

**GISELLE RAMIREZ CAÑEDO**

**ANÁLISE DOS RISCOS E PROPOSTA DE MEDIDAS DE SEGURANÇA  
PARA O TRABALHO COM JATO DE ÁGUA**

**EPMI  
ESP/EST-2010  
R145a**

**São Paulo  
2010**

**GISELLE RAMIREZ CAÑEDO**

**ANÁLISE DOS RISCOS E PROPOSTA DE MEDIDAS DE SEGURANÇA  
PARA O TRABALHO COM JATO DE ÁGUA**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para a obtenção do título de Engenheiro  
de Segurança do Trabalho.

**São Paulo  
2010**

## DEDICATÓRIA

***Dedico este trabalho a meu filho Daniel, meu maior orgulho, a meu esposo Alain pelo amor e compreensão, e a meus pais e irmão pela presença e apoio em todas as etapas da minha vida.***

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Sergio Medici de Eston pela oportunidade que me deu de fazer este curso.

Aos professores do curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, pelo carinho, dedicação, entusiasmo demonstrado ao longo do curso e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao pessoal do LACASEMIN, Renata, Vicente, André; que me deram o maior apoio desde que cheguei ao Brasil.

Aos colegas de classe pela espontaneidade e alegria na troca de informações e materiais.

Ao Guillermo pelo apoio na pesquisa bibliográfica e por compartilhar seus amplos conhecimentos relacionados ao meu tema que envolve o Jato de Água.

Ao professor Wildor Theodoro Hennies pela colaboração e apoio.

A Betty por cuidar com amor do meu pequeninho enquanto eu trabalhava e estudava.

## RESUMO

O jato de água vem sendo utilizado para finalidades bastante diversificadas em quase todas as áreas da indústria moderna, por exemplo, a indústria automotiva, indústria aeroespacial, engenharia de construção, tecnologia ambiental, engenharia de processos químicos e manutenção industrial. Entre seus principais usos se destacam o corte de materiais, a decapagem de estruturas metálicas para recomposição de pinturas, a preparação de estruturas de concreto para recuperação das suas armações metálicas, além do seu uso para limpezas de superfícies e desobstruções de ordem geral. O objetivo deste trabalho é analisar os riscos e medidas de prevenção e proteção no trabalho com o jato de água em quaisquer níveis de pressão, seja através de máquinas automáticas ou manuais. O uso do Jato de Água implica o trabalho com altas pressões de água que podem ferir os trabalhadores ou outras pessoas que estejam perto da área de trabalho. Atualmente não existem no Brasil normas e legislações específicas para essa atividade, porém, existem referências técnicas internacionais, americanas e européias para a análise das condições de exposição aos riscos. Entre os principais riscos estão o manuseio da máquina que pode levar a amputação de algum membro, a perda de audição, dano nos pulmões, envenenamento, quedas e níveis elevados de ruído. Neste trabalho também são realizadas propostas de medidas de proteção para o trabalho com o Jato de Água, através de equipamentos de proteção individual assim como, de medidas de proteção com os equipamentos de trabalho e medidas de prevenção na área de trabalho.

Palavras chaves: Jato de Água, Segurança do Trabalho, Riscos Ocupacionais, Medidas de proteção.

## **ABSTRACT**

The water jet has been used for diverse purposes in many areas of modern industry such as, automotive, aerospace, construction, environmental technology, chemical process and industrial maintenance. Its main uses are cutting material, stripping of metal structures for restoration or paintings and the preparation of concrete structures for recovery of their metal frames. Besides it's also used for surface cleaning and clearance of a general nature. The aim of this paper is to analyze the risks and prevention and protection methods of work with water jet at every level of pressure in any of their industrial applications, either automatic or manual. Use of Water Jet involves working with high pressure water and it can injure workers or others who are close to the area of work. Currently in Brazil, there are no rules either laws specific to that activity, but exist technical European and American references to examine the conditions of exposure. The main risk of water jet is the amputation of a limb, hearing loss, lung damage, poisoning, falls and high levels of noise. This work also proposed to implement protectives measures for working with Water Jet, by personal protective equipment as well as preventive measures with the equipment and with the work area.

**Keywords:** Water Jet, Workplace Safety, Occupational hazards, protective measures.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura1- Lavra hidráulica a céu aberto por jato de água no século XIX. . . . .	13
Figura 2- Classificação dos Jatos de Água. . . . .	19
Figura 3- Máquina de jato abrasivo. . . . .	30
Figura 4- Ricochetear de partículas abrasivas. . . . .	32
Figura 5- Demolição de concreto e decapagem da armação metálica. . . . .	33
Figura 6- Barreiras abertas para isolamento da área em trabalho. . . . .	36
Figura 7- Barreira para delimitar área de trabalho. . . . .	36
Figura 8- Lanças com controle por pedal presas em suporte com guarda de proteção na ponta e área isolada com barricada. . . . .	37
Figura 9- Robô de jatos de água de alta pressão em ação. Primeiro robô brasileiro para combater incêndios. . . . .	38
Figura 10- Capacete com visor e óculos de proteção. . . . .	40
Figura 11- Roupa á prova de água. . . . .	41
Figura 12- Máscara de adução de ar. . . . .	42
Figura 13- Utilização de EPI para a decapagem de estrutura metálica para recuperação de pintura. . . . .	42
Figura 14- Tipos de danos que tubulações de alta pressão podem sofrer. . . . .	45
Figura 15- Dedos chineses em união de tubulação de alta pressão. . . . .	46

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Aplicações do Jato de Água na Indústria. . . . .	20
Tabela 2- Classificação dos principais riscos ocupacionais. . . . .	25
Tabela 3- Possíveis danos e efeitos da tecnologia de corte com jato de água. . .	31
Tabela 4- Comparação de exposições ocupacionais. . . . .	34



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
GPJA	Grupo de Pesquisa em Jato de Água Abrasivo
NR	Norma Regulamentadora
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Specification</i>
PMI-EPUSP	Departamento de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RIDDOR	<i>The Reporting Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations</i>
UHP	<i>Ultra High Pressure</i>
WJIA	<i>Waterjetting International Association</i>
WJTA	<i>Waterjetting Technology Association</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.</b>	12
1.1. GENERALIDADES.	12
1.2. JUSTIFICATIVA.	14
1.3. OBJETIVO.	15
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.</b>	16
2.1. A HISTÓRIA DO JATO DE ÁGUA.	16
2.2. HISTÓRICO NO BRASIL.	17
2.3 TIPOS DE JATOS DE ÁGUA.	19
2.4. APLICAÇÕES DO JATO DE ÁGUA.	20
2.5. NORMAS E LEGISLAÇÕES.	21
2.6. HISTÓRICO DE ACIDENTES.	22
2.7. TERMOS E DEFINIÇÕES.	23
2.7.1. Segurança do Trabalho.	23
2.7.1.1. Perigo.	23
2.7.1.2. Risco.	24
2.7.1.3. Agentes Ocupacionais.	24
2.7.1.4. Acidentes de Trabalho.	26
2.7.1.5. EPI.	27
2.7.2. Jato de Água.	28
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.</b>	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.</b>	30
4.1. PERIGOS DO CORTE A JATO A JATO DE ÁGUA.	30
.....	
4.2. PRINCIPAIS PERIGOS NO HIDROJATEAMENTO.	32
4.3. OUTROS PERIGOS.	34
4.4. MEDIDAS DE PROTEÇÃO PARA SEGURANÇA NA ÁREA DE TRABALHO.	35
4.5. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)	39

4.6. OUTRAS FORMAS DE PROTEÇÃO PARA OS TRABALHADORES. . . . .	43
4.7. UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA PRESSURIZADOS. . . . .	44
4.7.1. Válvulas de Segurança. . . . .	44
4.7.2. Bombas de alta pressão. . . . .	44
4.7.3. Tubulações. . . . .	45
4.7.4. Filtros de Água. . . . .	46
4.8. TREINAMENTO. . . . .	46
4.9. PROTEÇÃO DA SAÚDE E CONTRA ACIDENTES. . . . .	47
5. CONCLUSÕES. . . . .	48
6. REFERÊNCIAS. . . . .	49
ANEXOS. . . . .	52

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Generalidades

Desde os primórdios da civilização, o homem aproveita a capacidade da água em movimento de carregar partículas. E neste princípio fundamental que se baseia a moderna tecnologia de jato de água de alta pressão.

O desmonte de rochas sedimentares não consolidadas é a aplicação mais antiga conhecida. Este método é denominado desmonte hidráulico ou mineração hidráulica, que consiste em dirigir um jato de água contra a rocha mineralizada, para desagregá-la. O jato também se utiliza na mineração para deslocar a polpa de minério e a água até o ponto de coleta ou à usina de processamento. (SOARES et al., 1998 apud MARTIN, 2003)

Segundo Savanick apud Martin (2003), por volta de 1830 iniciou-se o desmonte hidráulico com o objetivo de lavrar aluviões de minério de ouro nos Montes Urais, na Rússia, e teve seu maior desenvolvimento nos campos de ouro da Califórnia, de 1852 a 1874. A operação do processo era feita direcionando um grande jato de água (Figura 1) sobre cascalho e areia não consolidados para os desagregar, lavar e transportar para uma calha onde o ouro era separado da lama.

Hoje a lavra hidráulica é aplicada em lavra a céu aberto e em lavra subterrânea por controle remoto ou por furos de sondagem.

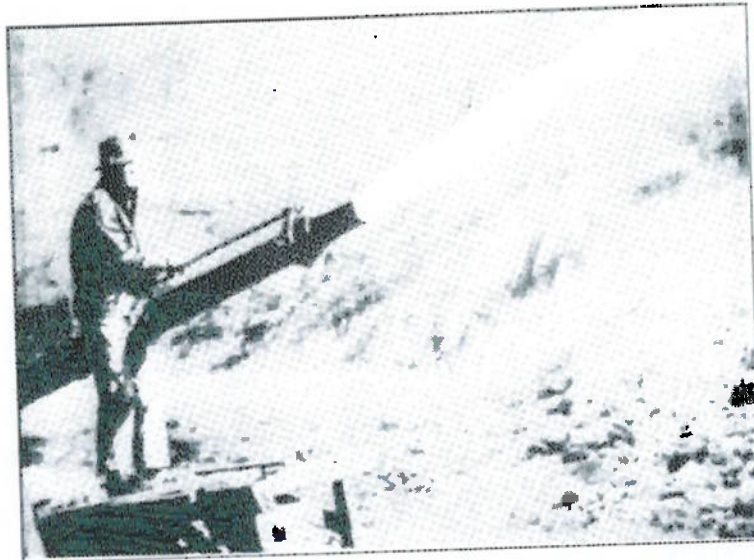


Figura 1. Lavra hidráulica a céu aberto por jato de água no século XIX.  
Fonte: HENNIES, 2003.

Os jatos de água são aplicados, além da mineração, em quase todas as áreas da indústria moderna, como a indústria automotiva, indústria aeroespacial, engenharia de construção, tecnologia ambiental, engenharia de processos químicos e manutenção industrial.

