

## Reutilización de efluentes en la fabricación de bloques de concreto para albañilería

A. Plaza Meurer<sup>1</sup> , R. Alves Amorim<sup>1</sup> , L. Carvalho Quintanilha<sup>1</sup> , D. Cardoso Parente<sup>\*1,2</sup> 

\* Autor de Contacto: [denisparente@yahoo.com.br](mailto:denisparente@yahoo.com.br)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.278>

Recepción: 26/10/2017 | Aceptación: 29/05/2018 | Publicación: 30/04/2019

Editor Asociado Responsable: Dr. Paulo Helene

### RESUMEN

En este trabajo se evalúa la utilización del agua de reutilización proveniente de estaciones de tratamiento de aguas residuales en la fabricación de bloques huecos de concreto simple. El uso de esos bloques ha sido adoptado como opción de racionalización de la composición de la albañilería para mampostería tradicional y estructural, por permitir reducción de pérdidas de materiales y capas de revestimiento. Fabricados a partir de la mezcla de aglomerante, agregado y agua, en promedio 60 m<sup>3</sup> de concreto, necesarios para la producción de 12.350 bloques (14 x 19 x 39 cm), consumiría 4.500 l de agua. El estudio comprende el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques dosificados con el efluente y los resultados muestran que esas propiedades permanecen inalteradas, lo que puede viabilizar la utilización del efluente.

**Palabras clave:** reutilización del agua; bloque de concreto; aguas residuales tratadas.

**Citar como:** Plaza Meurer, A., Alves Amorim, R., Carvalho Quintanilha, L., Cardoso Parente, D. (2019), " *Reutilización de efluentes en la fabricación de bloques de concreto para albañilería*", Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 215 – 227, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.278>

<sup>1</sup> Universidad Federal do Tocantins - UFT, Brasil.

<sup>2</sup> Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP/ULBRA, Brasil.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2020 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2019.

## Effluent reuse in the manufacture of concrete blocks for sealing masonry

### ABSTRACT

This work seeks to assess the use of reuse water from sewage treatment stations in the manufacture of simple concrete hollow blocks. The use of these blocks has been adopted as a rationalization option in the composition of the sealing and structural masonry, providing a reduction in the losses of materials and layers of coating. Made from the mixture of agglomerate, aggregate and water, around 60 m<sup>3</sup> of concrete, required for the production of 12,350 blocks (14 x 19 x 39 cm), would consume 4, 500 l of water. The study includes the analysis of the physical and mechanical properties of effluent dosed blocks. Consequently, the results show that these properties remain unchanged, which can make the effluent use viable.

**Keywords:** Reusing water; concrete block; treated effluent.

### Reuso de efluentes na fabricação de blocos de concreto para alvenaria de vedação

### RESUMO

Este trabalho busca avaliar a utilização da água de reuso proveniente de estações de tratamento de esgoto na fabricação de blocos vazados de concreto simples. O uso desses blocos tem sido adotado como opção de racionalização na composição da alvenaria de vedação e estrutural, por permitir redução nas perdas de materiais e camadas de revestimento. Fabricados a partir da mistura de aglomerante, agregado e água, em média 60 m<sup>3</sup> de concreto, necessários para produção de 12.350 blocos (14 x 19 x 39 cm), consumiria 4.500 l de água. O estudo compreende a análise das propriedades físicas e mecânicas dos blocos dosados com efluente e os resultados mostram que essas propriedades permanecem inalteradas, o que pode viabilizar a utilização do efluente.

**Palavras chave:** água de reuso; bloco de concreto; efluente tratado.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según Visvanathan y Asano (2001), el desarrollo industrial descontrolado provocó el agotamiento y la contaminación de los recursos hídricos, haciendo necesario reglamentaciones cada vez más rigurosas que obliguen a las industrias a reducir el consumo de agua potable. El autor además afirma que los avances tecnológicos permiten el tratamiento de aguas residuales para una diversidad de reutilizaciones industriales.

