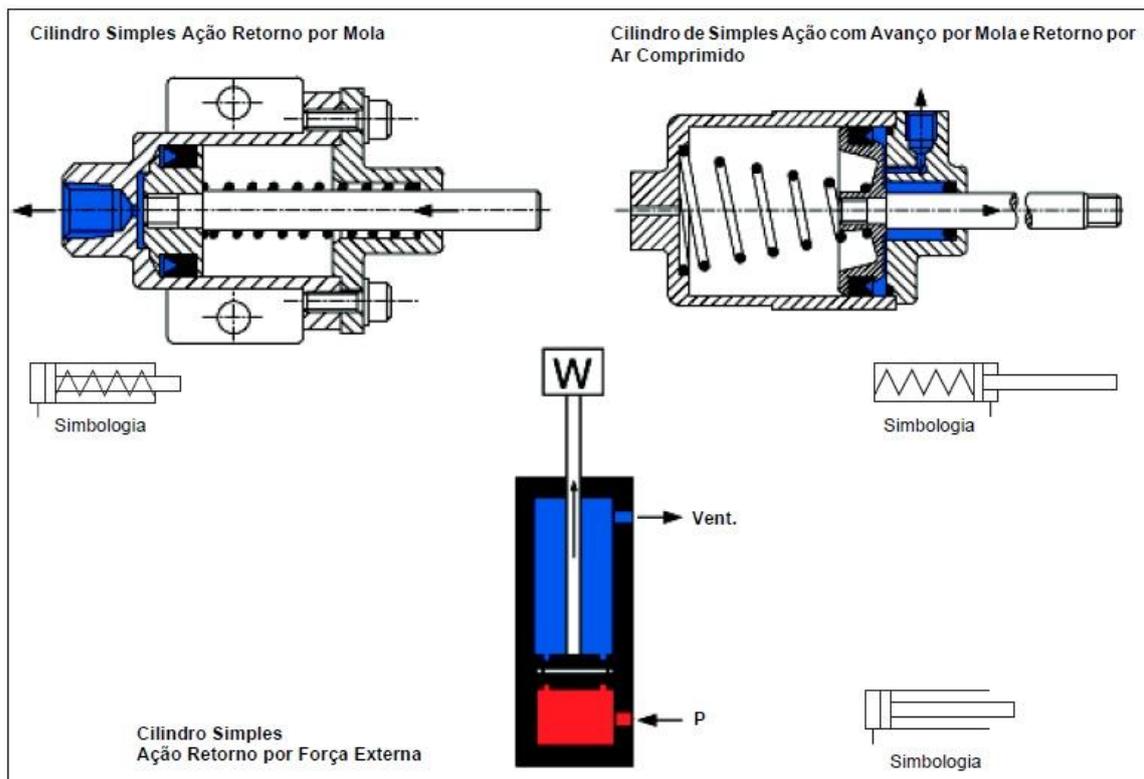


Figura 4: Cilindro pneumático de simples efeito ou simples ação. Fonte: Parker, 2000.

Em um cilindro pneumático que trabalha em ambos os sentidos de movimento (avanço e recuo) com o auxílio do ar comprimido, define-se este como cilindro de dupla ação, o mais utilizado na indústria. Sua característica principal, pela definição, é o fato de se poder utilizar tanto o avanço quanto o retorno para desenvolvimento de trabalho. Existe, porém, uma diferença quanto ao esforço desenvolvido: as áreas efetivas de atuação da pressão são distintas; a área da câmara traseira é maior que a da câmara dianteira, pois nesta deve-se considerar o diâmetro da haste, que impede a ação do ar sobre toda a área. O ar comprimido é admitido e liberado alternadamente por dois orifícios presentes nos cabeçotes, sendo um no traseiro e

outro no dianteiro que, atuando sobre o êmbolo, provocam os movimentos de avanço e retorno. Quando uma câmara está admitindo ar, a outra está em comunicação com a atmosfera. Tal operação é mantida até o momento de inversão da válvula de comando; alternando a entrada do ar nas câmaras, o pistão se desloca em sentido inverso (PARKER, 2000).

Fialho (2012), explica que o princípio de funcionamento do cilindro pneumático de duplo efeito ocorre, geralmente, em estado não acionado, o atuador que é comandado por uma válvula controladora direcional é mantido recuado em função do ar que mantém preenchido sua câmara frontal. Ao ser comutada uma válvula controladora, é permitido que o ar comprimido gerado através de um compressor seja injetado por meio de uma mangueira, na conexão, elevando-se a pressão na câmara traseira até o ponto de superar as forças de atrito e a que estiver se opondo ao movimento da haste, provocando com isso a sua abertura. Enquanto a válvula permanecer acionada, a pressão do ar continua atuando no interior do cilindro pneumático, mantendo a haste distendida. Somente quando a válvula é comutada novamente para o sentido oposto é que o fluxo de ar para o interior da câmara traseira do atuador é cessado, servindo agora a mesma conexão para a exaustão do ar, enquanto o ar provindo da linha passa ser insuflado pela conexão à câmara frontal, provocando com isso o retorno da haste. A Figura 5 demonstra um Cilindro pneumático de duplo efeito ou dupla ação.

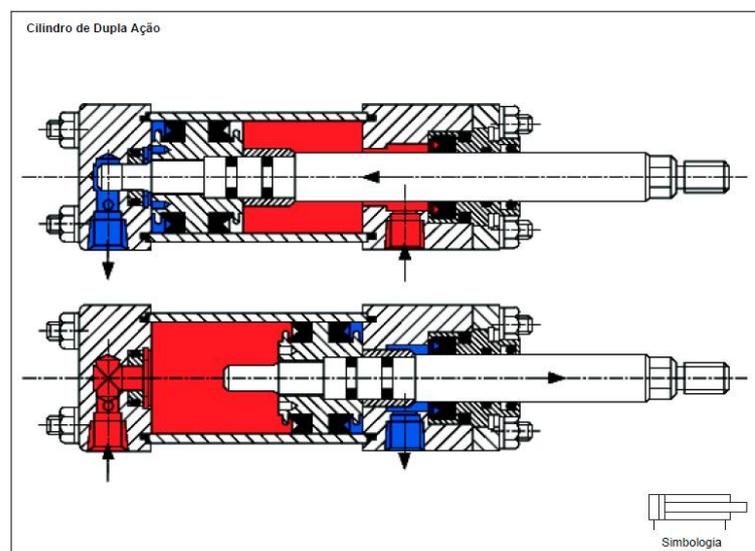


Figura 5: Cilindro pneumático de duplo efeito ou dupla ação. Fonte: Parker, 2000.

A imagem representa dois pistões distintos. Um deles, neste caso o primeiro está recuando sua haste e o segundo encontra-se avançando esta haste, podendo se observar tal ação pela entrada e saída do ar através da indicação das setas.

2.3.3 Válvula de controle de fluxo

As válvulas controladoras de fluxo têm a função de controlar o fluxo de ar que alimenta um determinado componente do circuito, nesse caso, em geral, os atuadores pneumáticos. O fluxo é o volume de fluido que flui num intervalo de tubulação em uma unidade de tempo. Normalmente dado em litros por segundo, centímetros cúbicos por segundo ou metros cúbicos por segundo. Controlar, portanto, o volume de fluido na unidade de tempo significa controlar a velocidade, em um atuador pneumático a velocidade é diretamente proporcional ao fluxo, então quanto maior for a velocidade, maior será o fluxo de ar comprimido agindo sobre o atuador (FIALHO, 2012).

Em alguns casos, faz-se necessário a diminuição da quantidade de ar que passa por meio de uma tubulação, o que é muito utilizado quando se precisa regular a velocidade de um cilindro ou formar condições de temporização pneumática. Quando se necessita influenciar o fluxo de ar comprimido, este tipo de válvula é a solução ideal, podendo ser fixa ou variável, unidirecional ou bidirecional (PARKER, 2000).

Ainda segundo Fialho (2012), as válvulas controladoras de fluxo fixa bidirecional se denominam assim porque não admitem ajustes, sendo a restrição permanente de mesmo diâmetro. Conforme se pode perceber na Figura 6 (Válvula de Controle de Fluxo Variável Bidirecional), o fluxo é controlado igualmente em ambas as direções. Por outro lado, na válvula de controle de fluxo variável bidirecional é feito uma regulagem através de um parafuso cônico que pode aproximar-se ou afastar-se de um assento. Com essa regulagem é possível permitir a passagem de maior ou menor quantidade de fluido através da válvula e, conseqüentemente, o ajuste de velocidade do atuador.