Seu uso tem sido geralmente, nos trabalhos de:

- Limpeza de esgotos.
- Limpeza industrial de recipientes, contêineres e autoclaves.
- Limpeza de juntas.
- Preparação de superfícies.
- Remoção de pinturas e coberturas.
- Hidrodemolição de concreto.
- Lavra de jazidas a céu aberto e/ou subterrânea.
- Fragmentação de rochas.
- Corte de rochas ornamentais.
- Operações mineiras assistidas.
- Perfuração de solos e rochas.
- Estabilidade de solos.
- Descontaminação.
- Reciclagem de materiais.
- Operação de manufaturas.

- Na área das manufaturas, a técnica de jato de água é usada para:
- Fragmentação de materiais com jatos de água pura.
- Limpeza de superfícies com jatos de água pura.
- Manufatura convencional com assistência de jatos de água.
- Corte de materiais difíceis com jatos de água abrasivos.
- Moagem e corte 3-D com jatos de água abrasivos.
- Torneamento com jatos de água abrasivos.
- Gravação e perfuração com jatos de água abrasivos.
- Polimento de materiais com jatos de água abrasivos.

As principais vantagens do jato de água são:

- Ideal para aplicação em locais ou áreas onde não é permitida a contaminação com partículas sólidas diversas, principalmente metálicas.
- Não produz faíscas, portanto, sendo ideal para aplicação em locais ou equipamentos com riscos de incêndios ou explosões.
- No local de aplicação fica somente uma pequena névoa a qual não apresenta maiores impactos ambientais e que tem dissipação rápida.
- Não danifica a superfície jateada, não erosiona ou deforma, retirando apenas a tinta, borracha, plástico, ou qualquer outro material incrustado.
- Não é necessária a limpeza posterior da superfície jateada.
- Utiliza-se somente água limpa sem aditivos químicos.
- Possibilita manter o local de trabalho em perfeitas condições de limpeza.

## **1.2. Justificativa**

Existe um crescente histórico de ocorrências de acidentes com lesões graves na atividade de hidrojateamento com pistola. A utilização de altas pressões no jato de água é um dos fatores mais destacados na ocorrência dos acidentes. Considerando que as roupas dos trabalhadores nesta atividade protegem da umidade e das partículas que possam ricochetear durante o jateamento, mas não protegem

totalmente da forte pressão do jato de água, que pode ferir gravemente aos trabalhadores e as pessoas que por ventura possam estar próximas a área de trabalho. É muito importante que os trabalhadores utilizem os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) necessários e apliquem as medidas de proteção para diminuir ou até eliminar os riscos e perigos que envolvem esta atividade.

Outro fator de risco, no caso do corte com jato de água é o diâmetro mínimo do jato (0,3 mm ou ainda menor) que funciona como lâmina de corte, isso junto à ultra-alta pressão (acima de 173 MPa) e à velocidade de corte (mais de 1400 km/h) implicam na necessidade de elevar os cuidados durante as operações.

Atualmente, não existem no Brasil normas e legislações específicas para essa atividade, porém, existem referências técnicas internacionais, americanas e européias para a análise das condições de exposição aos riscos, principalmente em relação à postura corporal, esforço físico e forma de utilização dos equipamentos de trabalho, com o objetivo de tomar as medidas de prevenção para a neutralização dos riscos aos trabalhadores.

### **1.3. Objetivo**

Analisar os riscos e medidas de prevenção e proteção no trabalho com o jato de água em quaisquer níveis de pressão seja através de operações automáticas ou manuais.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A História do Jato de Água

Jatos de água com baixa pressão foram usados primeiramente na mineração de ouro na Califórnia em 1852. Jatos de vapor e água quente foram usados no início do século 20 para a limpeza.

O Dr. Norman Franz, Engenheiro Florestal é conhecido como o pai do jato de água, e realizava suas pesquisas a fim de encontrar novas maneiras de cortar árvores em toras de madeira e foi a primeira pessoa que estudou a água a pressão ultra elevada \* como ferramenta de corte. No final da década de 50 e no início da década de 60 o Dr. Franz jogou grandes pesos em colunas de água, forçando-a através de um minúsculo orifício. Através destes experimentos ele obteve breves estouros de pressão muito elevada, assim, foi capaz de cortar madeira e outros tipos de materiais (O JATO..., 2008).

Os últimos estudos do Dr. Franz envolviam jato de água mais contínuos porém, ele encontrou dificuldade em obter pressão elevada com continuidade. Além disso, a vida útil dos componentes dos equipamentos usados na época era medida em minutos, não em semanas ou meses como é hoje. Ironicamente, hoje em dia a utilização da tecnologia UHP (*Ultra High Pressure*) no corte de madeira é mínima. Mas o Dr. Franz comprovou que um feixe concentrado de água em ultra-alta velocidade tem o poder de corte muito maior e pode ser utilizado em aplicações de corte que podem superar as estimativas que foram estudadas por ele.

Jatos de água de alta pressão foram utilizados para a mineração nos anos 60.

---

\* O termo "Pressão Ultra Elevada" é definido como pressão acima de 30.000 libras por polegada quadrada (psi)



A primeira máquina comercial de corte com jato de água foi desenvolvida na década de 1970. Com pressões entre 40,000 e 60,000 psi (276 e 414 MPa), com um jato de água de aproximadamente 0.005 polegadas (0,1 mm) de diâmetro, que poderia perfeitamente cortar desde papel até produtos alimentares. (The Possibilities..., 2009, tradução nossa) \*\*

O custo das máquinas de jato de água quando começaram a se produzir e comercializar era elevado e muitas vezes precisavam ser feitas grandes manutenções, mas, ainda eram mais eficazes do que os métodos tradicionais de corte de materiais macios como papel, plástico, placa de gesso, produtos alimentícios, espumas, materiais de isolamento, etc. Para incrementar a potência do jato de água permitindo-lhe cortar a maioria dos materiais são misturados à água materiais abrasivos (areia, granada, sílica, óxido de alumínio, nitrato de silício ou para materiais muito duros abrasivos à base de carbeto de boro) que produzem o chamado jato abrasivo desenvolvido nos anos 80.

Como nos primeiros jatos de água, os primeiros jatos abrasivos eram muito caros e precisavam de grandes manutenções. Na década de 1990 o Dr. John Olsen desenvolveu um sistema de jato de água que evitou os problemas dos sistemas anteriores que limitava os jatos de água para instalações especializadas. Ele vislumbrou um computador com jato de água. Atualmente muitos equipamentos de jato de água estão conectados a programas de computador que automatizam seu uso. (The Possibilities..., 2009, tradução nossa)

## **2.2. Histórico no Brasil**

O jato de água está em uso no Brasil há mais de 20 anos, nos primeiros anos foi utilizado na indústria para a desobstrução de dutos e tubulações, através de lanças metálicas acionadas à distância. Depois passou a ser testado e ter sua eficiência comprovada em diversas outras atividades como a decapagem de estruturas

---

\*\* Com as pressões citadas é possível cortar todo tipo de material de engenharia.

metálicas para limpeza ou revestimentos, usando pistolas de projeção e outros equipamentos especialmente desenvolvidos para esta atividade. Atualmente com estes equipamentos se consegue maior controle ambiental e de preservação à integridade humana (RODRIGUES, 2002).

No Brasil a primeira máquina de corte foi instalada há 10 anos atrás em uma universidade para a realização de operações laboratoriais. Ela encontra-se no Departamento de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PMI-EPUSP). Nestes anos foram realizados múltiplos trabalhos de pesquisa sobre as características, e as vantagens, do jato de água para determinadas atividades industriais. Até os dias atuais foi realizado somente um estudo na área de segurança do trabalho voltado especificamente aos aspectos ergonômicos relacionado ao posicionamento do operador na mesa de corte por jato de água. Este trabalho foi realizado por um aluno da pós-graduação da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

Desde 1998 o PMI-EPUSP – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo começou a pesquisar o corte com jato de água de ultra-alta pressão. Como consequência disso foi criado um Grupo de pesquisa. O GPJA - Grupo de Pesquisa em Jato de Água Abrasivo do PMI – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo foi criado em 1998 pelo Prof. Dr. Wildor Theodoro Hennies. Neste intervalo de tempo o GPJA tem desenvolvido varias pesquisas de mestrado e doutorado, apresentando produção consequente de artigos científicos para publicações e eventos internacionais especializados. Toda a pesquisa foi desenvolvida especificamente no corte de materiais como: rochas ornamentais brasileiras, corte de dutos metálicos de combustíveis, corte de materiais friáveis cerâmicos, solos, polímeros, e outros (MARTIN, 2003).

## 2.3. Tipos de Jatos de Água

Inicialmente, a Waterjetting International Association (WJIA) classificava os jatos segundo o tipo de bomba aplicada, também pelo jeito de formar o jato e as substâncias envolvidas no mesmo. Assim, podia ser bomba de êmbolo ou um intensificador de pressão.

Também entravam na classificação dos tipos de jato, se o jato utilizava apenas água pura ou misturada com aditivos (quase sempre polímero para aumentar o comprimento do jato para o corte de materiais espessos), ou abrasivos para cortar materiais muito duros como metais, rochas e outros. (Figura 2)

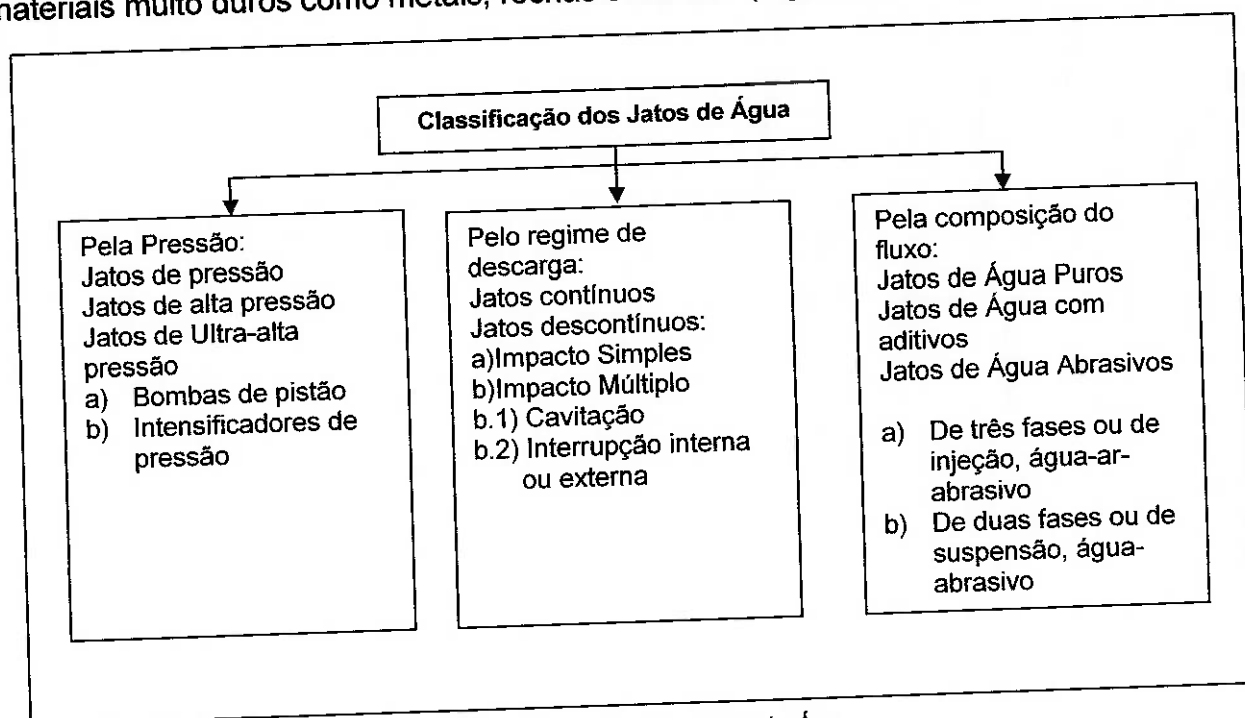


Figura 2. Classificação dos Jatos de Água.  
Fonte: MARTIN - CORTES, 2003. (Adaptado pelo autor)

Hoje em dia, por acordos internacionais, a classificação dos jatos de água é feita pela pressão aplicada:

1. Jato de água de pressão – limpeza/corte: quando a pressão fica abaixo de 34 MPa
2. Jato de água de alta-pressão – limpeza/corte: quando a pressão fica entre 34 e 200 MPa.