Otro punto relevante es la reutilización del agua, que se presenta como una de las soluciones para enfrentar la crisis hídrica. Según datos del World Bank (2015), aproximadamente 90% del agua residual de países en desarrollo tiene su disposición final en el medio ambiente sin ningún tratamiento. El Banco Mundial aún destaca que en América Latina cerca de tres cuartos del agua contaminada con coliformes fecales, regresan al cuerpo de agua, provocando graves problemas de salud pública y para el medio ambiente.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo es evaluar y comparar las propiedades físico-mecánicas de bloques de concreto confeccionados con agua potable y bloques fabricados por con agua del efluente doméstico tratado por la ETE Vila União, localizada en Palmas - TO.

## 2. BLOQUE HUECO DE CONCRETO

La Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) define bloque hueco de concreto simple como “componente para la ejecución de albañilería, con o sin función estructural, hueco en las caras superior e inferior, cuya área líquida es igual ó inferior a 75% del área bruta” (ABNT NBR 6136:2014, p. 1).

En la producción de bloques de concreto es utilizado el concreto seco, también conocido como concreto sin asentar (MARCHIONI, 2012). Este concreto se diferencia del concreto convencional (plástico) en determinadas propiedades como: consumo de cemento, granulometría de las mezclas y trabal habilidad. La resistencia de los concretos secos no sigue al pie de la letra la Ley de Abrams, aplicado a los concretos plásticos. (FRASSON JR. e PRUDENCIO JR., 2002).

Entre las ventajas del uso de bloques huecos están el menor consumo de mortero en la ejecución de la albañilería; la posibilidad de ser llenados con barras de acero y lechada llegando a la capacidad de soportar cargas estructurales; y la utilización de sus cavidades para el paso de instalaciones eléctricas y sanitarias, que evita el corte en la albañilería, factor que contribuye para la reducción de residuos y para el aumento de la productividad.

Por tener tolerancias dimensionales muy bajas, generan una reducción en la aplicación del revestimiento en relación con el bloque cerámico (SANTOS, 2016). El bloque de concreto por presentar mayor adherencia, en relación con el bloque cerámico, exige menos revestimiento. Otra ventaja es en relación con la pérdida de material, teniendo en cuenta que los bloques de concreto no se quiebran tanto como los cerámicos (HOMETEKA, 2016).

## 3. PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de esa investigación fueron fabricados bloques de concreto con efluente tratado, tomado en el de julio de 2016, proveniente de la ETE Vila União, localizada en Palmas – Tocantins.

### 3.1. Recolección del efluente tratado

La recolección del efluente para el análisis químico fue realizada en el ETE Vila União, donde el tratamiento es realizado por reactores de flujo ascendente (UASB), lagos de lodo activado y decantadores. La recolección manual fue realizada con el dispositivo medidor de flujo enviado del efluente tratado de la estación.

El procedimiento referente al muestreo en aguas superficiales y recolección manual fue realizado según especificaciones de la NBR 9898:1987 y de la Guía Nacional de Recolección y Conservación de Muestras (2011) de la CETESB.

### 3.2. Análisis del efluente tratado

Los ensayos para evaluar el agua de reutilización fueron divididos en las siguientes etapas: evaluación preliminar, análisis químico, tiempo de pega de la pasta y resistencia a la compresión del mortero.

La etapa de evaluación preliminar estaba comprendida en la realización de los siguientes ensayos especificados en la Tabla 1, realizados en el Laboratorio de Química General de la Universidad Federal de Tocantins – UFT.