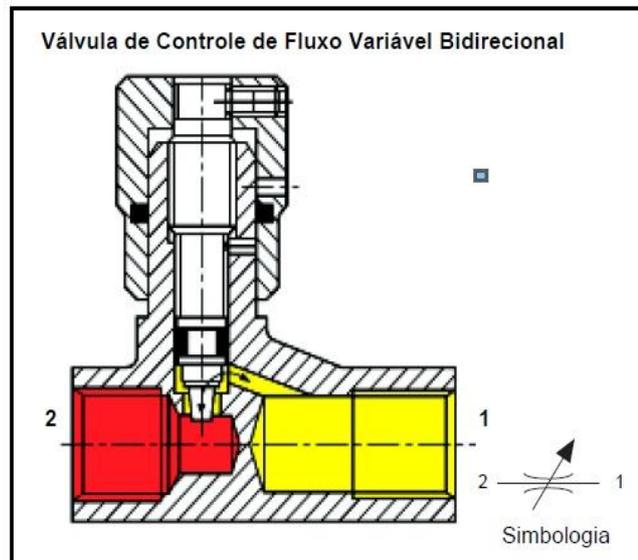


Figura 6: Válvula de Controle de Fluxo Variável Bidirecional. Fonte: Parker, 2000.

Já a válvula de controle de fluxo variável unidirecional, que pode ser visto na Figura 7 (Válvula de Controle de Fluxo Variável Unidirecional), apresenta um dispositivo de controle de fluxo e uma válvula de retenção integrada ao mesmo corpo, possuindo três sentidos.

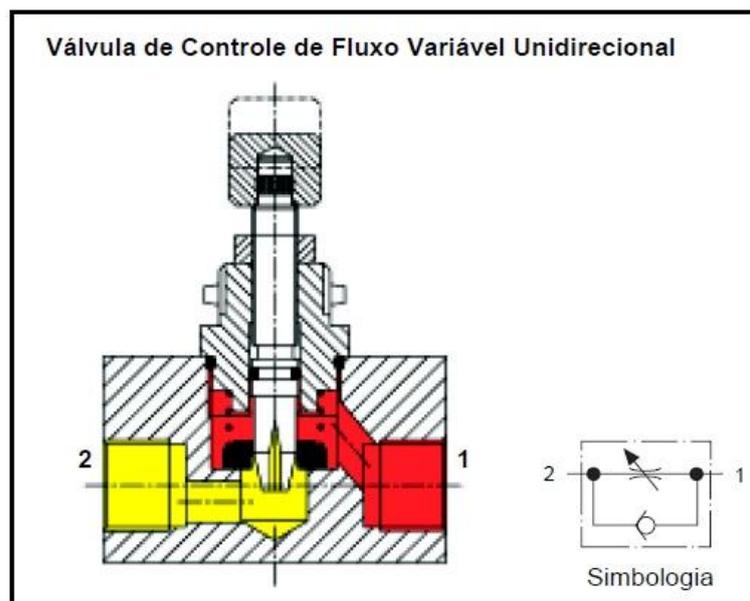


Figura 7: Válvula de Controle de Fluxo Variável Unidirecional. Fonte: Parker, 2000.

Através da imagem, pode-se identificar que no sentido de passagem 1-2, o ar flui livremente através da válvula de retenção que se abre. No sentido 2-1, a válvula de retenção fecha-se, impedindo o fluxo e obrigando o ar a passar pela via 3 em que a restrição é controlada por um parafuso de ajuste. Desta forma verifica-se que 1-2 > 2-1.

2.3.4 Válvula de controle direcional

O funcionamento deste tipo de válvula, segundo Bonacorso e Noll (1999), consiste no deslocamento de um núcleo metálico mediante a ação de um campo magnético, causando a trajetória do fluxo de ar. A força magnética, por sua vez, é desenvolvida pela circulação da corrente elétrica no solenoide da válvula.

Parker (2005) menciona que o papel das válvulas de controle direcional é orientar o caminho que o fluxo de ar comprimido deve seguir, com o intuito de realizar um trabalho proposto. Para se ter um conhecimento perfeito de uma válvula direcional, deve-se levar em conta os dados abaixo:

- Posição Inicial
- Número de Posições
- Número de Vias
- Tipo de Acionamento (Comando)
- Tipo de Retorno
- Vazão

Em relação ao número de posições, Parker (2005), cita que é a quantidade de manobras distintas que uma válvula direcional pode executar ou permanecer sob a ação de seu acionamento. Nestas condições, a torneira, que é uma válvula, tem duas posições: ora permite passagem de água, ora não permite. As válvulas direcionais são sempre representadas por um retângulo, que é dividido em quadrados. O número de quadrados representados na simbologia é igual ao número de posições da válvula, representando a quantidade de movimentos que executa através de acionamentos, conforme mostra a Figura 8.

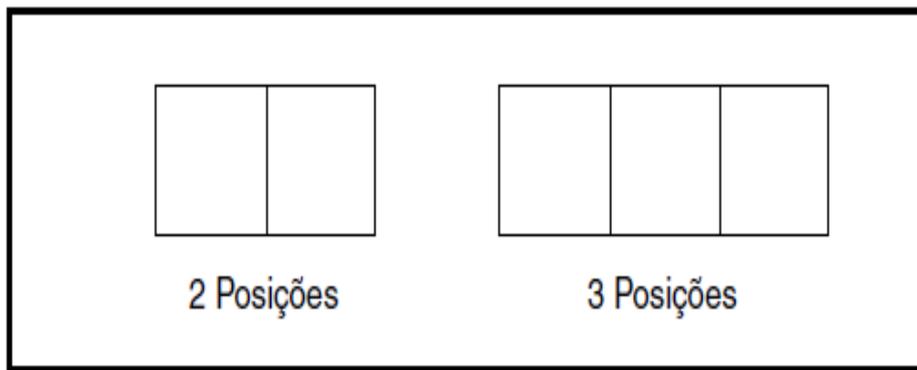


Figura 8: Simbologia do número de posições de uma válvula de controle direcional. Fonte: Parker, 2005.

O número de vias refere-se ao número de conexões de trabalho que a válvula possui. É considerada como vias a conexão de entrada de pressão, conexões de utilização e as de escape. Uma regra prática para a determinação do número de vias consiste em separar um dos quadrados (posição) e verificar quantas vezes o(s) símbolo(s) interno(s) toca(m) os lados do quadro, obtendo-se, assim, o número de orifícios e em correspondência o número de vias. Para melhor compreensão do número de vias de uma válvula de controle direcional pode-se observar os símbolos na Figura 9.

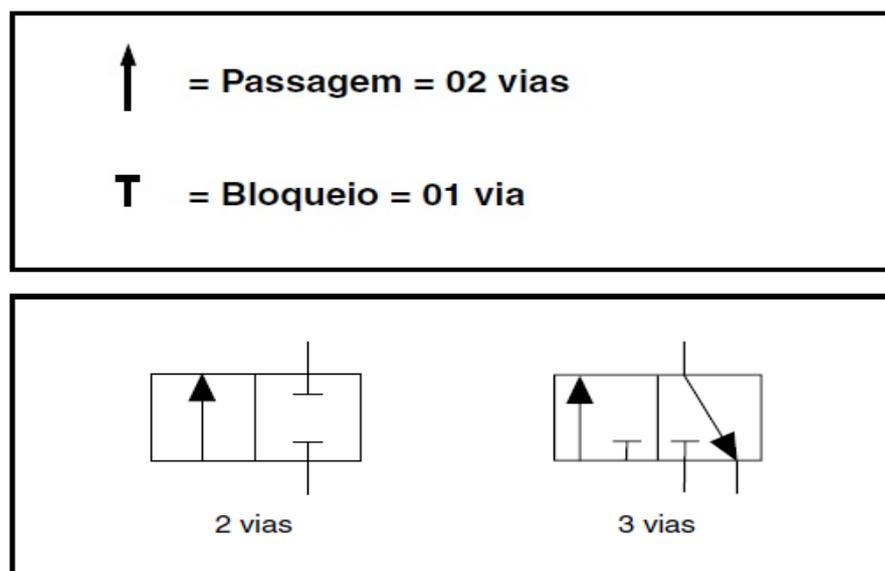


Figura 9: Simbologia do número de vias de uma válvula de controle direcional. Fonte: Adaptado Parker, 2005.