3. Jato de água de ultra-alta pressão – limpeza/corte: pressão da bomba acima de 200 MPa.

## 2.4. Aplicações do Jato de Água

Na indústria moderna existem muitas aplicações do jato de água. A tabela abaixo mostra a grande quantidade de aplicações industriais da técnica de corte por jato de água.

Tabela 1. Aplicações do Jato de Água na Indústria.

ÁREA INDUSTRIAL	APLICAÇÃO
Engenharia Civil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrodemolição de concreto</li> <li>• Limpeza de superfícies</li> <li>• Demolição sem vibrações</li> <li>• Estabilidade de solos</li> <li>• Descontaminação de solos</li> <li>• Condução da manutenção de pilhas</li> <li>• Limpeza de juntas</li> </ul>
Engenharia de processos químicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpeza e descoberta de dutos</li> <li>• Limpeza de tubos empacotados</li> <li>• Limpeza de recipientes, contêineres, e autoclaves.</li> </ul>
Manutenção e prevenção de corrosão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção de cobertas</li> <li>• Preparação de superfícies livres de emissão</li> <li>• Remoção seletiva de pinturas</li> </ul>
Engenharia Municipal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpeza de esgotos (cloacas)</li> </ul>
Engenharia Automotriz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção de lacas (vernizes)</li> <li>• Recondicionado de partes e peças</li> <li>• Corte e fragmentação de materiais</li> </ul>
Engenharia ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclagem de materiais</li> <li>• Descontaminação livre de emissões</li> </ul>

Continua

	Continuação
Engenharia Mineral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte de Rochas Ornamentais</li> <li>• Lavra de jazidas a céu aberto</li> <li>• Lavra de jazidas subterrâneas</li> <li>• Abertura de túneis</li> </ul>
	Conclusão

Fonte: MARTIN – CORTES, 2003.

## 2.5. Normas e legislações

Existem internacionalmente regulamentos para jatos de alta pressão que se listam a continuação (países em ordem alfabética): (HENNIES, 2003).

### • *Federal Republic of Germany*

'Richtlinien für Flüssigkeitsstrahler' ZH 1/406, Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sant Attgusiin, 1987, 27 pages.  
'Arbeiten mit Flüssigkeitsstrahlern (VBG 87)'. Bau-Berufsgenossenschaft Hamburg 1994, 28 pages.

### • *Japan*

'Safety Guide lines for Water Jet Machining'. Japan Industrial Safety and Health Association Tokyo, 1992, 104 pages.

### • *The Netherlands*

'Handboek Hogedruk Vloereistofreiniging' Stichting Europort / Botlek Belangen, 1988, 37 pages.

### • *Switzerland*

'Betrieb von Hochstdruck Wasserstrahlgeräten (HWG)'. Richtlinie Nr. 6505, Endgenösiche Koordinierungskommission für Arbeitssicherheit Luzern, 1991, 14 pages.

- **United Kyngdom**

'Code of Practice for the Use of High Pressure Water Jetting Equipment'. Association of High Pressure Water Jetting Contractors, London, Amended Edition, 1995, 36 pages.

- **United States**

'Recommended Practices for the Use of Manually Operated High-pressure Water Jetting Equipment'. Water Jet Technology Association St. Louis, USA, 38 pages.

De todos estes códigos internacionais de praticas seguras com jato de água, somente foi possível consultar para a elaboração desta monografia, as Recomendações práticas para as operações manuais com equipamentos de alta pressão de jato de água dos Estados Unidos. Este manual pode ser encontrado como parte da apostila dos cursos de pós-graduação sobre Jato de água do PMI-EPUSP.

## **2.6. Histórico de Acidentes**

Uns 15 ou mais acidentes foram relatados através da RIDDOR ("The Reporting Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations") e tem sido investigado pelos executivos da Agência de Saúde e Segurança nos últimos anos nos Estados Unidos. Estes acidentes foram com certeza injúrias sérias com pessoas perdendo dedos dos pés e das mãos. Provavelmente muitos incidentes permanecem não relatados para qualquer domínio público. Acidentes reais com jatos de alta pressão desafortunadamente não estão bem documentados (HENNIES, 2003).

Segundo Rodrigues (2002) durante o período em que vem se utilizando a tecnologia do jato de água no Brasil ocorreram alguns acidentes no parque industrial da Aracruz Celulose, onde houveram lesões em pernas, nos pés e flanco de trabalhadores, sendo o último em abril do ano 1999, com lesões graves na mão esquerda de um dos operadores durante a utilização de uma pistola de jateamento. Os acidentes têm ocorrido devido à falha do operador ou aos desgastes do equipamento, onde as uniões de tubulação foram partidas na linha de suprimento.

Isto causa uma violenta ação de oscilação da extremidade solta da tubulação e cria uma situação muito perigosa para qualquer pessoa próxima a ela. (HENNIES, 2003)

## **2.7. Termos e definições**

A seguir será realizado um resumo de alguns dos principais termos e definições que a WJIA (*Waterjetting International Association*) estabelece como importantes de conhecer por quem vai trabalhar com o Jato de Água.

### **2.7.1. Segurança do Trabalho**

#### **2.7.1.1. Perigo**

Segundo a OHSAS 18.001:

Perigo: Fonte ou situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, dano à propriedade, meio ambiente, local de trabalho ou a combinação destes.

Outras definições de perigo são as seguintes:

“Um perigo é um agente químico, biológico ou físico (incluindo-se a radiação eletromagnética) ou um conjunto de condições que apresentam uma fonte de risco mas não o risco em si” (KOLLURU, 1996, p. 1.13).

“Perigo é uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte” (SANDERS e McCORMICK, 1993, p. 675).

### **2.7.1.2. Risco**

Segundo a OHSAS 18.001:

Risco: Combinação da probabilidade de ocorrência e da(s) consequência(s) de um determinado evento perigoso.

Outras definições de risco são as seguintes:

Risco "(...) é uma função da natureza do perigo, acessibilidade ou acesso de contato (potencial de exposição), características da população exposta (receptores), a probabilidade de ocorrência e a magnitude da exposição e das consequências (...)" (KOLLURU, 1996, p. 110).

"Risco é a probabilidade ou chance de lesão ou morte" (SANDERS e McCORMICK, 1993, p. 675).

### **2.7.1.3. Agentes ocupacionais**

A legislação de segurança do trabalho brasileira considera como riscos ambientais, agentes físicos, químicos e biológicos. Para que sejam considerados fatores de riscos ambientais estes agentes precisam estar presentes no ambiente de trabalho em determinadas concentrações ou intensidade, e o tempo máximo de exposição do trabalhador a eles é determinado por limites pré-estabelecidos por cima dos quais podem provocar danos à saúde do trabalhador.

Segundo a Norma Regulamentadora (NR)- 9-Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), consideram-se agentes físicos, diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores. Consideram-se agentes químicos as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvidos pelo organismo através da pele ou ingestão. Consideram-se agentes biológicos as bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros.



Também são importantes os riscos ergonômicos e os riscos de acidentes. Na tabela a continuação se mostra a classificação dos diferentes agentes ocupacionais.

Tabela 2: Classificação dos principais riscos ocupacionais.

<b>Riscos Físicos</b>	<b>Riscos Químicos</b>	<b>Riscos Biológicos</b>	<b>Riscos Ergonômicos</b>	<b>Riscos de Acidentes</b>
Ruídos	Poeiras	Vírus	Esforço físico intenso	Arranjo físico inadequado
Vibrações	Fumos	Bactérias	Levantamento e transporte manual de peso	Máquinas e equipamentos sem proteção
Radiações ionizantes	Névoas	Protozoários	Exigência de postura inadequada	Ferramentas inadequadas ou defeituosas
Radiações não ionizantes	Neblinas	Fungos	Controle rígido de produtividade	Iluminação inadequada
Frio	Gases	Parasitas	Imposição de ritmos excessivos	Eletricidade
Calor	Vapores	Bacilos	Trabalho em turno e noturno	Probabilidade de incêndio ou explosão
Pressões anormais	Substâncias, compostos ou produtos químicos		Jornadas de trabalho prolongadas	Armazenamento inadequado
Umidade			Monotonia e repetitividade	Animais peçonhentos
			Outras situações causadoras de stress físico e/ou psíquico	Outras situações de risco que poderão contribuir para a ocorrência de acidentes

Fonte: NR-5-Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA. (antigo anexo IV) (Adaptado pelo autor)

#### **2.7.1.4. Acidente do trabalho**

Acidente é por definição, o acontecimento que determina, fortuitamente, dano que poderá ser à coisa, material, ou pessoa. Acidente do trabalho, por definição legal, é aquele que ocorre pelo exercício do trabalho, a serviço da empresa, provocando lesão corporal, perturbação funcional ou doença que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho (AFFONSO, 2000).

Acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, com o segurado empregado, trabalhador avulso, médico residente, bem como com o segurado especial, no exercício de suas atividades, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, a perda ou redução, temporária ou permanente, da capacidade para o trabalho (BRASIL, 1999).

Segundo Asfahl (2005) existem três linhas de defesa contra as condições perigosas à saúde e são identificadas como segue:

1. Controles de engenharia.
2. Controles administrativos ou controles práticos de trabalho.
3. Equipamentos de proteção individual.

Os controles de engenharia tratam diretamente a condição perigosa, removendo-a, ventilando-a, suprimindo-a ou, de um outro modo qualquer, tornando o local de trabalho seguro e saudável. Isso elimina a necessidade de se conviver com a condição perigosa de minimizar seus efeitos, em contraste com os controles administrativos e a utilização de equipamentos de proteção individual (ASFAHL, 2005).