Tabla 1. Evaluación preliminar

Parámetro	Norma
Aceites y grasas	ABNT NBR 15900-3
Detergentes	
Cor	
Material sólido	
Olor	
Ácidos	
Materia orgánica	

As análisis químicas fueron realizadas pelo laboratorio MICROLAB Ambiental de Goiania – GO e contemplaran os ensayos y normas especificados en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis químico

Ensayo	Norma
Cloruros	ABNT NBR 15900-6
Sulfatos	ABNT NBR 15900-7
Álcalis	ABNT NBR 15900-9
Fosfatos	ABNT NBR 15900-8
Nitratos	ABNT NBR 15900-10
Azufre	ABNT NBR 15900-5
Zinc	ABNT NBR 15900-4

Según procedimientos de la NBR NM 45 y NBR NM 65 fueron realizados ensayos para la determinación de los tiempos de inicio y fin de pega de la pasta de cemento con efluente tratado. La norma de agua para mezclado de concreto (NBR 15900) indica que los tiempos de inicio y fin de pega de la pasta, en las muestras de pasta preparada con el agua en estudio, no deben diferir en más de 25% de los tiempos de inicio y final obtenidos con muestras preparadas con agua destilada. Los ensayos de resistencia a compresión fueron realizados a los 7 y 28 días de curado de las probetas de mortero, según los procedimientos de la NBR 7215. Según NBR 15900, la resistencia promedio, para las dos edades, debe llegar al menos a 90% de la resistencia a la compresión promedio de probetas preparadas con agua potable.

### 3.3. Fabricación de los bloques

La siguiente etapa fue la fabricación de los bloques huecos de concreto para albañilería de mampostería utilizando efluente tratado y agua potable. La Tabla 3 presenta la dosis utilizada en la fabricación de bloques.

Tabla 3. Dosis de concreto para la fabricación de los bloques

Dosis en peso (cem. : agregado : agua)	Material	Unidad	Cantidad
1 : 9,250 : 0,325	Cemento	Kg	40
	Agregado	Kg	370
	Agua	L	13

Para la fabricación de los bloques, se utilizó cemento CP II Z 32, fabricante CIPLAN, proveniente del mercado local (Palmas-TO). Los materiales utilizados en la mezcla del concreto con agua potable resultaron en un volumen de 0,17 m<sup>3</sup> de concreto y la producción de aproximadamente 35

bloques. El mismo volumen de concreto con el efluente tratado fue producido, resultando en aproximadamente 35 bloques.

### 3.4. Ensayos para bloques

Fueron realizados los ensayos de análisis dimensional, absorción y área líquida en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Federal de Tocantins. Y el ensayo de resistencia a la compresión de bloques y prismas en el Laboratorio de Ingeniería Civil del Centro Universitario Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA – TO). Los procedimientos siguieron las normas NBR 6136 y NBR 12118.

El ensayo de resistencia a la compresión de prismas fue realizado según procedimientos de la norma NBR 15961. Según el referido procedimiento fueron adoptados prismas de dos bloques como uno de los elementos que pueden ser utilizados para estimar la resistencia a la compresión de paredes de albañilería estructural. A pesar de los bloques ser para albañilería de mampostería se realizó el ensayo de resistencia a la compresión de prismas con dos bloques para obtener una mejor explicación para la transmisión de cargas de un bloque para otro.

La tabla 04 presenta la dosis en volumen y la relación agua/cemento del mortero utilizado para asentar los bloques en el montaje del prisma.

Tabla 4. Dosis en volumen del mortero

Dosis en volumen (cem. : arena)	Relación agua/cemento
1 : 0,5	1,4

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Evaluación preliminar del efluente

Luego de la recolección del efluente, fue realizada la evaluación preliminar del mismo con relación a los parámetros aceites, grasas, detergentes, color, material sólido, olor, ácidos y materia orgánica, de acuerdo con las recomendaciones normativas de la NBR 15900-1:2009. En esa evaluación los ensayos fueron hechos a partir de análisis cualitativos, con excepción del ensayo de material sólido que fue cuantificado el contenido presente en la muestra. En la Tabla 5 serán presentados los resultados obtenidos.