Para Parker (2005), as válvulas exigem um agente externo ou interno que desloque suas partes internas de uma posição para outra, ou seja, que altere as direções do fluxo efetue os bloqueios e liberação de escapes. Os elementos responsáveis por tais alterações são os acionamentos, que podem ser classificados em comando direto e comando Indireto. O comando direto é definido quando a força de acionamento atua diretamente sobre qualquer mecanismo que cause a inversão da válvula, já o comando indireto é quando a força de acionamento atua sobre qualquer dispositivo intermediário, o qual libera o comando principal que, por sua vez, é responsável pela inversão da válvula. Estes acionamentos são também chamados de combinados, servo etc.

2.3.5 Montagem de válvulas pneumáticas em bloco manifold

Conforme Parker (2005), para a montagem em manifold, é disponíveis duas versões: sobre trilho normatizado DIN ou com fixação direta. A sobre trilho foi projetada para facilitar a instalação e manutenção, reduzindo custo. As válvulas possuem um sistema de encaixe nos tirantes, concedendo a montagem e desmontagem dos blocos de válvulas com maior rapidez. O corpo da válvula é intercambiável com os dois tipos de acionamentos (pneumático ou elétrico), oportunizando grande versatilidade ao projeto. A Figura 10 representa a montagem de um modelo de bloco manifold.



Figura 10: Montagem de um bloco manifold com válvulas direcionais. Fonte: Parker, 2005.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Para a realização do dimensionamento proposto utilizou-se como procedimentos metodológicos de pesquisas seguintes passos:

- Analisar o embasamento teórico apropriado através dos conceitos necessários para dimensionar um sistema pneumático;
- Conhecer as equações necessárias para o desenvolvimento do dimensionamento dos atuadores e da linha principal;
- Ir a campo verificar o funcionamento da máquina para produção de blocos de concreto;
- Realizar os cálculos para o dimensionamento através da definição dos locais para a adaptação dos atuadores;
- Definir os componentes pneumáticos necessários por meio de catálogos dos fabricantes disponíveis;
- Fazer uma análise dos resultados encontrados.

Para realizar o dimensionamento foram utilizados métodos elaborados por Fialho (2012), que podem ser verificados a seguir.

3.1.1 Dimensionamento de atuadores pneumáticos lineares comerciais

O dimensionamento dos atuadores para especificação final em catálogos comerciais de fabricantes e revendedores foi realizado por meio de uma análise dos esforços envolvidos, amplitude de deslocamento e tipo de montagem.

Os atuadores pneumáticos lineares, em sua grande maioria de aplicações, ampliam seus esforços durante a fase de expansão da haste. Os movimentos de expansão ou retração da haste com aplicação de força estão presentes as forças de atrito. No caso do dimensionamento do atuador, se faz necessário definir a força de projeto (F_p) requerida para efetuar a movimentação da carga. No princípio do movimento, além da força necessária à aplicação desejada, existe a força de atrito

estático e ao longo do movimento há a força de atrito cinético que não apenas agem externamente, mas também internamente no atuador.

Os coeficientes de atrito, geradores dessas forças, se alteram conforme a aplicação da carga, a natureza dos materiais e seu acabamento, bem como a velocidade de deslocamento e o tipo de lubrificação. Assim, ao calcular a força de projeto necessária à operação, deve-se corrigi-la multiplicando-a por um fator de correção ϕ , conforme apresentado no Quadro 1, a fim de obter a real força de avanço ou retorno, e com ela, juntamente com a pressão de trabalho, determinar o mínimo diâmetro necessário ao atuador.

Velocidade de deslocamento da haste do atuador	Exemplo	Fator de correção ϕ
Lenta e carga aplicada somente no fim do curso	Operação de rebitagem	1,25
Lenta e carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso	Talha pneumática	1,35
Rápida com carga aplicada somente no fim de curso	Operação de estampagem	1,35
Rápida com carga aplicada em todo desenvolvimento do curso	Deslocamento de mesas	1,5
Situações gerais não descritas anteriormente	-	1,25

Quadro 1 – Fatores de correção de força. Fonte: Adaptado de Fialho, 2012, p.98.

O diâmetro do atuador é estabelecido em função da força de avanço F_a , que é a força de projeto (F_p) corrigida pelo fator ϕ , Quadro 1. Essa força de projeto é representada pela unidade kp, que equivale a 9,81N (1kp=9,81N) e é igual a 1kgf. Também é determinado através da pressão de trabalho, P_t (normalmente 6 Kp/cm², em que 1kp/cm²= 0,981bar) que equivale a 1 kgf/cm². Esse diâmetro interno do cilindro que é conseguido da equação da área do pistão, para o caso de força aplicada durante a fase de avanço. Se, no entanto, a força for aplicada durante a fase de retorno do atuador, a variável A_p na equação deve ser mudada pela variável A_c (área da coroa).

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \quad (1)$$

- Lembrando a equação da pressão em que:

$$P_t = \frac{F_a}{A_p} \quad (2)$$

- Isolando a variável A_p e substituindo-a em (1.1), temos:

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_a}{\pi \cdot P_t}} \quad (3)$$

- Lembrando ainda que:

$$F_a = F_p \cdot \varphi \quad (4)$$

- Substituindo em (3), teremos que a mínima dimensão de diâmetro a ser utilizada será dada por:

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_p \cdot \varphi}{\pi \cdot P_t}} \quad (5)$$

Em que:

- D_p – Mínimo diâmetro aceitável do pistão (cm)
- F_p – Força de projeto, força necessária para execução da operação (Kp)
- φ - Fator de correção da força do projeto, Tabela 3
- P_t – Pressão de trabalho (Kp/cm²)

Calculando o diâmetro do pistão e conhecidas as demais necessidades referentes ao tipo fixação, curso etc., é possível procurar nos catálogos dos fabricantes um atuador pneumático que tenha diâmetro no mínimo igual ou um pouco superior ao calculado, caso não exista um comercial de diâmetro igual ao calculado. Desse modo: Diâmetro comercial \geq Diâmetro calculado

3.1.2 Cálculo do consumo de ar necessário

O cálculo do consumo de ar dos atuadores lineares tem como finalidade possibilitar o dimensionamento da rede de distribuição de uma forma mais precisa, isto é, quando conhecidos em detalhes todos os acessórios pneumáticos existentes. Outra aplicação seria para uma análise bem detalhada da rentabilidade do equipamento.

O consumo de ar, portanto, é dado pelas equações 5 e 6:

$$C = \frac{A_p \cdot L \cdot n_c \cdot (P_t + 1,013)}{1,013 \cdot 10} \quad (5)$$

ou ainda:

$$Q = \frac{A_p \cdot L \cdot (P_t + 1,013)}{T \cdot 1,013 \cdot 10} \quad (6)$$

onde C é o consumo de ar (l/seg); A_p equivale à área efetiva do pistão em mm^2 ; L é igual ao curso, também em mm; o número de ciclos por segundo refere-se a n_c ; P_t se trata da pressão de trabalho, medido em bar; o fluxo de ar (Q) é mensurado em litros por segundo (l/seg) e T é o tempo para um único ciclo em segundos (s).

3.1.3 Dimensionamento da linha tronco principal

Em relação ao dimensionamento do diâmetro mínimo necessário à linha tronco principal, de forma que ela possa atender à pressão e vazão necessárias aos diversos pontos de alimentação que se distribuíram dentro da fábrica, é preciso já estimar um provável aumento de demanda no decorrer dos anos. Esse dimensionamento deve levar em conta uma queda de pressão de 0,3 a 0,5 Kgf/cm^2 do reservatório (adotar 0,5 a partir de 500 m) até o consumidor. No dimensionamento da linha, devem-se pressupor os seguintes itens:

- Volume de ar corrente (vazão);
- Comprimento da linha;
- Queda de pressão admissível;
- Número de pontos de estrangulamento;
- Pressão de regime.