### 2.7.1.5. EPI

Segundo a Norma Regulamentadora - NR-6-Equipamentos de Proteção Individual (EPI) considera-se EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

Existem diferentes tipos de EPI para a proteção de diferentes partes do corpo. Na NR-6 portaria 121 do 2009 eles são classificados como segue:

1. EPI para proteção da cabeça
  - Capacete
  - Capuz
2. EPI para proteção dos olhos e face
  - Óculos
  - Protetor facial
  - Máscara de Solda
3. EPI para proteção auditiva
  - Protetor auditivo
4. EPI para proteção respiratória
  - Respirador purificador de ar
  - Respirador de adução de ar
  - Respirador de fuga
5. EPI para proteção do tronco
6. EPI para proteção dos membros superiores
  - Luva
  - Creme protetor
  - Manga
  - Braçadeira

- Dedeira

7. EPI para proteção dos membros inferiores

- Calçado
- Meia
- Perneira
- Calça

8. EPI para proteção do corpo inteiro

- Macacão
- Conjunto
- Vestimenta de corpo inteiro

9. EPI para proteção contra quedas com diferença de nível

- Dispositivo trava-queda
- Cinturão

### **2.7.2. Jato de Água**

Os termos e definições necessários de conhecer para o trabalho com o Jato de Água estão no anexo A.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta monografia se realizou a partir do estudo da bibliografia existente na Universidade de São Paulo. O estudo teórico do tema se organizou da seguinte maneira:

Realizou-se um levantamento sobre os diferentes perigos no trabalho com Jato de Água, nas diferentes indústrias que utilizam esta técnica.

- Foram estudados os diferentes tipos de aplicações do Jato de Água.
- Analisou-se como funcionam os equipamentos automáticos e manuais.
- Foi realizado um levantamento de como os trabalhadores operam os equipamentos.
- Foram avaliados e analisados os riscos para cada técnica de hidrojateamento e para cada tipo de equipamento.

Foram realizadas propostas de medidas de segurança para o trabalho com o Jato de Água a partir dos riscos identificados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Principais perigos do corte a jato de água

O perigo principal do emprego de jato de água de alta pressão é o próprio jato em si. Este jato possui uma enorme quantidade de energia cinética. Considerando que um jato de água de alta pressão pode cortar através de concreto, a carne humana e os ossos de um operador não têm grande chance quando são colocados em seu caminho.

Como se observa na figura 3, o operador da máquina de corte trabalha perto da área de corte e não existe nenhuma proteção. A única proteção é a consciência e a experiência do trabalhador.



Figura 3. Máquina de jato abrasivo.  
Fonte: COMO..., 2009

Segundo Radvanská (2007) existem diferentes possíveis perigos no corte a jato, na tabela 3 observa se os efeitos que estes poderiam causar.

Tabela 3. Possíveis danos e efeitos da tecnologia de corte com jato de água.

<b>Circuito de baixa pressão</b>		
<b>Fonte de perigo</b> Sistema elétrico Acessórios de pressão Fluido hidráulico	<b>Perigo</b> Danos no isolamento elétrico Saída de fluidos Saída do líquido na forma de aerossol Quebra de peça	<b>Efeito</b> Quedas Morte Contusões Envenenamento Danos aos pulmões
<b>Circuito de alta pressão</b> <b>Fonte de perigo</b> Acessórios de alta pressão Fluido de alta pressão (permeado)	<b>Perigo</b> Danos nas tubulações Vazão de permeado Danos ao operador pela alta pressão que vaza na quebra de tubos ou mangueiras	<b>Efeito</b> Quedas Morte Contusões Corte Amputação
<b>Sistema de filtração</b> <b>Fonte de perigo</b> Deficiências no tratamento da água Sedimentação de impurezas	<b>Perigo</b> Perigo mecânico Danos no dispositivo	<b>Efeito</b> Quedas Morte Contusões
<b>Sistema de alimentação do abrasivo</b> <b>Fonte de perigo</b> Contenedor de abrasivo Fluxo de abrasivo Sistema de reciclagem	<b>Perigo</b> Penetração de impurezas Danos ao bocal do corte abrasivo	<b>Efeito</b> Perdas na produção
<b>Material de usinagem</b> <b>Fonte de perigo</b> Peça objeto de trabalho no jato de água	<b>Perigo</b> Ricochetear de partículas abrasivas Ricochetear do abrasivo Ruído Queda das peças Arestas cortantes Composição física e química da peça	<b>Efeito</b> Amputação Perda de audição Corte Dano nos pulmões Envenenamento
<b>Sistema operacional</b> <b>Fonte de perigo</b> Sistema operacional Sistema de manipulação Jato de água abrasivo Sistema de movimento	<b>Perigo</b> Colisão da manipulação e o sistema de movimento Afeição do jato de água ao operador Dispersão do jato de água abrasivo	<b>Efeito</b> Amputação Perda de audição Corte Dano nos pulmões Envenenamento

Fonte: RADVANSKÁ (2007), tradução nossa

Comumente a exposição ao jato resulta em perfurações profundas e hematomas ou hemorragias internas. Um perigo comum associado com o corte por jato de água é a

lesão ocular. Se o olho humano é exposto a um jato de alta pressão de água, pode sofrer de aranhões de córnea, deslocamento da retina, ou deslocamento completo. Os danos da córnea podem curar, mas, deslocamento da retina ou deslocamento completo, pode levar à cegueira (RADVANSKÁ, 2007, tradução nossa).

Na figura seguinte observa-se o ricochetear de partículas abrasivas que podem ferir a vista do trabalhador.



Figura 4. Ricochetear de partículas abrasivas  
Fonte: RADVANSKÁ, 2007

Corte por jato de água também está associado com um elevado nível de ruído, que pode ultrapassar os 110 dB e que pode danificar a audição em níveis insustentáveis.

#### **4.2. Principais perigos no Hidrojateamento**

O uso de lança manual ou revolver requer um considerável poder de concentração e energia para agir contra a grande força de reação a que se está sujeito quando se segura ou usa um jato de água numa pressão de 70 MPa. Assim, um piso firme é um requisito básico.

A força que o equipamento de aplicação do hidrojateamento exerce sobre o operador durante o uso da pistola, cuja intensidade está diretamente relacionada



com a pressão utilizada e a vazão de água de saída no bico, denomina-se retropulsão. Na Alemanha até 1980 se permitia a operação de pistolas com retropulsão de até 2,5 MPa, sendo que a partir desse ano foi limitada em 1,5 MPa, além do peso da pistola que é variável entre 02 a 06 kg, havendo, portanto, a necessidade de desenvolvimento de outros recursos técnico-operacionais que atendessem às suas diversas finalidades (RODRIGUES, 2002).

Existem equipamentos fixos para realizar hidrojateamento com retropulsões teoricamente muito mais elevadas. Qualquer retropulsão nesse limite exige grande esforço físico do operador como se observa na figura 5, havendo maior condição à fadiga e, conseqüentemente, passando a expô-lo a maiores situações de riscos de acidentes.



Figura 5. Demolição de concreto e decapagem da armação metálica.  
Fonte: RODRIGUES, 2002.

Segundo Rodrigues (2002) foram realizados levantamentos qualitativos de ruído, aerodispersóides, umidade, gases e vibração no que tange à exposição dos trabalhadores aos agentes ocupacionais existentes nos processos de hidrojateamento e jateamento abrasivo. Nesse levantamento destaca-se o hidrojateamento por estar isento de aerodispersóides e gases e por apresentar menor nível de ruído e vibração, porém, é o único que expõe o trabalhador à umidade apesar de existirem e serem adotados os recursos específicos de proteção individual para sua completa neutralização. Na tabela 4 mostram-se os resultados.

Tabela 4 Comparação de exposições ocupacionais.

RISCOS/ ATIVIDADE	Ruído	Poeira	Umidade	Gases	Vibração	Postura	Fadiga
Hidro-jateamento	Menos acentuada		Menos acentuada		Menos acentuada	Mais acentuada do	Mais acentuado
Jateamento Abrasivo	Mais acentuado	Mais acentuado		Menos acentuada	Mais acentuado	Mais acentuada do	Menos acentuada

Fonte: RODRIGUES, 2002.

### 4.3. Outros perigos

Existem outros perigos na utilização do jato de água, por exemplo uso de fonte de água contaminada, quebras na tubulação, e problemas das áreas com acesso. Muitas vezes o serviço precisa ser feito em ambiente fechado, sobre pontes rodoviárias, ou no alto de estrutura, ou ainda na manutenção de dutos de gás e petróleo. Existe também o problema de queda de corpos do material que está sendo removido, que podem ser arremessados em direção ao operador ou outras pessoas próximas ao local. (HENNIES, 2003).

Existe o problema de postura e fadiga do trabalhador devido ao uso dos equipamentos.

#### 4.4. Medidas de proteção para a segurança na área de trabalho

Segundo Hennies (2003) a primeira ação é de determinar a importância do risco do ambiente real onde o serviço deve ser feito. Isto deve incluir entre outros a resposta a uma série de questões tais como as seguintes:

- Como é feito o acesso ao local?
- Existe uma necessidade de andaimes?
- É um espaço confinado?
- É um buraco ou trincheira?
- Como é a superfície onde os operadores vão se apoiar?
- Disponibilidade de luz do dia ou artificial?
- Há presença de equipamento / suprimento de eletricidade?
- Fonte de água e sua drenagem?
- Natureza de contaminantes. É tóxico, é patogênico, é com base de asbesto? É inofensivo ou corrosivo?
- Esquema geral que permite contato visual entre elementos do time de operadores de jato.
- Requisitos de permissão.
- Segurança de acesso (por exemplo, trabalho em rodovias ou áreas perigosas tais como refinarias onde equipamento a prova de chamas e aterrado para evitar descargas de eletricidade estática é requerida).
- Onde ou o que pode afetar a queda de corpos?
- É ruído um problema?
- É necessário contenção?
- Para onde se deslocam os efluentes?

O operador do jato necessita estar concentrado no trabalho, e a área de trabalho precisa ser isolada com barreiras de tal forma que o mesmo esteja em segurança contra eventuais acidentes. As barreiras devem servir para prevenir que qualquer pessoa adentre na área de atividade e tome contato com o jato e também para proteger de queda de corpos. O perigo deve ser claramente assinalado

estabelecendo o que está ocorrendo, e deve ser fiscalizado também por outros componentes da equipe. Dois exemplos de barreiras se observam nas figuras 6 e 7 a seguir.