Tabla 5. Resultados da evaluación preliminar del efluente

Parámetro	Resultado	Requisito
Aceites y grasas	Sin dosis visibles	No más que la dosis visible
Detergentes	Presencia de espuma	Cualquier espuma debe desaparecer en 2 min
Color	Amarillo claro	El color debe ser comparado cualitativamente con agua potable debiendo ser amarillo claro o incoloro
Material sólido	391 mg/L	Máximo de 50.000 mg/L
Olor	Inodora y sin olor de sulfuro de hidrógeno posterior a la adición de ácido clorhídrico	Agua debe ser inodora y sin olor de sulfuro de hidrógeno, posterior a la adición de ácido clorhídrico
Ácidos	pH 8	pH ≥ 5
Materia orgánica	Solución de la muestra más clara que la solución-patrón	El color del agua debe ser más clara o igual a la solución-patrón, luego de la adición de NaOH

A pesar de que el agua de reutilización proveniente, de ETE no atender al parámetro “ausencia de espuma”, será permitido el uso del efluente tratado como agua de mezclado desde que sean atendidos los criterios sobre tiempo de pega y resistencia a la compresión presentados en el ítem 4.4 de la NBR 15900-1:2009.

Sobre los resultados presentados en la Tabla 5, el pH del efluente tratado presentó un resultado dentro de lo permitido y tenía coloración amarillo claro. Además de esto, el efluente en la prueba de olor presentó resultado inoloro y sin el olor de sulfuro de hidrógeno luego de la adición de ácido clorhídrico.

En relación con el parámetro “aceites y grasas” no fueron encontrados dosis visibles. También a través del análisis visual, en el parámetro “materia orgánica”, la solución de la muestra fue más clara que la solución-patrón. Y el contenido de material sólido fue inferior al contenido máximo.

#### 4.2. Análisis químico del efluente

Ensayado químicamente, según las recomendaciones normativas presentadas en la Tabla 6, a fin de identificar la presencia o no de sustancias deletéreas al concreto, están cuantificados los contenidos de cloruros, sulfatos, álcalis, fosfatos, nitratos, azufre y zinc.

Tabla 6. Resultados del análisis químico

Sustancia	Contenido (mg/L)	Contenido máximo (mg/L)	Uso final	Método
Cloruros	75	500	Concreto pretensado o lechada	ABNT NBR 15900-6
		1.000	Concreto armado	
		4.500	Concreto simple (sin armadura)	
Sulfatos	64	2.000	-	ABNT NBR 15900-7
Álcalis	295	1.500		ABNT NBR 15900-9
Fosfatos	6,036	100		ABNT NBR 15900-8
Nitratos	0,02	500		ABNT NBR 15900-10
Azufre	<0.01	100		ABNT NBR 15900-5
Zinc	0,081	100		ABNT NBR 15900-4

Algunas sustancias, tomadas para Battagin (2010) como alteradoras de la resistencia a compresión y del tiempo de pega, fueron encontradas en niveles mínimos en la muestra de efluente. Para el autor nitratos de zinc, azufre y manganeso retardan la pega, mientras que nitratos de cromo promueven su aceleración. Al contrario, los fosfatos y boratos de azufre y zinc reducen la tasa de hidratación, prolongan el tiempo de pega y acortan la evolución de la resistencia inicial.

#### 4.3. Tiempo de pega

Todavía en los ensayos previstos para agua de mezclado, fue realizado el ensayo de tiempo de pega, de acuerdo con la NBR 15900-1:2009. Según los criterios de la norma fue evaluada la aprobación o no del agua de reúso como insumo para la fabricación de los bloques. En la Figura 1 son presentados los tiempos de inicio y fin de pega de la pasta con agua destilada y con el efluente tratado.