O volume de ar corrente é a quantidade de ar (Q) em metros cúbicos por hora (m^3/h) que será consumida da rede, pelos equipamentos, considerando todos em

funcionamento em um mesmo momento. Para efeito de dimensionamento seguro é recordado à probabilidade de futura ampliação dos pontos de consumo, deve-se adicionar a esse volume o percentual estimado para a futura ampliação.

O comprimento total da linha tronco (L_t) corresponde a soma do comprimento linear da tubulação da linha (L_1) com o comprimento equivalente originado dos pontos de estrangulamento (L_2), todos os elementos citados acima são medidos em metros.

A pressão de um fluido, ao mover-se através de uma tubulação, passa por uma gradual redução ao longo do comprimento, devido aos atritos internos e dos possíveis estrangulamentos (curvas, registros, tês etc.) que existem ao longo dela.

Essa diminuição da pressão, também conhecida como perda de carga (ΔP), para um satisfatório desempenho da rede, não deve exceder 0,3 Kgf/cm². Em caso de grandes redes pode chegar ao máximo de 0,5 Kgf/cm².

O número de pontos de estrangulamento corresponde as singularidades já mencionadas, como curvas, registros, tês etc., necessárias para distribuição da linha tronco por dentro de toda a planta industrial. Estas devem ser transformadas em comprimento equivalente (L_2), o que se torna possível com a utilização da Tabela 1.

Tabela 1
Norma ASTM A 120 schedule 40

Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Cotovel 90° comum	Rosq.	1,10	1,34	1,58	2	2,25	2,6	2,8	
	Flan.	0,3	0,37	0,5	0,62	0,73	0,95	1,1	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	3,4	3,7	4	-	-	-	-	
	Flan.	1,3	1,55	1,8	2,2	2,7	3,7	4,3	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Curva 90° raio longo	Rosq.	0,67	0,70	0,83	0,98	1	1,1	1,1	
	Flan.	0,33	0,4	0,49	0,61	0,7	0,83	0,88	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	1,2	1,3	1,4	-	-	-	-	
	Flan.	1	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Curva 45°	Rosq.	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97	
	Flan.	0,14	0,18	0,25	0,34	0,4	0,52	0,61	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	1,2	1,45	1,7	-	-	-	-	
	Flan.	0,8	0,95	1,1	1,4	1,7	2,3	2,7	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Curva 180° raio longo	Rosq.	1,1	1,3	1,6	2	2,3	2,6	2,8	
	Flan.	0,34	0,4	0,49	0,61	0,7	0,83	0,88	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	3,4	3,7	4	-	-	-	-	
	Flan.	1	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Tê flux de linha	Rosq.	0,52	0,73	0,99	1,4	1,7	2,3	2,8	
	Flan.	0,21	0,25	0,3	0,4	0,45	0,55	0,58	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	3,7	4,45	5,2	-	-	-	-	
	Flan.	0,67	0,74	0,85	1	1,2	1,4	1,6	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Tê flux pelo ramal	Rosq.	1,3	1,6	2	2,7	3	3,7	3,9	
	Flan.	0,61	0,8	1	1,3	1,6	2	2,3	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	5,2	5,8	6,4	-	-	-	-	
	Flan.	2,9	3,3	3,7	4,6	5,5	7,3	9,1	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Válvula de gaveta	Rosq.	0,17	0,2	0,25	0,34	0,37	0,46	0,52	
	Flan.	-	-	-	-	-	0,8	0,83	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	0,58	0,67	0,76	-	-	-	-	
	Flan.	0,85	0,86	0,88	0,95	0,98	0,98	0,98	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Válvula globo	Rosq.	6,7	7,3	8,8	11,3	12,8	16,5	18,9	
	Flan.	11,6	12,2	13,7	16,5	18	21,4	23,5	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	24	27,25	33,5	-	-	-	-	
	Flan.	28,7	32,65	36,6	45,7	47,9	49,3	94,5	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Válvula angular	Rosq.	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	5,55	5,55	
	Flan.	4,6	4,6	5,2	5,5	5,5	6,4	6,7	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	5,55	5,55	5,55	-	-	-	-	
	Flan.	8,5	10,05	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
Válvula retençã o portinho la	Rosq.	2,4	2,7	3,4	4	4,6	5,8	6,7	
	Flan.	1,2	1,6	2,2	3	3,7	5,2	6,4	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	8,2	9,7	11,6	-	-	-	-	
	Flan.	8,3	9,6	11,6	15,2	19,2	27,4	36,6	
Conexões		Diâmetro nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
União filtro y	Rosq.	0,07	0,07	0,08	0,11	0,12	0,14	0,14	
	Flan.	1,5	2	2,3	5,5	8,1	8,3	8,8	
	Diâmetro nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	Rosq.	0,16	0,175	0,19	-	-	-	-	
	Flan.	10,4	11,6	12,8	16,2	18,6	-	-	

Fonte: Adaptado de Fialho, 2012, p.290.

Pressão de regime (P) define-se como a pressão na qual o ar se encontra armazenado no reservatório (7 a 12 Kgf/cm²), sendo que a pressão de trabalho considerada econômica industrialmente é de 6 Kgf/cm².

A determinação do diâmetro mínimo necessário para corresponder à demanda, já prevendo expansão futura, pode ser obtida então pelo seguinte equacionamento das variáveis citadas:

$$d = 10 \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot Lt}{\Delta P \cdot P}} \quad (7)$$

O diâmetro adquirido através da equação 7 será equivalente ao diâmetro interno e se dará em unidade de milímetros. O estabelecimento do diâmetro comercial do tubo pode ser feito por meio da Tabela 2 para tubos de aço preto ou galvanizado ASTM A 120 SCHEDULE 40.

Tabela 2
Norma ASTM A 120 schedule 40

Norma ASTM A 120 Schedule 40								
Tubo de aço para condução de fluidos e outros fins								
Diâmetro				Espessura da parede		Peso teórico do tubo preto		Pressão de ensaio
Nominal	Externo		Interno			Pontas lisas	roscas e luvas	
in	in	mm	mm	in	mm	Kg/m	Kg/m	Kg/cm ²
1/4	0,540	13,7	9,2	0,088	2,24	0,63	0,66	50
3/8	0,675	17,2	12,6	0,091	2,31	0,85	0,88	50
1/2	0,840	21,3	15,8	0,109	2,77	1,27	1,29	50
3/4	1,050	26,7	21	0,113	2,87	1,68	1,72	50
1	1,315	33,4	26,1	0,133	3,38	2,5	2,56	50
1.1/4	1,660	42,2	35,1	0,14	3,56	3,38	3,45	70
1.1/2	1,900	48,3	40,9	0,145	3,68	4,05	4,18	70
2	2,375	60,3	52,5	0,154	3,91	5,43	5,6	70
2.1/2	2,875	73,0	62,7	0,203	5,16	8,62	8,76	70
3	3,500	88,9	77,9	0,216	5,49	11,28	11,6	70
3.1/2	4,000	101,6	90,1	0,226	5,74	13,56	14,11	85
4	4,500	114,3	102,3	0,237	6,02	16,06	16,81	85
5	5,563	141,3	128,2	0,258	6,55	21,76	22,67	85
6	6,625	168,3	154,1	0,28	7,11	28,23	29,59	85
8	8,625	219,1	202,7	0,322	8,18	42,49	44,66	90
10	10,750	273,0	254,5	0,365	9,27	60,23	-	85

Fonte: Fialho, 2012, p.288.

Depois da realização dos cálculos e da identificação do diâmetro dos pistões, será necessário modelar os mesmos para incluí-los no projeto da máquina, visando encontrar a melhor maneira para seu encaixe e fixação. Para isso se utilizará um software de modelamento 3D. Após o dimensionamento dos pistões e da linha tronco, será efetuada uma busca em catálogos de fornecedores para procurar encontrar os itens comerciais mais próximos do resultado obtido nos cálculos.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item serão efetuados os cálculos para o dimensionamento dos atuadores e da linha de ar principal. As fórmulas usadas para esses dimensionamentos foram previamente abordadas na metodologia.