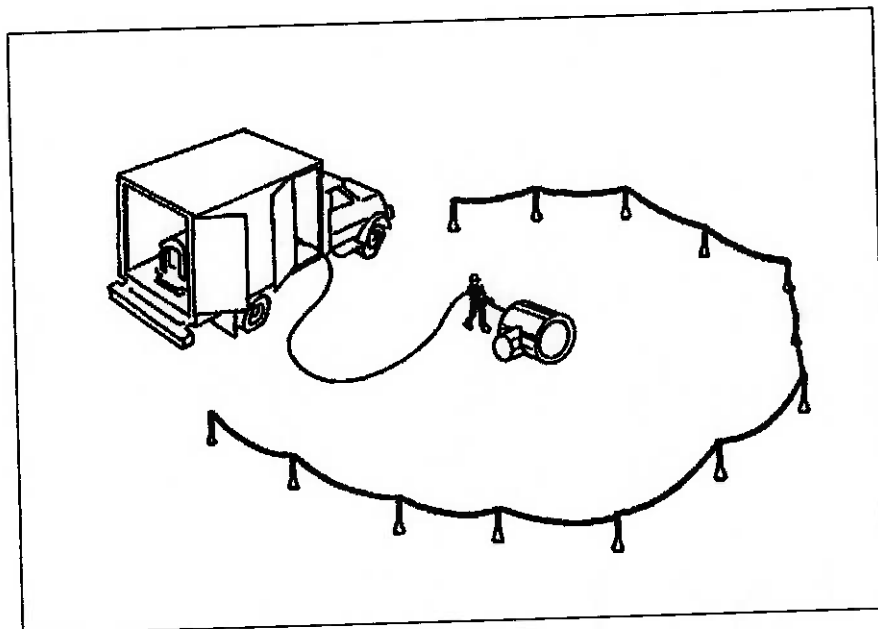


Figura 6. Barreiras abertas para isolamento da área em trabalho.  
Fonte: RECCOMENDED..., 1994

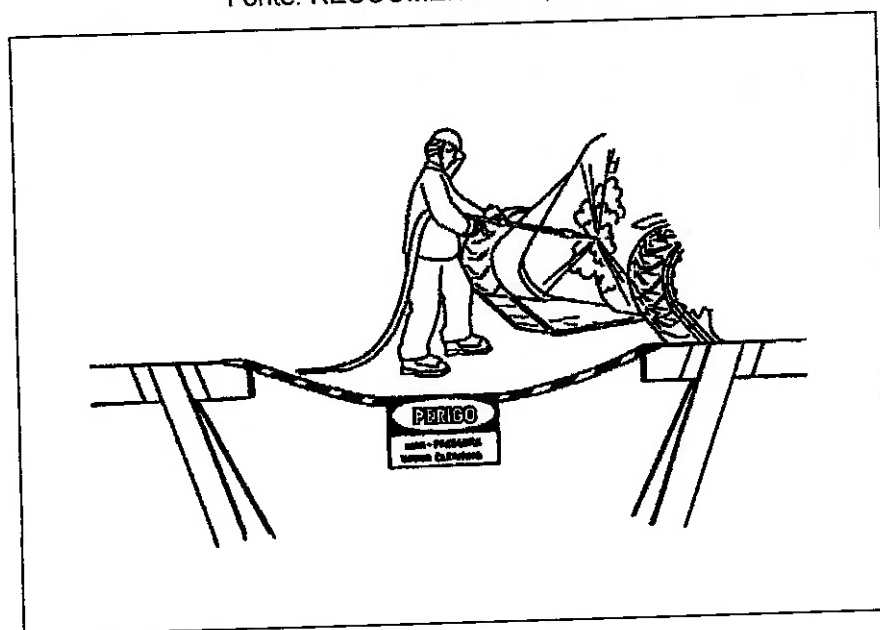


Figura 7. Barreira para delimitar área de trabalho.  
Fonte: RECCOMENDED..., 1994

Se existirem duas ou mais pessoas operando jatos com lanças/revólveres manuais, elas precisam operar numa distância segura uma da outra para não ser atingidos pelo jato de água. Em locais de superfícies externas além deste perigo, podem

existir resíduos em queda bem como borrfio de água, por isso, a pesar das barreiras podem colocar uma tela temporária na forma de parede sobre uma estrutura de quadros contendo os detritos e a água para proteger as pessoas e os equipamentos. Por exemplo, a distância segura de trabalho para funcionários que operam jatos a pressões de 68 MPa e razão de fluxo de 70 l/min é de 10 m, de tal forma que se o jato de modo accidental é dirigido a eles a energia será dissipada o suficiente antes que os atinja. Mas, com jatos de ultra alta pressão (pressões acima de 170 MPa), a razão de fluxo de água é muito reduzido e a energia é dissipada em uma distância muito mais curta, então podem trabalhar seguramente a 3 m de distância entre eles. (HENNIES, 2003)

A remoção de materiais, tais como o concreto produz um risco ao operador de ser atingido por fragmentos voadores contra os quais o seu vestuário molhado não é proteção. Será talvez impossível dar proteção a um operador de tais fragmentos voadores porque a espessura de qualquer vestimenta ou armadura de corpo acaba por atrapalhar sua habilidade de movimentos. Mas, alguma proteção pode ser obtida possuindo-se uma rede circular de proteção presa à lança a certa distância do jato (figura 8) ou com o método mais recente que consiste em ter um robô controlável. (figura 9).

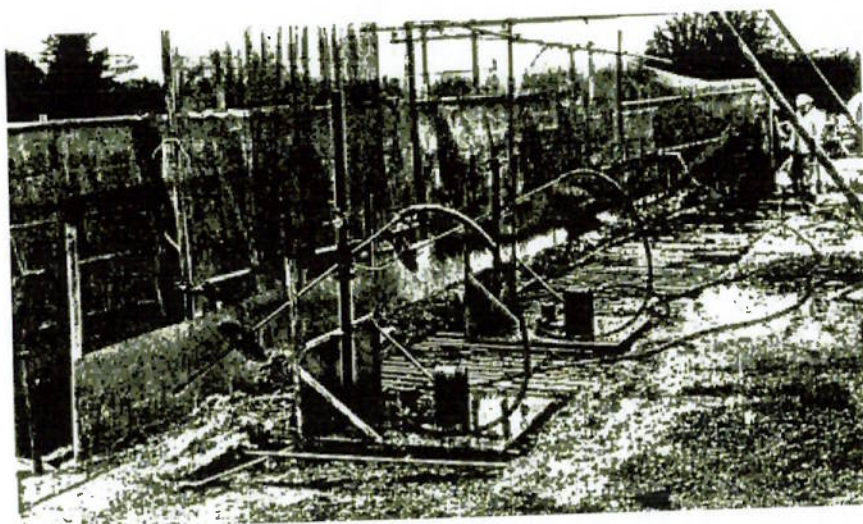


Figura 8. Lanças com controle por pedal presas em suporte com guarda de proteção na ponta e área isolada com barricada.  
Fonte: HENNIES, 2003





Figura 9. Robô de jatos de água de alta pressão em ação. Primeiro robô brasileiro para combater incêndios.

Fonte: CESAR FILHO, 2009

Também é importante que a área de trabalho esteja limpa e livre de qualquer coisa que cause tropeço ou queda. Arranjos precisam ser feitos para remover a água, de tal modo que ela não se acumule ou empoce, causando condição escorregadia para o operador.

Quanto à postura e à fadiga pelo uso dos equipamentos poderia se estabelecer que a cada hora de trabalho houvesse o revezamento obrigatório do operador independentemente do seu estado físico.

O corte com jato de água nunca deve ser realizado por alguém que haja ingerido bebidas alcoólicas, ou que este tomando medicamentos por prescrição médica que possam prejudicar seu juízo, cansado ou doente, ou sob influência de outras substâncias controladas.

#### 4.5. Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

**Normas** - Todos os trabalhadores devem seguir os regulamentos da *Occupational Health and Safety Assessment Specification* (OSHA) e da NR-6 para o equipamento de proteção individual.

**Proteção da cabeça** - Todos os operadores devem usar proteção da cabeça (Figura 10) apropriada para a atividade, neste caso devem usar o capacete de segurança para proteção contra impactos de objetos sobre o crânio. Esta proteção deve ser usada em todos os momentos, enquanto o trabalhador estiver no local de trabalho. Sempre que possível, a proteção da cabeça deve incluir uma máscara facial completa.

**Proteção dos olhos** – Os óculos de proteção devem fornecer a proteção necessária e a mais adequada à pessoa que está usando-os. Proteção para os olhos (Figura 10) deve ser fornecida e usada por todos os operadores de equipamentos de jato de água de alta pressão e para todos os visitantes das operações de jato de água, enquanto eles estão na área de trabalho (Alguns estados e países têm as suas próprias regras de proteção para os olhos, que devem ser seguidas). Todos os óculos de proteção devem satisfazer os requisitos da *American National Standards Institute* (ANSI) para esse tipo de proteção para os olhos. Em alguns casos, os líquidos em uso podem causar danos aos olhos. Nestes casos, uma combinação viseira e óculos de proteção ou uma faixa com o protetor deve ser usado. Segundo a Norma Regulamentadora - NR-6-Equipamentos de Proteção Individual (EPI) neste caso o melhor são óculos de segurança para proteção dos olhos contra impactos de partículas volantes; e óculos de segurança para proteção dos olhos contra respingos de produtos químicos.

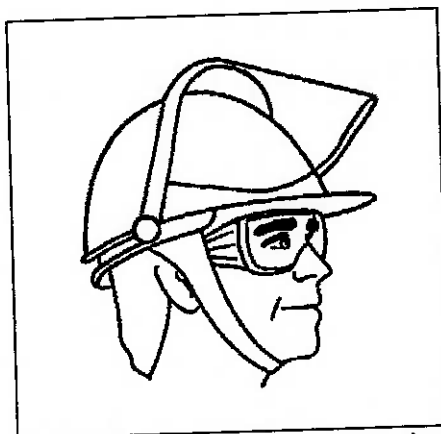


Figura 10 - Capacete com visor e óculos de proteção.  
Fonte: RECCOMENDED..., 1994

**Proteção Auditiva** - Jatos de água podem gerar um ruído considerável, tanto no ar como na água [com níveis de pressão sonora mais alta do que 90 dB (A)]. Portanto, todos os operadores e todos os visitantes devem usar protetores auriculares, enquanto estão na área de trabalho. Protetores auditivos devem ser inspecionados regularmente e devem ser devidamente mantidos. Todos os operadores e outros trabalhadores nos arredores dos equipamentos de jato de água, devem passar por um treinamento sobre como ajustar e utilizar corretamente(bem dimensionados) protetores auriculares para que a sua exposição ao ruído não ultrapasse os limites das normas.

**Proteção do corpo** – O jato de água pode penetrar as roupas de proteção contra a umidade que é utilizada pelos operadores e pode provocar lesões graves. Portanto, a roupa protetora deve ser impermeável e ter uma camada exterior que repele a água. Vestuário de proteção deverá possuir alguma proteção contra o impacto de detritos resultado do ponto de impacto do jato. Todos os trabalhadores em torno de uma operação de jato de água devem vestir roupas à prova de água. O vestuário deve cobrir completamente o operador, incluindo os braços. Roupas resistentes a líquidos químicos devem ser usadas quando há uma chance razoável de que uma lesão pode ser evitada por este equipamento.





Figura 11- Roupas à prova de água  
Fonte: RECCOMENDE..., 1994

**Proteção das mãos** - Todos os operadores devem dispor de meios adequados para proteger os seus braços e mãos, e este equipamento de proteção deve ser usado quando há uma chance razoável de que uma lesão pode ser evitada por este equipamento. A NR-6 oferece uma lista dos diferentes tipos de luvas segundo o trabalho a desempenhar, então cabe à entidade adquirir a que mais se ajuste a suas atividades.