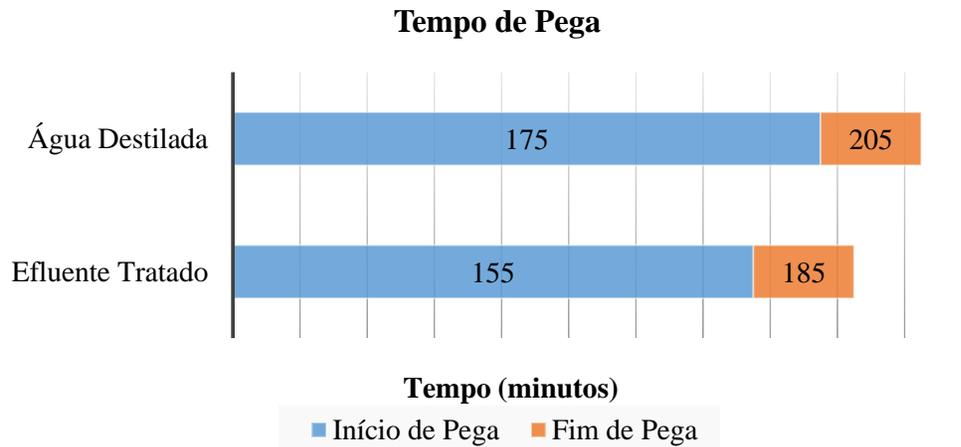


Figura 1. Resultados referentes a los tiempos de inicio y fin de pega

Se aprecia que los tiempos de inicio y fin de pega de las muestras de pasta preparadas con efluente tratado, no divergen en más de 25% de las producidas con agua destilada, atendiendo a lo exigido por la NBR 15900-1:2009. El efluente difiere en 11,43% para el inicio de pega, y 9,76% para el fin de pega.

#### 4.4. Resistencia a la compresión

En el ensayo de resistencia a la compresión axial del mortero fueron utilizadas 4 probetas de prueba de cada muestra a los 7 y 28 días de edad, en un total de 16 probetas de prueba Ensayados. Los resultados son presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Resistencia a la compresión de la probeta de mortero

<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Agua destilada</b>		<b>Efluente Tratado</b>	
	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
1	18,90	24,69	16,68	24,04
2	15,65	21,82	19,87	19,49
3	19,00	24,69	17,00	22,20
4	19,17	26,26	16,79	22,74
<b>Promedio</b>	<b>18,18</b>	<b>24,37</b>	<b>17,59</b>	<b>22,12</b>
<b>D.P.</b>	<b>1,69</b>	<b>1,85</b>	<b>1,53</b>	<b>1,91</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>9,30%</b>	<b>7,60%</b>	<b>8,70%</b>	<b>8,66%</b>

La resistencia promedio a la compresión de las probetas de mortero con efluente tratado, a los 7 días y 28 días, alcanzó más de 90% de la resistencia a la compresión promedio de las probetas preparadas con agua destilada, atendiendo a lo exigido por la NBR 15900-1:2009. A los 7 días se llegó al 96,75%, y a los 28 días se llegó 90,77%.

Por medio de la hipótesis “t” de Student, se comprobó que la resistencia promedio del mortero con agua destilada y del mortero con efluente tratado tuvieron entre sí, valores significativamente semejantes, para un nivel de confianza de 95%.

#### 4.5. Absorción y área líquida de los bloques

Fueron utilizados tres bloques para cada muestra (Bloque A y B). El resultado de la determinación de la absorción y área líquida de los bloques convencionales pueden ser visualizados en la Tabla 8.

Tabla 8. Determinación de la absorción y área líquida de los bloques convencionales

Probeta	Absorción		Área líquida	
	Individual (%)	Promedio (%)	Individual (mm <sup>2</sup> )	Promedio (mm <sup>2</sup> )
1	10,71%	10,50%	25.000,00	25.000,00
2	10,26%		24.736,84	
3	10,53%		25.263,16	

La Tabla 9 muestra los resultados de la determinación de la absorción y área líquida de los bloques con efluente tratado.