4.1 MÁQUINA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO MB10000

Etapas de trabalho da máquina:

A alimentação da matéria prima para a fabricação dos blocos se dá através da ação de um operador que carrega uma pá com uma mistura de areia, cimento e pedra brita, depositando estas dentro de uma forma, neste caso denominada fêmea. Tal ação é ilustrada na Figura 11:



Figura 11: Primeira etapa de trabalho da máquina para produção de blocos de concreto.

Após a forma fêmea estar completamente preenchida com o material, o carrinho em que está fixada a forma macho é deslocado por um operador até que o mecanismo seja desarmado e a forma macho seja liberada para a prensagem, conforme indica Figura 12.



Figura 12: Segunda etapa de trabalho da máquina para produção de blocos de concreto.

Passados alguns segundos de vibração, devem ser extraídos os blocos através de um mecanismo, que consiste em um operador acionar uma alavanca aplicando uma carga de aproximadamente 30 kgf, identificado na Figura 13.

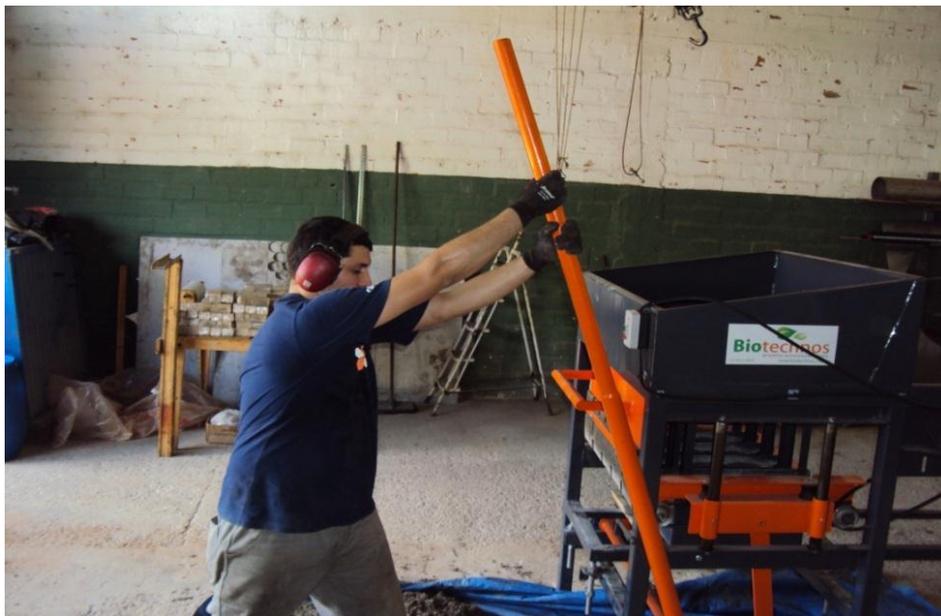


Figura 13: Terceira etapa de trabalho da máquina para produção de blocos de concreto.

Com isso, a bandeja em que a forma fêmea está fixada desloca-se da região inferior para a superior, permanecendo suspensa e com isso permitindo que o (s)

operador (s) possa retirar os palhetes que contém os blocos de concreto, de acordo com a Figura 14.



Figura 14: Quarta etapa de trabalho da máquina para produção de blocos de concreto.

Depois de verificado o atual funcionamento da máquina, três propostas de automação foram realizadas:

Proposta 1: adaptar um atuador pneumático que tenha a função de deslocar para frente e para trás o carrinho em que está fixada a forma macho. A Figura 15 ilustra a posição em que o atuador será fixado para desempenhar o trabalho.



Figura 15: Posição do atuador 1 na máquina de bloco.

Proposta 2: serão utilizados dois atuadores para substituir a alavanca que desloca a bandeja na qual a forma fêmea está fixada. Pode-se perceber na Figura 16.



Figura 16: Posição dos atuadores 2 na máquina de bloco.

Proposta 3: um atuador é usado com a intenção de empurrar o palhete para frente; posteriormente serão retirados os blocos com o uso de um carrinho pelo operador, representando a posição do atuador na Figura 17:

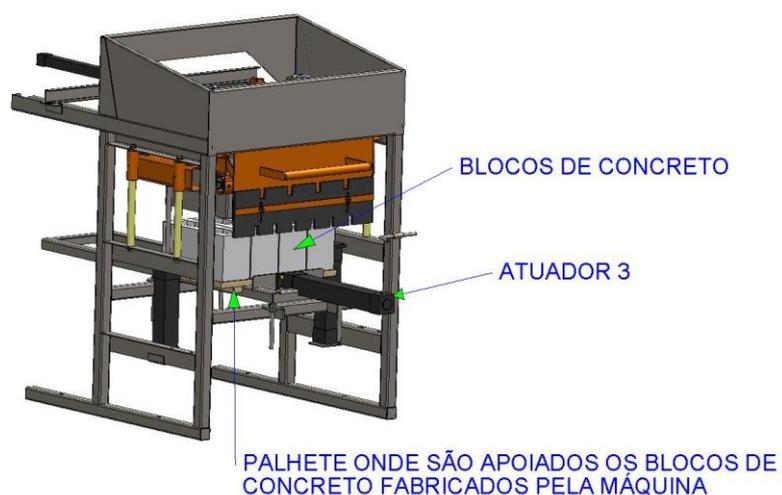


Figura 17: Posição do atuador 3 na máquina de bloco.

4.2 DIMENSIONAMENTO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS

O dimensionamento dos atuadores foi realizado a partir de uma análise dos esforços envolvidos, amplitude de deslocamento e o tipo de montagem.

4.2.1 Dimensionamento do atuador número 1

Para o desenvolvimento do cálculo, fez-se preciso descobrir a força que se deve realizar para o deslocamento do carrinho. Esta foi medida através de um dinamômetro, conforme a Figura 18.



Figura 18: Dinamômetro usado para medição da força realizada para o deslocamento do carrinho.

A força encontrada foi de 30 kgf, denominada força de projeto, pois se trata da força necessária para tornar possível a execução da operação. Depois de a mesma ser identificada, analisaram-se os coeficientes de atrito, que são os geradores dessas forças para obtermos um fator de correção. Fazendo as análises, estipula-se que a velocidade de deslocamento do atuador pode ser rápida com a carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso. Verificando na Tabela 3, obtemos o resultado de fator de correção igual a 1,5. A pressão de trabalho utilizada

no projeto foi a indicada por Fialho (2011), correspondendo a 6kp/cm^2 que é igual a 6 kgf/cm^2 .

Depois de obtidos os dados podemos então fazer a determinação do diâmetro do pistão. Em que:

- $F_p = 30\text{ kgf}$
- $\varphi = 1,5$
- $P_t = 6\text{ kgf/cm}^2$

Solução:

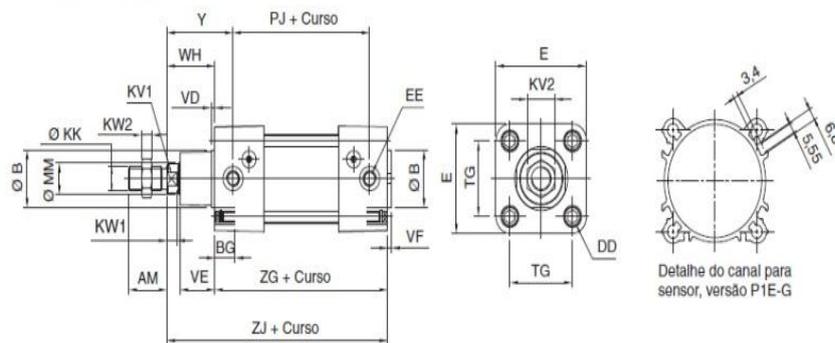
$$D_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_p \cdot \varphi}{\pi \cdot P_t}}$$

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{30 \cdot 1,5}{\pi \cdot 6}}$$

$$D_p = 3,09\text{ cm} = 30,9\text{ mm}$$

Posteriormente ao cálculo do diâmetro do pistão, é possível procurar nos catálogos dos fabricantes um atuador pneumático que contenha o diâmetro igual ou ligeiramente superior ao calculado. Encontrou-se no catálogo da Parker um atuador com o diâmetro de 32 mm, apresentado na Figura 19:

Básico - Ø 32 a 200 mm



Ø cil.	ØMM	ØKK	ØB	EE	DD	ZG	ZJ	Y	KW2	PJ	WH	VD	VE	VF	E	TG	BG	AM	KW1	KV2	KV1
32	12	M10x1,25	30	1/8"	M6x1	94	120	39,5	6	67	26	4	20	4	46,5	32,5	15	22	6	17	10
40	16	M12x1,25	35	1/4"	M6x1	105	135	45,0	7	75	30	4	21,5	4	52	38	15	24	6	19	13
50	20	M16x1,5	40	1/4"	M8x1,25	106	143	54,0	8	72	37	4	29	4	68	46,5	18	32	7	24	17
63	20	M16x1,5	45	3/8"	M8x1,25	121	158	53,0	8	89	37	4	29	4	78	56,5	18	32	7	24	17
80	25	M20x1,5	45	3/8"	M10x1,5	128	174	62,0	9	96	46	4	35	4	96	72	20,5	40	10	30	22
100	25	M20x1,5	55	1/2"	M10x1,5	138	189	69,0	9	102	51	4	35	4	113	89	20,5	40	10	30	22
125	32	M27x2	60	1/2"	M12x1,75	160	225	85,0	12	120	65	7	41	5	140	110	20	54	13	41	27
160	40	M36x2	65	3/4"	M16x2,0	180	260	104,0	14	132	80	7	52	5	177	140	24	72	16	55	36
200	40	M36x2	75	3/4"	M16x2,0	180	275	119,0	14	132	95	7	60	5	214	175	24	72	16	55	36

Figura 19: Desenho técnico dos cilindros ISO 6431/VDMA - série P1E. Fonte: Catálogo Parker, 2005.

4.2.2 Dimensionamento do atuador número 2

Para o desenvolvimento do cálculo de dimensionamento do atuador número dois, fez-se necessário a utilização do software de modelamento 3dSolid Works, pois foi preciso saber qual a carga que estava aplicada nos guias que os dois pistões (já expostos na Figura 16) vão erguer. A Figura 20 ilustra a maneira como esses dados foram obtidos.

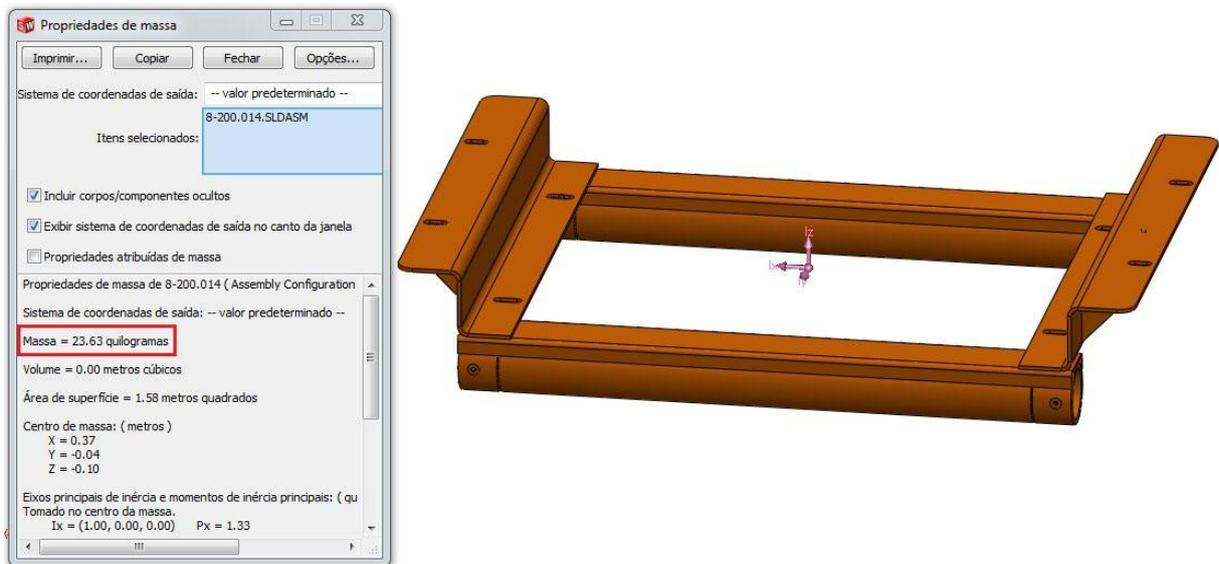


Figura 20: Análise de propriedades de massa de um componente realizada no SolidWorks .

Depois de realizada a análise de todos os componentes, encontrou-se um valor equivalente a 250 kgf, que se refere à força de trabalho que os dois atuadores irão exercer durante a operação, concluindo-se que cada atuador vai suportar 125 kgf. Para a realização do cálculo de dimensionamento avaliou-se a velocidade de deslocamento dos atuadores e o resultado encontrado no Quadro 1, que seria de 1,25 correspondentes a situações gerais de trabalho. A pressão de trabalho indicada por Fialho (2011), corresponde a 6 kgf/cm². Através dos dados obtidos, pode-se entender que:

- $F_p = 125 \text{ kgf}$
- $\varphi = 1,25$
- $P_t = 6 \text{ kgf/cm}^2$

Solução:

$$Dp = 2 \cdot \sqrt{\frac{Fp \cdot \varphi}{\pi \cdot Pt}}$$

$$Dp = 2 \cdot \sqrt{\frac{125 \cdot 1,25}{\pi \cdot 6}}$$

$$Dp = 5,758 \text{ cm} = 57,58 \text{ mm}$$

O diâmetro do atuador comercial mais próximo ao encontrado é o de 63 mm, conforme mostra a Figura 19.

4.2.3 Dimensionamento do atuador número 3

Para elaborar o cálculo de dimensionamento do atuador número três, foi preciso encontrar a força necessária para deslocar o palhete que suporta os blocos de concreto. Para encontrar essa força foi preciso fazer um furo no palhete e usar um dinamômetro, conforme mostra a Figura 21.



Figura 21: Operação executada para medição da força realizada para o deslocamento do palhete.

A força de projeto encontrada foi de 85 kgf. Com os movimentos realizados para achar essa força pode-se constatar que o fator de correção que deve ser utilizado para fazer o cálculo é de 1,35, que corresponde a um movimento lento e a uma carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso, já a pressão utilizada para o desenvolvimento desse cálculo, de 6 kgf/cm².

Em que:

- $Fp = 85 \text{ kgf}$
- $\varphi = 1,35$
- $Pt = 6 \text{ kgf/cm}^2$

Solução

$$Dp = 2 \cdot \sqrt{\frac{Fp \cdot \varphi}{\pi \cdot Pt}}$$

$$Dp = 2 \cdot \sqrt{\frac{85 \cdot 1,35}{\pi \cdot 6}}$$

$$Dp = 4,93 \text{ cm} = 49,3 \text{ mm}$$

O diâmetro do atuador comercial mais próximo ao encontrado é o de 50 mm conforme mostra a Figura 19.

4.3 DIMENSIONAMENTO DA LINHA PRINCIPAL

Nesse tópico foi calculado o diâmetro mínimo da tubulação, de forma que a mesma possa atender à pressão e vazão necessárias ao ponto de alimentação que fornecerá o ar comprimido para a máquina, já estimando um provável aumento de demanda no decorrer dos anos.

4.3.1 Consumo de ar por atuador

Para se obter o diâmetro mínimo da tubulação é preciso conhecer a quantidade em m^3 de ar por hora que será consumida pela máquina, sendo assim deve-se calcular o consumo de ar de cada um dos pistões que foi utilizado na máquina.