**Proteção dos pés** - Todos os operadores e trabalhadores nas proximidades de uma operação de jateamento deveram ser fornecidos e devem vestir, botas impermeáveis, equipadas com tampas de biqueira de aço. Um protetor de metatarso também deve ser usado por operadores de ejeção da arma de jateamento.

**Proteção respiratória** - Um programa de proteção respiratória deve ser executado quando há uma chance razoável de que uma lesão pode ser evitada através de um programa deste tipo.

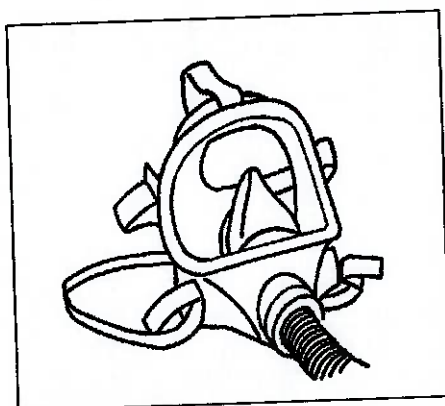


Figura 12- Máscara de adução de ar.  
Fonte: RECCOMENDED..., 1994

**Limitações do equipamento** – Os equipamentos de proteção não podem prevenir as lesões aos operadores e outros trabalhadores causado pelo impacto direto do jato de água de alta pressão ou por detritos que podem ser jogados fora com o impacto do jato.

Na figura 13 a continuação observa se um trabalhador usando os EPI.



Figura 13. Utilização de EPI para a decapagem de estrutura metálica para recuperação de pintura.  
Fonte: RODRIGUES, 2002.

#### 4.6. Outras formas de proteção para os trabalhadores

A aplicação atual de jatos de água de alta pressão envolve a seleção da pressão e também do volume de água a ser usado, isto é a razão de fluxo que pode ser de até 100 l/min. Existe um ponto onde com uma dada pressão e uma dada razão de fluxo a reação ao jato se torna impossível de segurar por qualquer pessoa. Um padrão adotado na Europa estabelece: "No caso da força de reação ser superior a 150 N na direção longitudinal do dispositivo de lançamento do jato, o mesmo deve estar equipado com um suporte para o qual a força de empuxo é completamente ou parcialmente transferida" (CEN/TC, 1991\*apud Hennies, 2003). Nesta situação, o jato tem de ser firmado a uma estrutura sólida de forma que a maior parte da força é transferida para a mesma, enquanto o jato permanece móvel sobre uma área que está sendo tratada. Esta estrutura é freqüentemente denominada de esteio e em geral é construída com retalhos de peças de aço.

Os jatos de água de alta pressão também são aplicados em superfícies internas de tubos e condutos. O desenho de jatos e bocais é numeroso e alguns dos quais tem ejeção para trás. O perigo pode estar em uma lança com um jato para trás que pode sair do tubo muito rapidamente e o operador pode ser atingido e se ferir. As lanças devem ser bem marcadas em seu comprimento por alguma cor de identificação de tal forma que o operador reconheça que se está próximo de sua ponta e pronto para desligar a pressão antes que a retire e comece a limpeza de um novo tubo. Um acidente é conhecido no qual o operador perdeu seus dedos exatamente nesta situação quando estava retirando a lança de tubos verticais acima dele.

---

\* CEN/TC. 1991. 197/SC I/WG 1 (Gentofte-5) 21 Junho de 1991, limpadores de alta pressão; máquinas de jato de água de alta pressão; requisitos de segurança.

## **4.7. Utilização de equipamentos de segurança pressurizados**

### **4.7.1. Válvulas de segurança**

Um requisito primário para toda operação de jato de água de alta pressão é a habilidade de desligar o jato de água de uma maneira segura e existem dois tipos de sistemas de válvula para desligar o jato e ambos podem ser operados por alavanca manual ou pedal. Estes dois sistemas são a válvula de pino e o método de interrupção seco.

Válvula de pino: Quando está na posição fechada ela permite a água a ser desviada para o rejeito através de um segundo orifício muito maior a uma pressão segura.

Interrupção seco: A pressão no sistema tem de ser aliviada com a ajuda de uma válvula de descarga localizada na bomba a qual deixa a água reciclar de volta ao tanque principal.

O segundo método tem a vantagem, que a água não é desperdiçada nem encharca a área de trabalho, mas a tubulação permanece sob pressão. Então, o operador precisa de uma segunda pessoa para operar as válvulas controladas por pedal e eles devem estar em contato visual durante todo o tempo.

### **4.7.2. Bombas de alta pressão**

Precisam estar previstas com medidores apropriados de pressão e com uma válvula de alívio de segurança e/ou um disco de regulagem (que alivia para um local seguro) que é uma salvaguarda para a bomba de uma sobre pressão. Devem ter boa manutenção e precisam ser regularmente testados. Todas as partes móveis devem ter proteções.

### 4.7.3. Tubulações

Na parte que liga lança/revólver à saída da bomba tem de 1 a 3 mm de diâmetro interno e precisam ser do mais alto padrão e feitas especificamente para estas aplicações; são feitas de muitas espiras de arame e envolvimento reforçado. Precisam ser inspecionadas antes do serviço para sinais do aparecimento de bolha, aspecto descascado ou quebra de arames que são as três causas mais normais de seu desgaste. Isto é mostrado na figura 14.

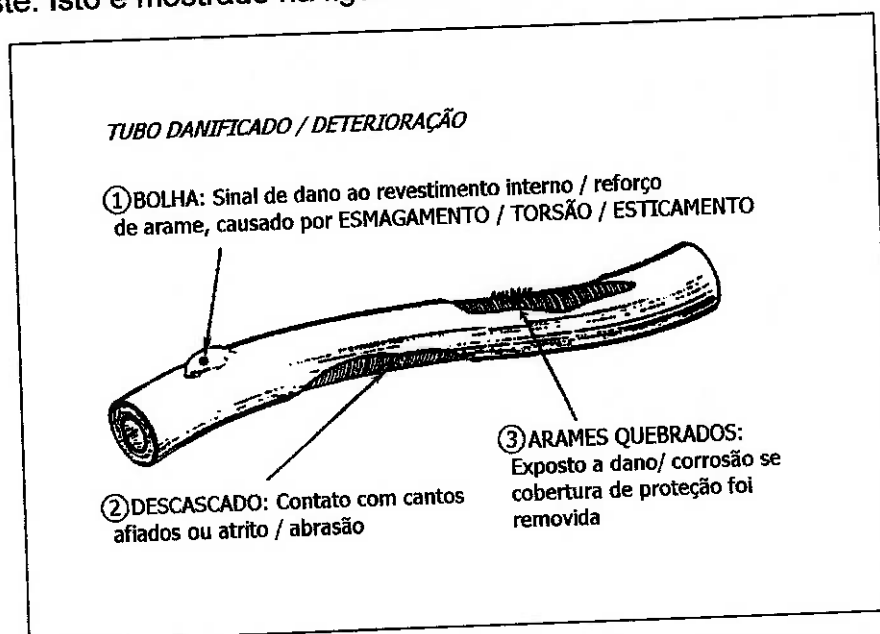


Figura 14 – Tipos de danos que tubulações de alta pressão podem sofrer.  
Fonte: HENNIES, 2003

Para reduzir o risco de desgaste e rasgo, prendedores/guardas de ligações precisam ser usadas ao redor da conexão e são às vezes chamadas de Dedos Chineses (Figura 15). Todos os encaixes ou roscas devem ser da especificação correta para suportar a pressão a que são submetidas.

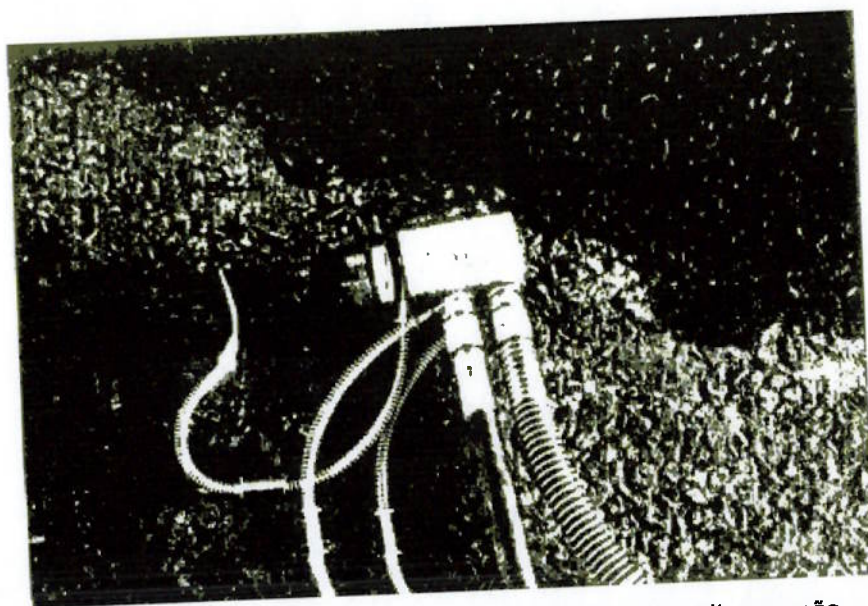


Figura 15. Dedos chineses em união de tubulação de alta pressão.  
Fonte: HENNIES, 2003

#### 4.7.4. Filtros de água

Somente água limpa deve ser usada. Para isto existem normalmente um ou dois filtros no sistema para esta finalidade. Também todas as tubulações devem ser lavadas internamente antes de o jato ser aplicado. Quaisquer vazamentos observados sob pressão de uniões etc. podem causar jatos de alta pressão secundários. Tais vazamentos devem ser imediatamente eliminados pois eles são perigos potenciais para lesão da pele ou para uma catastrófica ruptura mecânica.

#### 4.8. Treinamento

Em concordância com a legislação existente, o pessoal que opera o equipamento precisa ser treinado em todos os aspectos da aplicação, uso de equipamento e procedimentos de segurança e precauções a tomar. Existe um código de prática o qual todos os fabricantes e usuários devem cumprir, e tem também estabelecido um regime de treinamento o qual inclui uma grande porção de medidas de segurança e dispositivos de segurança de operação, este código foi estabelecido cerca de 15

anos atrás quando com o apoio da Agência de Saúde e Segurança dos EUA, as companhias de liderança se uniram para formar a Associação de Tecnologia do Jato de Água (WJTA), para manter um alto padrão uniforme de operação.

#### **4.9. Proteção da saúde e contra acidentes**

Na limpeza de drenos e esgotos, onde material patogênico pode estar presente deve ser tomado grande cuidado de desinfetar o equipamento e o vestuário de proteção após o uso. Também devem ser feitas considerações para desinfetar a água utilizada no jato com o fim de reduzir o risco de doenças tais como a leptospirose. Podem ser necessários chuveiros portáteis e um sistema de “compartimento limpo/compartimento sujo” para os trabalhadores poder comer, fumar, etc., sem risco de contrair doenças.