Tabla 9. Determinación de la absorción y área líquida de los bloques con efluente tratado

Probeta	Absorción		Área líquida	
	Individual	Promedio	Individual (mm <sup>2</sup> )	Promedio (mm <sup>2</sup> )
1	10,48%	10,66%	26.052,63	25.789,47
2	10,68%		25.789,47	
3	10,84%		25.526,32	

El requisito de la NBR 6136:2014 para el ensayo de absorción en bloques, con uso de agregado normal, y de absorción individual menor o igual a 12% y absorción promedio menor o igual a 10%. Los resultados muestran que ambas muestras de bloques presentaron absorción promedio superior al límite máximo a los 28 días de curado. Para Fernandes (2012), un bloque producido con cantidad de agua insuficiente para la perfecta compactación o producido con composición granulométrica muy gruesa generalmente presenta una superficie porosa, sujeta a absorber agua con facilidad. En vista que la distribución granulométrica utilizada para la confección de los bloques permite un buen acabado de las piezas, se cree que probablemente la cantidad de agua adicionada en la mezcla no fue suficiente para producir piezas con poca porosidad, mediante el grado de compactación utilizado. El alto contenido de materiales pulverizados puede haber aumentado el consumo de agua debido a la alta superficie específica de finos.

#### 4.6. Ensayo de resistencia a la compresión de los bloques

Para el ensayo de resistencia a la compresión axial, fueron utilizados 6 bloques de cada muestra (convencional y efluente tratado) a los 14 y 28 días de edad, en un total de 24 bloques Ensayados. Los resultados son presentados en la Tabla 10, y muestran el comparativo entre las resistencias promedios de las muestras.

Tabla 10. Resultado de la resistencia a la compresión

<b>Resistencia a la compresión (MPa)</b>				
<b>Bloque</b>	<b>Convencional</b>		<b>Efluente Tratado</b>	
	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
1	2,28	3,16	3,61	3,58
2	1,87	3,43	3,04	5,03
3	2,03	3,26	3,11	4,20
4	2,53	3,17	3,00	3,53
5	2,43	3,09	4,96	3,54
6	2,40	3,09	2,05	4,80
<b>Promedio</b>	<b>2,26</b>	<b>3,20</b>	<b>3,29</b>	<b>4,11</b>
<b>D.P.</b>	<b>0,26</b>	<b>0,13</b>	<b>0,96</b>	<b>0,67</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>11,30%</b>	<b>4,05%</b>	<b>29,19%</b>	<b>16,40%</b>

La resistencia promedio a compresión de las probetas de mortero con efluente tratado, a los 7 días y 28 días, alcanzó más de 90% de la resistencia a compresión promedio de las probetas preparadas con agua destilada, atendiendo lo exigido por la NBR 15900-1:2009. A los 7 días el alcance de la resistencia fue de 96,75%, y con 28 días de 90,77%, presentando entre si valores significativamente semejantes, para un nivel de confianza de 95%.

Para la clasificación de los bloques en cuanto a su debida clase se debe tomar como referencia la resistencia a la compresión característica estimada ( $F_{bk,est}$ ). Los valores del  $F_{bk,est}^a$  del bloque convencional y del bloque con efluente tratado están presentados en las Tablas 11 y 12, respectivamente.

Tabla 11. Resultado de la resistencia a la compresión de los bloques convencionales

<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima de ruptura (Kgf)</b>	<b>Resistencia a compresión (MPa)</b>		<b><math>F_{bk,est}^a</math></b>	<b><math>F_{bk}^b</math></b>
		<b>Individual</b>	<b>Promedio</b>		
1	17.584	3,16	3,20	3,03	3,03
2	19.122	3,43			
3	18.154	3,26			
4	17.640	3,17			
5	17.222	3,09			
6	17.224	3,09			

<sup>a</sup> Resistencia a la compresión característica estimada de la muestra expresado en MPa  
<sup>b</sup> Resistencia característica a la compresión expresado en MPa ( $F_{bk,est} \geq \Psi \cdot F_{b1}$ )

Fuente: Autor, 2016

Tabla 4. Resultado de la resistencia a la compresión de los bloques con efluente tratado

Probeta	Carga máxima de ruptura (Kgf)	Resistencia a la compresión (MPa)		F <sub>bk,est</sub> <sup>a</sup>	F <sub>bk</sub> <sup>b</sup>
		Individual	Promedio		
1	19.937	3,58	4,11	3,49	3,49
2	27.994	5,03			
3	23.406	4,20			
4	19.646	3,53			
5	19.709	3,54			
6	26.745	4,80			

<sup>a</sup> Resistencia a compresión característica estimada de la muestra expresado en MPa  
<sup>b</sup> Resistencia característica a compresión expresado en MPa ( $F_{bk,est} \geq \Psi \cdot F_{b1}$ )

Fuente: Autor, 2016

Ambas muestras de bloques atendieron las especificaciones de resistencia para bloques de la Clase C, Fbk mayor o igual a 3 MPa especificados en el ítem 6.5 de la NBR 6136:2014.