Atuador com diâmetro de 32 mm:

$$Ap = 804,25 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$L = 600 \text{ (mm)}$$

$$nc = 1/60$$

$$C = \frac{Ap \times L \times nc \times (Pt + 1,013)}{1,013 \times 10^6}$$

$$C = \frac{804,25 \times 600 \times 1/60 \times (6 + 1,013)}{1,013 \times 10^6}$$

$$C = 0,056 \text{ l/s}$$

$$C = 0,2016 \text{ m}^3/\text{h}$$

Atuador com diâmetro de 50 mm:

$$Ap = 1963,5 \text{ mm}^2$$

$$L = 500 \text{ mm}$$

$$nc = 1/60$$

$$C = \frac{1963,5 \times 500 \times 1/60 \times (6 + 1,013)}{1,013 \times 10^6}$$

$$C = 0,113 \text{ l/s}$$

$$C = 0,407 \text{ m}^3/\text{h}$$

Atuador com diâmetro de 63 mm:

$$Ap = 3117,25 \text{ mm}^2$$

$$L = 280 \text{ mm}$$

$$nc = 1/60$$

$$C = \frac{3117,25 \times 280 \times 1/60 \times (6 + 1,013)}{1,013 \times 10^6}$$

$$C = 0,101 \text{ l/s}$$

$$C = 0,364 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.3.2 Determinação do diâmetro mínimo da linha principal

O diâmetro obtido corresponderá ao diâmetro interno e será em unidade de milímetros. Em que:

Q = Volume de ar corrente (m^3/h)

$Q = 1,5401m^3/h$ (Soma do consumo de ar de todos os pistões e mais 150% para futura ampliação da linha)

L_t = Comprimento total da linha tronco (m)

$$L_t = L_1 + L_2$$

$L_1 = 10$ m (Comprimento retilíneo)

$L_2 = 8$ m (Comprimento equivalente)

$$L_t = 10 + 8$$

$$L_t = 18$$
 m

ΔP = Queda de pressão admitida (Kgf/cm^2)

$\Delta P = 0,3$ Kgf/cm^2 (Recomendada)

P = Pressão de regime (Kgf/cm^2)

$P = 6$ Kgf/cm^2

Então:

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot L_t}{\Delta P \cdot P}} \right]$$

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^{-3} \cdot 0,202^{1,85} \cdot 18}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$= 5,17 \text{ mm}$$

Diâmetro adotado como encontrado comercialmente de diâmetro externo 13,7mm, diâmetro interno 9,2 mm, (Norma ASTM A 120 Schedule 40).

4.4 DIAGRAMA FUNCIONAL, CIRCUITO PNEUMÁTICO E COMPONENTES DO SISTEMA

Neste tópico será apresentado o diagrama funcional, circuito pneumático e os componentes necessários para colocar o sistema em funcionamento.

O diagrama funcional vai representar visualmente o modo de operação do sistema. A Figura 22 apresenta o diagrama funcional do sistema pneumático proposto.

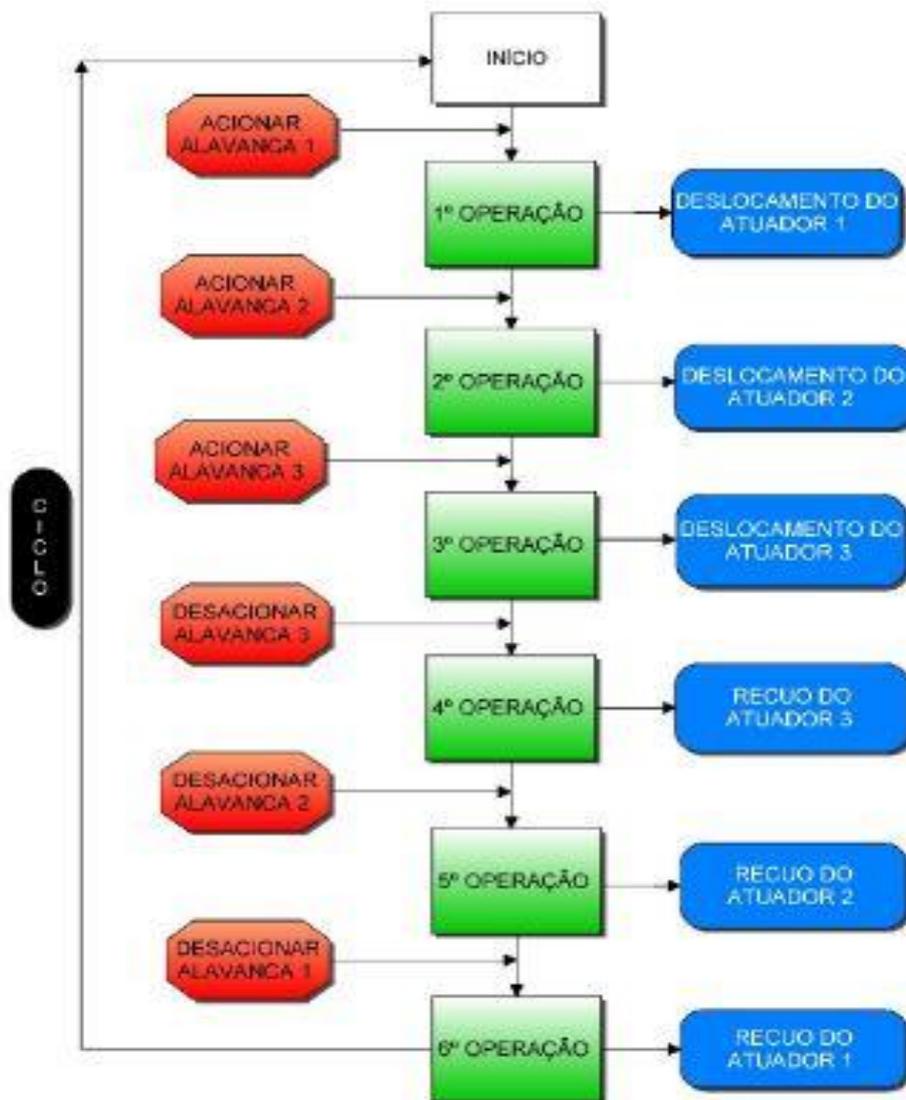


Figura 22: Representação do diagrama funcional do sistema pneumático.

Após determinar a sequência de trabalho e elaborar o diagrama funcional, fez-se preciso desenhar os elementos de trabalho, comando, abastecimento e também traçar as linhas condutoras, criando assim um circuito pneumático do sistema. Pode-se observar na Figura 23.

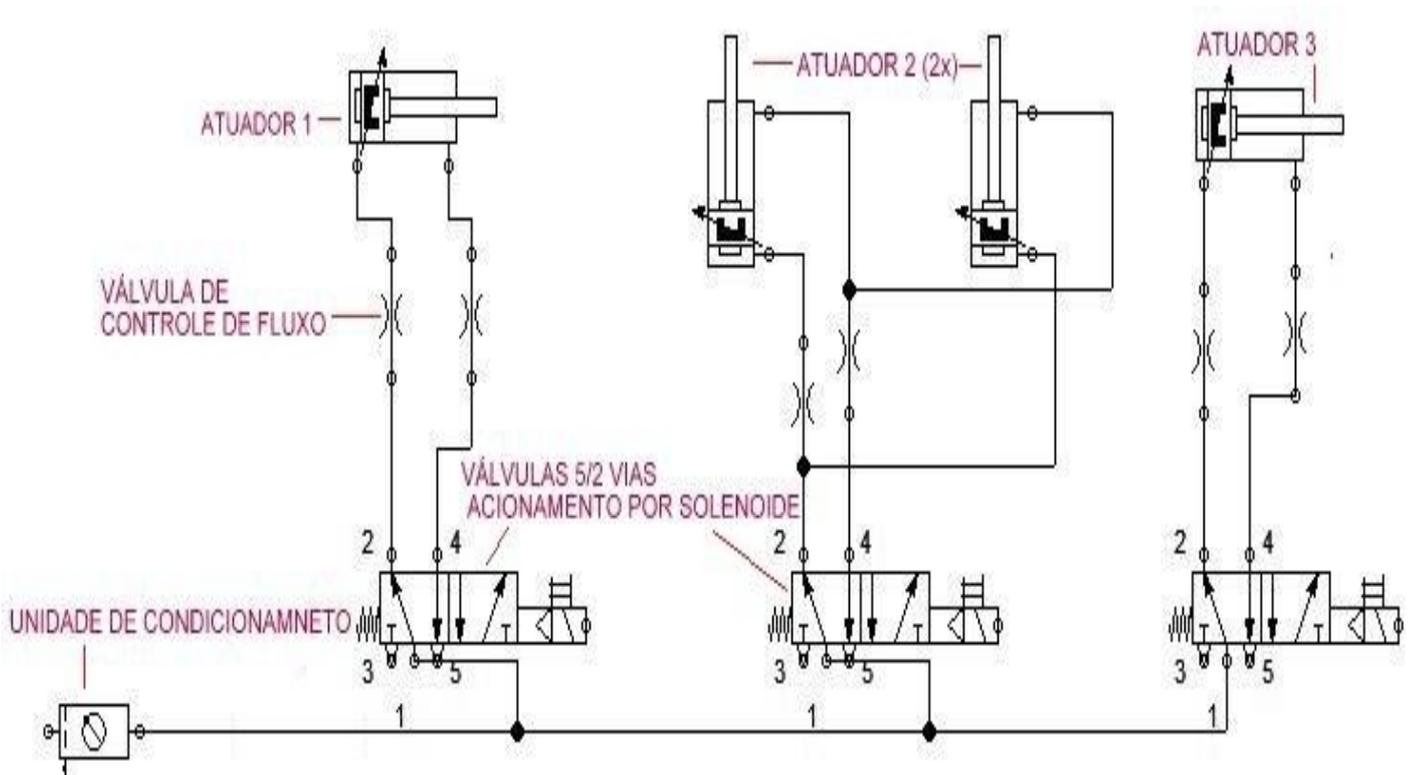


Figura 23: Circuito pneumático do sistema proposto para automatização da Máquina para Fabricar Blocos de Concreto.