A lesão mais séria oriunda da operação com o jato é o contato com o jato de água em si (Neil & George, 1969\*; DeBeaux, 1980 apud Hennies, 2003). Não existe um tratamento de primeiros socorros específico para o contato com jato de água, e qualquer ferida produzida deve ser tratada de forma adequada. Entretanto, qualquer acidente precisa ser relatado ao hospital imediatamente e as circunstâncias explicadas a equipe médica mesmo se os sinais externos do ferimento forem mínimos, pois, o problema do contacto com um jato de alta pressão é parecido a um ferimento de tiro de revólver, pois uma grande parte da quantidade de energia foi dissipada na parte interna do corpo conduzindo a danos de órgãos internos, vasos sanguíneos e ossos (fraturas), entre outros. Jatos de água poluídos ou contaminados e mesmo ar podem ter sido introduzidos no corpo humano. Assim, apesar de se ver pouco externamente, pode haver sérios danos internos, e os operadores devem ser advertidos disto.

---

\* Neill, R.W. & B. George 1969. Lesões intra-abdominais penetrantes causadas por jatos de água de alta pressão. Brit. Medical J., May, 357.

## 5. CONCLUSÕES

Foram analisadas as características da tecnologia de jato de água desde suas origens até hoje. Caracterizando os principais riscos da aplicação desta tecnologia, suas causas e efeitos assim como as principais medidas de proteção.

O uso de jatos de alta pressão tem muito a oferecer pelo motivo de ser ambientalmente amigável, somente água é usada quando de outras formas se usaria produtos químicos ou ferramentas mecânicas pneumáticas. Portanto, menor dano é causado às estruturas, menor ruído é produzido, e a poeira é eliminada.

Assim, como a maioria das tecnologias tem-se que aprender a manuseá-la com segurança. Na maioria dos casos, a água é reaproveitada evitando perdas desnecessárias.

Um cartão de advertência dando informações de incidentes que podem ocorrer deve ser distribuído aos trabalhadores que operam os jatos de água.

Quando existe o perigo de emanção de fumos tóxicos, misturas ou materiais ou ainda há o risco de inalação de materiais biológicos, deve ser utilizado respirador de adução de ar.

É importante destacar que o vestuário absolutamente impermeável, não protege o operador dos jatos. A única parte que possui proteção do jato são os dedos dos pés, que estão protegidos pelas botas com biqueiras.



## 6. REFERÊNCIAS

ACCURATE WATERJET, Arizona. **The Possibilities are Endless!!!!** Disponível em: [http://www.accuratewaterjet.com/waterjet\\_technology.php](http://www.accuratewaterjet.com/waterjet_technology.php). Acesso em: 13 de nov. 2009

AFFONSO JÚNIOR, Carlos Moraes. **Acidentes de trabalho**. Jus Navigandi, Teresina, ano 4, n. 45, set. 2000. Disponível em: <http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=1211>. Acesso em: 28 jan. 2010.

ASFAHL, C. Ray. **Gestão de Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional**. Tradução de Sergio Cataldi e Vera Visockis. São Paulo: Reichman & Autores Editores, 2005.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego – TEM. Norma Regulamentadora - NR-6- Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego – TEM. Norma Regulamentadora - NR-9- Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA).

BRASIL. Ministério da Previdência e Assistência Social – MPAS, Instituto Nacional do Seguro Social - INSS e Ministério do Trabalho e Emprego – MTE. **Manual de instruções para preenchimento da Comunicação de Acidente do Trabalho – CAT. Item V. Conceito, Definições e Caracterização do Acidente do Trabalho, Prestações e Procedimentos**. Março 1999. Disponível em:

<[http://www1.previdencia.gov.br/pg\\_secundarias/paginas\\_perfis/perfil\\_empregador\\_10\\_04-a5.asp](http://www1.previdencia.gov.br/pg_secundarias/paginas_perfis/perfil_empregador_10_04-a5.asp)> Acesso em: 25 jan. 2010.  
CESAR FILHO, Mário. **Desenvolvido primeiro robô brasileiro para combater incêndios. Equipamento criado por estudante cearense reúne praticidade, eficiência e inovação tecnológica.** Instituto Ciência Hoje. Out. 2009. Disponível em: < <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/tecnologia/desenvolvido-primeiro-robo-brasileiro-para/>> Acesso em: 28 de jan. 2010.

COMO TUDO FUNCIONA? Brasil. **Como a água corta o aço?** Disponível em: < <http://ciencia.hsw.uol.com.br/questao553.htm>> . Acesso em: 22 de set. 2009.

FLOW LATINO CORPORATION, Brasil. **O jato de água.** Disponível em: <<http://www.flowlatino.com/pt/empresa.asp?id=3>>. Acesso em: 13 de nov. 2009.

HENNIES, W. **Aplicações de jato de água na engenharia.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003 Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Minas e Petróleo, PMI-5009- Aplicações de jato de água na engenharia.

KOLLURU, R. **Risk Assessment and Management: a Unified Approach.** In: Risk Assessment and Management Handbook: for Environmental, Health and Safety Professionals. Boston, Massachusetts: McGraw Hill, 1996.

MARTÍN-CORTÉS, G. R. **Metrologia de Microsuperfície na Avaliação de Qualidade do corte de Rochas com Jato Abrasivo.** 2003. Projeto de Pesquisa Apresentado e aprovado pela FAPESP.

MARTÍN-CORTÉS, G. R. **Métodos de corte de rochas com jato de água abrasivo**. Tese de Doutorado apresentada à PMI-EPUSP, São Paulo, 2003.

RADVANSKÁ, A., HLOCH, S., **Risk Analysis of abrasive waterjet technology by means of FMEA Method**. International Virtual Jornal. Bulgaria, 2007. Disponível em: <<http://www.nts-bg.tea.bg/journal/papers/38.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2009.

OHSAS 18.001 - *Occupational Health and Safety Assessment Specification*, 2007

**RECCOMENDED practice for de use of manually operated high pressure waterjetting equipment**. USA: WaterJet Technology Association, 1994.

RODRIGUES, J.M.V., **Hidrojateamento: eficiência técnica e grande risco aliados à segurança máxima**. In: 6º COTEQ CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE MATERIAIS. 22º CONBRASCORR-CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO. Salvador-Bahia, 2002. Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/sitio/biblioteca/material/PDF/COTE029.PDF>>. Acesso em: 22 set. 2009.

SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. **Human Error, Accidents, and Safety**. In: Human Factors in Engineering and Design. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1993.

## ANEXOS

### Anexo A- GLOSSÁRIO

**Nota:** Equipamentos similares são usados hoje em operações de jato d'água em muitos países. É importante considerar que, onde seja possível, sejam utilizadas as mesmas palavras para nomear as mesmas partes do sistema, os mesmos materiais e as mesmas operações.

**Abrasivo (Abrasive)**- Todas partículas sólidas, solúveis ou insolúveis em fluido portador, introduzidas num jato de água, antes de bater na superfície alvo. Frequentemente, tais partículas são usadas para aumentar a efetividade de jatos de água puros em algumas aplicações. Podem ser usados abrasivos para limpar superfícies por pintar, ou também para cortar materiais.

**Jato abrasivo (Abrasive Jet)** - Jato de água no qual são introduzidas partículas sólidas no fluxo antes do jato bater no alvo. Tais partículas abrasivas podem ser introduzidas de três modos: abrasivo entrante, abrasivo externo, e polpa de abrasivo.

**Jato abrasivo externo (External Abrasive)** - As partículas são somadas ao jato de água depois que deixa o orifício final.

**Jato de polpa abrasiva (Slurry Abrasive)** - As partículas são somadas à água antes dela ser acelerada pelo orifício da jóia.

**Dispositivos automáticos de alívio de pressão (Automatic Pressure Relief Devices)** - Dispositivos incluídos no sistema de jato de água de alta pressão para prover uma via de limitar a pressão do sistema automaticamente. Estes podem ser:

- a) Válvulas de regulação automática da pressão ("Automatic Pressure Regulating Valves")
- b) Discos de ruptura / explosão, quando montados em um suporte apropriado. ("Bursting and rupture discs, when set in a proper holder")
- c) Válvulas de desvio ("Bypass Valves")
- d) Válvulas de alívio de pressão ("Pressure Relief Valves")

**Coletor (Catcher)** - Quando um jato de água puro ou abrasivo é usado numa operação de corte, um dispositivo pode ser colocado no lado oposto do alvo de corte para coletar o jato remanescente, abrasivo, e partículas de material. O coletor é

provido com um tubo de resíduos que leva este material fora da área.

**Bocal de colimação** (Collimating Nozzle) – Bocal secundário, de carbeto de tungstênio, colocado abaixo da câmara de mistura para focar o fluxo de alta pressão do jato de água e abrasivo em sistemas de jato de água convencionais de mistura de abrasivos. (Fig. A-1).

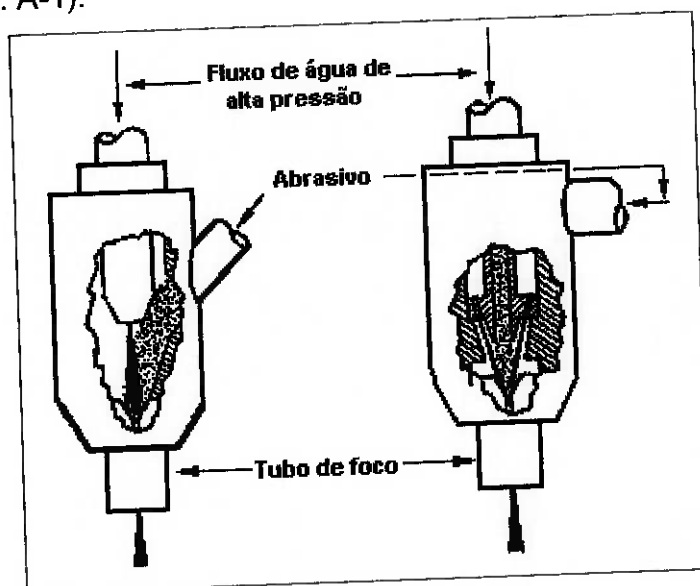


Fig. A-1

**Válvula de controle de ação seca** (Dry Shutoff Control Valve) - Válvula controlada manualmente pelo operador da lança ou do bocal para iniciar e parar o fluxo de água do bocal. Apesar do fechamento desta válvula parar o fluxo de água ao bocal, ela mantém a pressão de trabalho na linha de suprimento ao sistema. Quando esta válvula é usada o sistema deve também estar dotado com uma válvula de regulação automática de pressão para assegurar que a pressão de trabalho não seja excedida. Quando esta válvula é usada o operador deverá se preocupar com aliviar a pressão nas linhas de suprimento de água depois da bomba ser fechada. Isto é, assegurar que o sistema não é deixado sob pressão. Esta válvula também pode ser operada por um circuito de força anexo ao sistema de jato de água de alta pressão.

**Pistola de gatilho duplo** (Double Trigger Gun)- Pistola de jato de água com dois gatilhos que requerem ser ativados, um com cada mão, pelo operador, para gerar um jato de água de alta pressão.