Os bloques hechos con efluente tratado presentaron resistencia promedio y resistencia característica mayor que los bloques producidos con agua potable, con ganancia de resistencia a la compresión para un nivel de confianza de 95%.

Tomando en cuenta que el proceso de fabricación, la dosis y el curado fueron los mismos para las dos muestras, entonces se cree que ese aumento de resistencia se dio debido a algún problema en el vaciado de los bloques (realizado en la fábrica), en vista que en el ensayo de resistencia a compresión del mortero el resultado fue diferente.

Los bloques con efluente presentaron mayor compacidad (cohesión de las partículas) y mayores resistencias. En la Tabla 13, se puede comprobar que la muestra de bloques con efluente tratado presentó mayor densidad que los bloques de la otra muestra.

Tabla 13. Densidad de los bloques

Peso (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
Bloques convencionales			
9,80	0,00480	2041,67	2017,36
9,75		2031,25	
9,50		1979,17	
Bloques con efluente tratado			
10,50	0,00480	2187,50	2149,31
10,30		2145,83	
10,15		2114,58	

Fuente: Autor, 2016

Fernandes (2014) afirma que para un mejor control tecnológico se recomienda establecer la pieza deseada, y obtener su peso adoptando como patrón en un rango de variación de no más de 5%, por encima o por debajo. El establecimiento del peso patrón para las piezas y el control de peso luego de la extrusión el método más eficiente es practicado para control del desvío patrón de la resistencia, sea en diferentes lotes, o entre ciclos de una misma mezcla ó hasta entre piezas de la misma bandeja.

#### 4.7. Resistencia a la compresión de prismas

El ensayo de resistencia a la compresión simple realizado con prismas de 3 bloques de cada muestra con 28 días, totalizando 6 prismas sin mortero, presentó valores de resistencia a compresión y valores de factor de eficiencia prisma/bloque detallados en la Tabla 11.

Tabla 11. Resistencia a compresión simple de los prismas

Carga máxima de ruptura (Kgf)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	Eficiencia (fpm/fbm)
Prisma Convencional					
11.687	2,10	2,30	0,37	16,01%	71,97%
11.600	2,08				
15.199	2,73				
Prisma con efluente tratado					
16.012	2,88	3,15	0,25	7,94%	76,47%
17.779	3,19				
18.755	3,37				

Se observó en todos los prismas, que la ruptura ocurrió por tracción en el bloque, causando fisuración vertical, iniciada e intensificada en las paredes longitudinales y algunas veces en las paredes transversales. Las líneas rojas presentadas en la Figura 3 demarcan las fisuras en los prismas.



Figura 3. Ruptura típica de los prismas

La eficiencia es convencionalmente definida como la relación entre la resistencia de un elemento, por ejemplo, un prisma, y la resistencia del bloque que lo compone. Según Ramalho y Correa (2003), el factor de eficiencia  $f_{pm}/f_{bm}$  varía de 0,50 a 0,90. Para las dos muestras fueron encontrados valores sobre 0,70 de eficiencia prisma/bloque, estadísticamente semejante por la prueba de hipótesis “t” de Student, para un nivel de confianza de 95%.

## 5. CONCLUSIONES

Os resultados del análisis de agua de reusó y los datos de resistencia a la compresión, inicio y final de pega, pueden confirmar la no interferencia del uso del efluente en la composición de los bloques. Todos los resultados atendieron a los criterios de tiempo de pega y resistencia a compresión para agua de mezclado para concreto establecidos por la NBR 15900-1:2009.