Após definido o modo de operação do sistema e determinado os elementos de trabalho, comando e abastecimento, foi possível elaborar uma lista com os componentes necessários para a montagem do sistema pneumático na máquina para fabricação de blocos de concreto. Essa lista permitirá à empresa elaborar um orçamento e fazer uma avaliação do custo benefício que o sistema vai causar na máquina. Os componentes estão apresentados em forma de quadro, que pode ser verificada a seguir:

ITEM	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
1	1	FLANGE DIANTEIRA PARA CILINDRO 32 X 600 mm
2	1	GARFO PARA CILINDRO 32 X 600 mm
3	2	VÁLVULA CONTROLE DE FLUXO PARA CILINDRO
4	1	VÁLVULA 5/2V, 1/4, SIMPLES SOL, 24 VCC PARA CILINDRO
5	2	COTOVELO 1/4 X 8 mm PARA SAIDA DA VÁLVULA
6	2	SILENCIADOR PARA VÁLVULA
7	2	FLANGE DIANTEIRA PARA CILINDRO 63 X 280 mm
8	2	GARFO PARA CILINDRO 63 X 280 mm
9	4	VÁLVULA CONTROLE DE FLUXO PARA CILINDRO
10	1	VÁLVULA 5/2V, 1/4, SIMPLES SOL, 24 VCC PARA CILINDRO
11	2	COTOVELO 1/4 X 8 mm PARA SAIDA DA VALVULA
12	2	SILENCIADOR PARA VALVULA
13	2	TEE UNIÃO 8 mm
14	1	FLANGE DIANTEIRA PARA CILINDRO 50 X 500 mm
15	1	GARFO PARA CILINDRO 50 X 500 mm
16	2	VÁLVULA CONTROLE DE FLUXO PARA CILINDRO
17	1	VÁLVULA 5/2V, 1/4, SIMPLES SOL, 24 VCC PARA CILINDRO
18	2	COTOVELO 1/4 X 8 mm PARA SAIDA DA VÁLVULA
19	2	SILENCIADOR PARA VÁLVULA
20	1	BLOCO MANIFOLD PARA 3 VÁLVULAS
21	1	CONEXÃO RETA PARA ALIMENTAÇÃO DO MANIFOLD
22	1	FILTRO REGULADOR 1/2
23	1	SUPORTE PARA FILTRO REGULADOR
24	1	VÁLVULA DE ALÍVIO
25	1	CONEXÃO RETA PARA VÁLVULA DE ALÍVIO
26	50	TUBO 8 mm PARA INTERLIGAR TODO O SISTEMA

Quadro 2 – Componentes para o sistema pneumático.

Desse modo, pode-se compreender que o sistema é composto por um atuador com diâmetro de 32 mm, um atuador com diâmetro de 50 mm e dois atuadores com diâmetro de 63 mm. Utiliza-se para o acionamento de cada atuador, uma flange dianteira para apoio, um garfo para fixação, duas válvulas para o controle de fluxo, uma válvula para controle direcional cinco vias e duas posições e dois silenciadores para as válvulas. Além desses componentes necessários para o acionamento de cada atuador, precisa-se para fechar o sistema, de um bloco manifold com alavancas para operação, uma unidade de condicionamento (que tem como finalidade evitar problemas na qualidade do ar), conexões e tubos para interligar todo o sistema.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos a partir do referido trabalho e das análises realizadas, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- Foi dimensionado um sistema pneumático para automatização de uma máquina para fabricação de blocos de concreto;
- Os pontos de possível automatização da máquina atual fabricante de blocos de concreto foram determinados através de uma análise de funcionamento da mesma;
- Os diâmetros dos atuadores e da linha principal foram obtidos através de cálculos. Com isso, foi possível encontrar os componentes necessários para a montagem do sistema pneumático nos catálogos comerciais;
- Elaborou-se um circuito pneumático do sistema proposto para automatização da máquina para fabricar blocos de concreto.

Durante o desenvolvimento do trabalho foram aplicados na prática conhecimentos teóricos obtidos no decorrer da graduação em engenharia mecânica. A execução deste trabalho trouxe vários desafios, nos quais colegas e professores serviram como importantes fontes para a busca dos conhecimentos necessários. Pode-se concluir ao final desse trabalho que os objetivos propostos foram alcançados com o desenvolvimento de um sistema pneumático para adaptar na máquina de fabricação de blocos de concreto.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se que no momento de fazer o dimensionamento de um sistema pneumático que o profissional responsável procure entrar em contato com vendedores técnicos de fabricantes dos componentes a serem utilizados, pois estes possuem uma ampla experiência na área e podem, com isso, auxiliar a alcançar o resultado desejado. Contudo, como sugestão para futuro trabalho tem-se o desenvolvimento do protótipo automatizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEPAC. **Construindo o presente. Criando o futuro.** Disponível em <<http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/06/anepac270212.pdf>> Acesso em 22/09/12.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023(NB 66):**Informação e documentação: referências - elaboração.** Rio de Janeiro, 2002.

BIOTECHNOS. **Projetos Autossustentáveis Ltda.** Disponível <<http://www.biotechnos.com.br>> Acesso em 20/08/12.

BONACORSO, Nelso G.; NOLL, Valdir. **Automação Eletropneumática.** São Paulo: Érica, 1997.

CROSER, P.; EBEL, Frank.**Pneumática: Nível Básico.** Festo DidacticTaC - Treinamento e Consultoria: 2002.

FIALHO, Arivelto B. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos.** 7 ed. São Paulo: Érica, 2012.

FIORITI, César F.; AKASAKI, Jorge L. **Fabricação de blocos de concreto com resíduos de borracha de pneus.** Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/73401733/Fabricacao-de-blocos-de-concreto-com-residuos-de-borracha-de-pneus>> Acesso em 20/08/12.

FIORITI, César F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria.** Ilha Solteira: UNESP, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Estadual Paulista, 2002.

JUNIOR, Tarley Ferreira de Souza. **Tecnologia e qualidade do material concreto nas construções agroindustriais.** Lavras: UFLA, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Lavras, 2004.

MANFRINATO, Marcos D. Pneumática. Araraquara: 2009. Universidade Paulista, 2009. Disponível em <<http://xa.yimg.com/kq/groups/19658274/747598075/name/pneum%C3%A1tica+aula+1+e+2.pdf>> Acesso em 21/08/12.

PARKER. Linha Pneumática. Tecnologia Pneumática Industrial. Apostila M1001 BR. Parker Hannifi Ind. Com. Ltda. Jacareí, SP., 2000.

PARKER. Linha Pneumática. Tecnologia Eletropneumática Industrial. Apostila M1002-2 BR. Parker Hannifi Ind. Com. Ltda. Jacareí, SP., 2005.

RIBEIRO, Marco A. **Automação Industrial.** 4 ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2001.

ROLLINS, J. P. **Manual de ar comprimido e gases.** São Paulo: Prentice Hall, 2004.

SANTOS, Carlos de Oliveira. **Análise de blocos estruturais de concreto utilizando a técnica da ultrassonografia.** Belo Horizonte: UFMG, 2011. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.