**Acoplamentos terminais e uniões** (End Fittings and Couplings) – Acoplamentos terminais e uniões de tubulações de alta pressão devem ser fabricadas para serem compatíveis com as tubulações e devem ser testadas como uma unidade.

**Filtro ou coador** (Filter or Strainer) – O sistema de água deve estar equipado com

filtro ou coador para evitar que partículas estranhas limitem o fluxo nos orifícios do bocal ou cause danos aos selos da bomba, etc. O coador ou o filtro deve ser capaz de remover partículas menores que metade do diâmetro da menor abertura. Filtros de dimensões menores são fortemente recomendados, visto que a bomba e outros componentes do sistema irão durar muito mais tempo.

**Válvula de controle por pedal** (Foot-controlled Valves) – Válvula de controle projetada de tal forma que o operador a possa acionar com o pé (Fig. A-2). Isto permite ao operador usar ambas mãos para segurar e mover a lança e/ou conjunto do bocal.



Fig. A-2

Quando uma válvula de pé é usada, ela precisa ser colocada num suporte que proteja a válvula de ser operada acidentalmente e deve ser suficientemente robusta de tal modo que não se mova acidentalmente ou vire quando for usada.

**Mangueira de alta pressão** (High Pressure Hose) – Uma tubulação flexível que pode ser usada para levar água e/ou outros fluidos de uma parte do sistema de jato de água de alta pressão para outra. A mesma deverá resistir, como mínimo, 2,5 vezes a pressão de trabalho projetada e certificada pelo fabricante. A mangueira deverá se testar numa pressão 1,5 vez a de trabalho.

Nota: A mangueira não devese usar-se a pressão acima da recomendada pelo fabricante como pressão de trabalho.

**Mangueiras termoplásticas** (Thermoplastic Hoses) – Como mangueiras termoplásticas podem falhar e criar um furo muito pequeno que é um jato perigoso formado, este tipo de mangueira não deve ser usada com jato de água a não ser que tenha sido apropriadamente projetado para uso na operação com jatos de água.

**Sistemas de jato de água de alta pressão** (High Pressure Waterjet Systems) – Sistemas de jato de água de alta pressão são sistemas de fornecimento de água que tem bocais cuja função é aumentar a velocidade de líquidos. Partículas sólidas

ou substâncias químicas podem também ser introduzida, mas a saída em todos os casos será um feixe livre.

Segundo as práticas recomendadas pela Waterjet Technological Association, o sistema deve incluir a bomba (dispositivo produtor da pressão do fluxo), tubulações, lanças, bocais, válvulas, dispositivos de segurança, e anexados sistemas de aquecimento ou sistemas de injeção. Jatos de água de alta pressão são usados em varias faixas de pressão. As seguintes divisões são feitas para esclarecer estas faixas:

**Limpeza com água em alta pressão** (High Pressure Water Cleaning) – Usa água em alta pressão, com ou sem adição de outros líquidos ou partículas sólidas, para remover materiais indesejáveis de varias superfícies, e onde a pressão da bomba se encontra entre 34 MPa e 204,1 MPa.

**Corte com água em alta pressão** (High Pressure Water Cutting) – Usa água em alta pressão, com ou sem adição de outros líquidos ou partículas sólidas, para penetrar dentro de superfícies de materiais com o propósito de corta-lo, e onde a pressão da bomba se encontra entre 34 MPa e 204,1 MPa.

**Limpeza de pressão** (Pressure Cleaning) – Usa água pressurizada, com ou sem adição de outros líquidos ou partículas sólidas, para remover materiais indesejáveis de varias superfícies, e onde a pressão da bomba e menor que 34 MPa.

**Corte de pressão** (Pressure Cutting) – Usa água pressurizada, com ou sem adição de outros líquidos ou partículas sólidas, para penetrar na superfície de um material com o propósito de corta-lo, e onde a pressão da bomba é menor que 34 Mpa.

**Limpeza com água a ultra-alta pressão** (Ultra High Pressure Water Cleaning) – Usa água em alta pressão, com ou sem adição de outros líquidos ou partículas sólidas, para remover materiais indesejáveis de diferentes superfícies, e onde a pressão da bomba excede 204,1 MPa.

**Corte com água de ultra – alta pressão** (Ultra High Pressure Water Cutting) - Usa água em alta pressão, com ou sem adição de outros líquidos ou partículas sólidas, para penetrar dentro da superfície de um material com o propósito de corta-lo, e onde a pressão da bomba excede 204,1 MPa.

**Conjunto de tubulação** (Hose Assembly) – A tubulação com uma adequada conexão final, em cada extremidade do tubo, de acordo com as especificações do fabricante.

**Pistola de jateamento** (Jetting Gun) – Dispositivo operado manualmente usado freqüentemente com jatos de água manuais (Fig. A-3). Normalmente ligada ao sistema de alta pressão pelo conjunto da tubulação de alta pressão. A pistola é constituída de válvula de controle, montada no interior de uma proteção, uma seção de lança, e então o conjunto do bocal, que pode incluir um ou mais bocais. A pistola pode ainda incluir um suporte de braço e protetor de ombro e/ou um ou mais suportes de mão.

A pistola pode ser definida ulteriormente pelo tipo de válvula de controle que é usada para aliviar a pressão. Quando a pressão é descarregada na atmosfera quando a válvula é aliviada, então a pistola é de descarga, quando a pressão é retida no sistema, pelo uso de uma válvula de controle de ação seca, então a pistola é uma pistola de controle de ação seca.

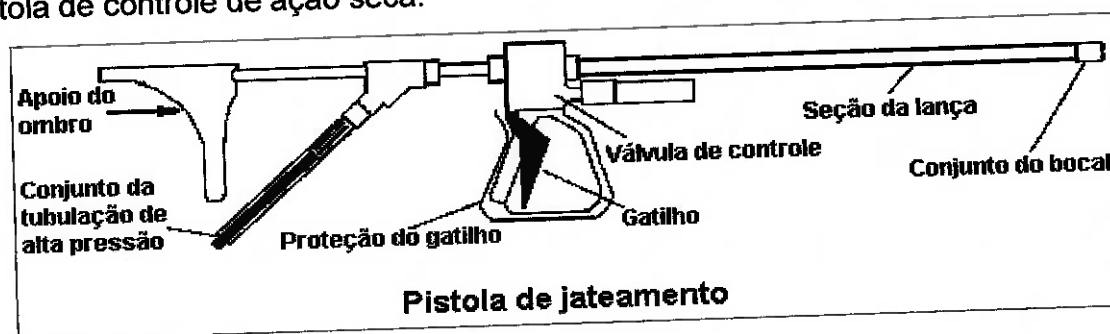


Fig. A-3

**Desentupidora** (Moleing) - Uma aplicação na qual uma mangueira provida de um bocal é inserindo em, e retraído do, interior de um tubo. É um sistema comumente usado com um bocal autopropelido para limpar as superfícies internas de canos ou drenos (Fig. A-4) As desentupidoras podem ser autopropulsionadas pelos seus jatos direcionados para trás ou podem ser fabricados para terem varias formas, dimensões e combinações de jatos dirigidos para frente e para trás. A desentupidora deve incluir, diretamente atrás do conjunto do bocal, uma seção de tubulação rígida ou tubulação suficientemente longa que previne a desentupidora dos giros em volta do tubo.



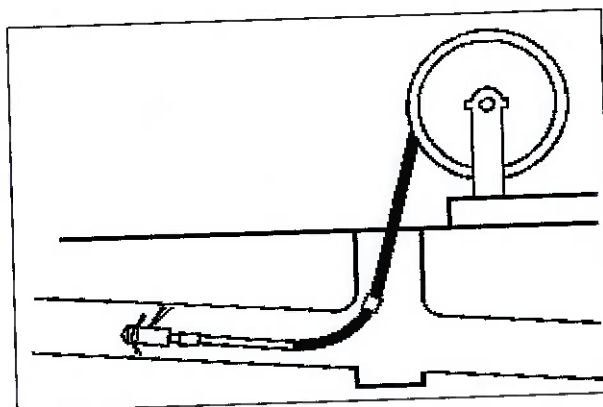


Fig. A-4

**Bocal (Nozzle)** – Dispositivo com um ou mais orifícios pelos que descarrega a água do sistema. O bocal restringe a área de fluxo do fluido, acelerando a água até a velocidade requerida e conformando a mesma aos padrões de fluxo requeridos. Comumente, os bocais são também referidos como coroa, ponta, ponta de corte, ou orifícios. O bocal pode ser definido pelo tipo de jato que gera.

**Operador (Operator)** – Pessoa treinada e com conhecimentos demonstrados, habilidade e experiência para montar, operar, e manter o sistema de jato de água.

**Intensificador de pressão (Pressure Intensifier)** – A bomba que intensifica a pressão da água fornecida, usando a redução da área de um pistão comum para multiplicar a pressão de fluido motriz, o qual usualmente é óleo.

**Bomba de pressão (Pressure Pump)** – A bomba que acrescenta a pressão da água entregue a ela e que ela envia a conexão múltipla comum, na qual estão fixados mangueiras flexíveis, ou tubos rígidos conectados a lanças com bocais anexados. Esta bomba pode ser móvel ou de montagem permanente, e freqüentemente tem êmbolo mergulhador positivo que prove um fluxo constante de água a uma velocidade de rotação dada. A bomba deveser possuir uma chapa permanente com a informação seguinte:

- (a) Nome do fabricante;
- (b) Modelo, número de serie, e ano de fabricação;
- (c) Desempenho máximo em galões ou litros por minuto e pressão em bar ou psi; e
- (d) Esboço dos procedimentos de segurança recomendados.

**Jato de água pulsante (Pulsating Waterjet)** – Jato que consiste em balas ou pulsos individuais de água ou líquidos.

**Suporte manual (Support Handle)** – Manipulador adicional que pode ser anexado à pistola de jato para prover um suporte adicional al operador ao dirigir a pistola. O

manipulador adicional pode ser fixado com um interruptor para funções adicionais de controle.

**Jato de água (Waterjet)** – Fluxo ou feixe de água que se movimenta rapidamente, de diferentes formas e tipos que saem dum orifício de bocal. A velocidade do jato depende da pressão que suporta a gota ao atravessar pelo orifício de bocal.

**Cabo antichicoteio (Whip Lock)** - Peça curta de arame ou cabo enlaçado na conexão entre duas mangueiras conectadas por uma junção. O cabo antichicoteio é projetado para estabelecer uma fechadura de segurança que evite o chicoteio das mangueiras em caso de fraturas da junção.

**Área de trabalho (Working Area)** – A área entre as paredes ou barreiras da mesa XY, onde aparece o alerta ou restringe o acesso, na qual são efetuados trabalhos com jatos de água.

**Pressão de trabalho (Working Pressure)** – A máxima pressão recomendada pelo fabricante, à qual deverão ser usados os componentes. A pressão de trabalho não deverá exceder a quarenta por cento (40%) da pressão de ruptura dos componentes. Às vezes esta pressão é referida como pressão de operação. O sistema não deve ser operado a pressões inferiores às pressões de trabalho mínimas de qualquer dos componentes do mesmo.