En cuanto a las verificaciones dimensionales de los bloques vaciados, se verificó que las áreas líquidas promedios de las dos muestras de bloques presentaron porcentual alrededor de 45% del área bruta del bloque, atendiendo a los requisitos de valores menores que 75%, exigido por la NBR 6136:2014. Ambas muestras presentaron aspectos dimensionales semejantes estadísticamente, no interfiriendo el efluente en la estabilidad dimensional de las piezas.

Sobre la absorción de los bloques, los resultados promedios obtenidos para las dos muestras fueron por encima del límite máximo presentado por norma. El alto contenido de materiales pulverulentos debe haber aumentado el consumo de agua, haciendo que la cantidad de agua fuese insuficiente para mezclar y consecuentemente formar un concreto poroso.

## 6. REFERENCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996), *NBR 7215: 1996, Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987), *NBR 9898: 1987, Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores – Procedimento*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), *NBR NM 45:2006, Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-1:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 1: requisitos*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-2:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 2: coleta de amostras para ensaios*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-3:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 3: avaliação preliminar*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-4:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 4: análise química – Determinação de zinco solúvel em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-5:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 5: análise química – Determinação de chumbo solúvel em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-6:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 6: análise química – Determinação de cloreto solúvel em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-7:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 7: análise química – Determinação de sulfato solúvel em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-8:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 8: análise química – Determinação de fosfato solúvel em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-9:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 9: análise química – Determinação de álcalis solúveis em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-10:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 10: análise química – Determinação de nitrato solúvel em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), *NBR 15900-11:2009, Água de amassamento do concreto – Parte 11: análise química – Determinação de açúcar solúvel em água*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011), *NBR 15961-1:2011, Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 1: projeto*. Rio de Janeiro.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011), *NBR 15961-2:2011, Alvenaria estrutural — Blocos de concreto – Parte 2: execução e controle de obras*. Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), *NBR 6136:2014, Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos*. Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013), *NBR 12118:2013, Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro.
- AMN - Asociación Mercosur de Normalización (2002), *NM 65:2002, Cimento Portland – Determinação do tempo de pega*. Rio de Janeiro.
- Frasson Jr, A.; Oliveira, A. L.; Prudêncio Jr., L. R. (2002), *Influência do processo produtivo nas resistências dos blocos de concreto*. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, PR, maio, 8 p.
- CETESB - ANA (2011), *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Agência Nacional de Águas, Organizadores: Carlos Jesus Brandão [et al.], Autores: Adriana Castilho R. de Deus [et al.], São Paulo; Brasília.
- Hometeka, *Bloco de concreto x bloco cerâmico na alvenaria estrutural*. Disponível em: <http://goo.gl/zqavdD>. Acesso em: 01 set. 2016.
- Marchioni, M. L. (2012), “*Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco para peças de concreto para pavimentação intertravada*”, 111 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- da Silva Battagin, I. L. (2010), “*A Norma Brasileira de água de amassamento do concreto: uma contribuição para a sustentabilidade*”, *Concreto & Construção*, São Paulo, v. 58, p.37-45, abr.-jun. 2010. Disponível em: <http://goo.gl/F4xWZb>, Acesso em: 01 set. 2016.
- Ramalho, M. A.; Corrêa, M. R. S. (2003), “*Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*”, 1 ed. São Paulo: PINI.
- SANTOS, A. (2011), *Bloco de concreto começa a virar o jogo*. Disponível em: <http://goo.gl/d9LP02>, Acesso em: 01 set. 2016.
- Visvanathan, C., Asano, T. (2001), *The Potential for Industrial Wastewater Reuse*. Encyclopedia of Life Support Systems. UNESCO Publication. Disponível em: <http://goo.gl/HDq4TH>, Acesso em: 01 set. 2016.
- World Bank (2015), *Brasil, Colômbia e Peru lideram lista de países com mais água no mundo*. Disponível em: <http://goo.gl/F3j1AC>, Acesso em: 01 abr. 2016.